

С.В.Оськин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агроинженерному образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по направлению «Агроинженерия»

Краснодар, 2013

УДК 62-83
ББК 31.291
О-79

Оськин С.В. Автоматизированный электропривод: учебное пособие для студентов вузов / С.В.Оськин - Краснодар: Изд-во ООО «КРОН», 2013.- 489 с.

Рецензенты:

В.С. Газалов - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергетики Азово-Черноморской ГАА ;

Г.В. Никитенко - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой применения электрической энергии в сельском хозяйстве Ставропольского ГАУ.

ISBN 978-5-94672-600-9

В учебном пособии изложены общие вопросы электропривода, связанные с проектированием и эксплуатацией современного автоматизированного электропривода, его экономическим обоснованием, надежностью и энергоэффективностью. Описаны приводные характеристики основных машин, применяемых в АПК, приведены расчетные формулы по определению мощности приводных электродвигателей, даны рекомендации по созданию оптимальных режимов работы, имеются схемы автоматизации с описанием их работы. Подробно изложены основные разделы дисциплины «Автоматизированный электропривод» в соответствии с требованиями государственных общеобразовательных стандартов для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям: 110800 Агроинженерия, 140400 – Электроэнергетика и электротехника.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, аспирантов, преподавателей и слушателей ФПК.

УДК 62-83
ББК 31.291

ISBN 978-5-94672-600-9

© Оськин С.В.
ООО «КРОН»

ВВЕДЕНИЕ

Существующая динамика поступательного движения в направлении повышения технического уровня автоматизированного электропривода приводит к необходимости периодического обобщения накопленного опыта в проектировании и эксплуатации существующего электрооборудования. Особенно это касается ситуации в агропромышленном комплексе России, который находится на переломном этапе своего развития: еще осталось и работает оборудование, спроектированное и изготовленное в прошлом веке, и в тоже время поступают новые установки, оснащенные современными устройствами автоматики на основе цифровой техники. Задача эксплуатационников состоит в сохранении работоспособного состояния существующих электроустановок и перевода их в максимально энергосберегающий режим. Такое положение будет в АПК, пока полностью не заменится весь парк машин, что невозможно сделать за короткое время.

Нужно повышать квалификацию существующего электротехнического персонала и обучать новых специалистов работе с более сложными современными устройствами автоматизированного электропривода. В последнее время защищено много диссертационных работ, которые были посвящены созданию энергоэффективных режимов старых механизмов и разработке новых современных рабочих машин с автоматизированным электроприводом. Невозможно разработать оптимальный автоматизированный электропривод без изучения и анализа приводных характеристик рабочих машин. В данном учебном пособии сделана попытка обобщить накопленный научный потенциал разработок, проведен обзор ранее серийно выпускаемых установок и приведены современные автоматизированные электроприводы основных рабочих машин сельскохозяйственного производства и предприятий переработки продукции села. Отличительной чертой агропромышленного комплекса России является насыщение его предприятиями переработки и хранения продукции, минизаводами по выпуску готового продовольствия. Как правило, все они оснащены поточными линиями с высокоавтоматизированным электроприводом, от надежной и эффективной работы которого зависят экономические показатели производства. Концентрация машин и оборудования, размещение их в разных местах по площади и уровню, тесная взаимосвязь и регламентированная последовательность их работы требуют дистанционного, централизованного и автоматического управления. Управляющие программируемые реле с многофункциональными дисплеями позволяют решать широкий спектр задач автоматизации от элементарных схем до сложных технологических процессов. Базовые модули позволяют подключаться к шинам передачи данных easy-NET, CANopen и Ethernet. Также доступны для использования стандартные модули расширения (входы/выходы), для передачи данных по шинам ASInterface, DeviceNet, CANopen, ProfiBus и Ethernet. Особенностью логических реле является облегченное программирование. Оче-

редным этапом совершенствования автоматизированного электропривода стало включение его в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Появились распределенные системы управления (PCY), которые применяются для управления взаимосвязанными технологическими процессами, на их базе автоматизируются технологические установки, производственные цехи и целые заводы. Для конфигурирования таких масштабных систем, как PCY инженерам предлагается целый набор подготовленных программных компонентов и средств разработки. К ним относятся: пакеты визуального программирования, графические библиотеки, функциональные блоки, настроенные сетевые протоколы и интерфейсы. Система может покрывать большие площади. Цифровая сеть позволяет объединить разнесенные компоненты системы в единый программно-аппаратный комплекс.

Число представленных на рынке разнообразных микроконтроллеров непрерывно растет. Почти еженедельно появляется новое изделие. Наряду с небольшими МК-чипами на рынок выпускается все больше многоядерных устройств. Одной из главных причин популярности микроконтроллеров служит то, что они являются практически полностью готовыми вычислительными устройствами, не требующими для своей работы дополнительного оборудования. Кроме того, возможность программировать работу микроконтроллера позволяет реализовывать достаточно сложные электронные устройства, в которых большая часть функционала реализуется программно. За последние двадцать лет произошли качественные изменения в структуре электропривода, связанные в первую очередь с переходом на новую элементную базу построения силового канала (IGBT-транзисторы, интеллектуальные силовые модули IPM) и новую элементную базу канала управления – высокопроизводительные микроконтроллерные системы прямого цифрового управления оборудованием. Смысл не только о прямом управлении ключами силовых преобразователей, но и о прямом сопряжении с широкой номенклатурой датчиков обратных связей (положения, скорости, ускорения), а также с элементами дискретной автоматики (релейно-контакторной аппаратурой, дискретными датчиками и дискретными исполнительными устройствами). Область управления двигателями и силовыми преобразователями стала ярким примером быстрой адаптации процессорной техники к задачам предметной области.

Важной особенностью работы сельскохозяйственного электропривода является то, что он связан с жизнедеятельностью биологических объектов, и от качества работы технической системы во многом зависит продуктивность данного производства, а цена продукции может во много раз превышать стоимость оборудования. В связи с этим, в учебном пособии отдельно уделено внимание экономическим вопросам, имеется материал по проблеме надежности электропривода, даны рекомендации по созданию его энергосберегающих режимов работы. На сегодня проблема энергосбережения становится все более актуальной, так как доля затрат на энергоресурсы в себестоимости

продукции возрастает, а производство конкурентноспособной продукции без решения таких задач невозможно. Таким образом, важным элементом обучения при подготовке высококвалифицированных кадров агропромышленного комплекса становится овладение студентами профессиональными компетенциями: в области энергосбережения при работе электрифицированного оборудования и, в частности, автоматизированного электропривода; в сфере разработки и эксплуатации электроприводов во всем спектре сельскохозяйственных машин; в адекватной оценке уровня работы существующих электроустановок на основе электрических машин и обоснованию необходимости его модернизации или замены. Данное пособие поможет овладеть необходимыми компетенциями при обучении как в бакалавриате, так и в магистратуре. При обучении в бакалавриате рекомендуются следующие главы и параграфы: 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.7, 5.1, 5.3, 6.1. При этом студент сможет обладать следующими профессиональными компетенциями: готовностью к использованию технических средств автоматики и систем автоматизации технологических процессов; готовностью к профессиональной эксплуатации машин и технологического оборудования для производства, хранения и первичной переработки сельскохозяйственной продукции; способностью анализировать технологический процесс как объект контроля и управления; способностью проводить стоимостную оценку основных производственных ресурсов и применять элементы экономического анализа в практической деятельности; готовностью к участию в проведении исследований рабочих и технологических процессов и машин; готовностью к участию в проектировании технических средств и технологических процессов производства, систем электрификации и автоматизации сельскохозяйственных объектов, способностью использовать информационные технологии при проектировании машин и организации их работы.

При обучении в магистратуре рекомендуются разделы: 1.2, 1.3, 1.4, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 3.3, 3.4, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2.

Также изложенный материал, может быть полезен аспирантам, обучающимся по направлению «Агроинженерия» при работе над диссертациями, работающим энергетикам и слушателям факультета повышения квалификации при совершенствовании своего уровня профессиональной подготовки. При этом студент сможет обладать следующими профессиональными компетенциями: владением методами анализа и прогнозирования экономических эффектов и последствий реализуемой и планируемой деятельности; способностью и готовностью организовывать на крупных предприятиях АПК высокопроизводительное использование и надежную работу сельскохозяйственной техники и технологического оборудования для производства, хранения, транспортировки и первичной переработки продукции растениеводства и животноводства; способностью и готовностью применять знания о современных методах исследований; способностью проведения инженерных расчетов для проектирования систем и объектов.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАБОЧИХ МАШИН

1.1. Приводные характеристики рабочих машин и условия работы автоматизированного электропривода в АПК

Появление **автоматизированного электропривода** с одной стороны связано с возникновением новых электронно-цифровых систем управления и с другой стороны – с появлением поточных линий, а также с дальнейшим развитием процесса сращивания рабочей машины с электродвигателем. Технологи начали предъявлять повышенные требования к электроприводу с точки зрения надежности и качества работы: расширение выполняемых функций, наличие устройств получения и хранения информации, обязывают работать в энергосберегающих режимах (рис.1.1).



Приводные характеристики сельскохозяйственных машин — технологические, кинематические, энергетические, механические, нагрузочные, инерционные. Эти характеристики необходимы как при эксплуатации электропривода – для создания энерго-

эффективных и надежных режимов работы, так и при проектировании рационального электропривода. **Технологические характеристики** изображают в виде технологических схем (рис.1.2) и технологических заданий.

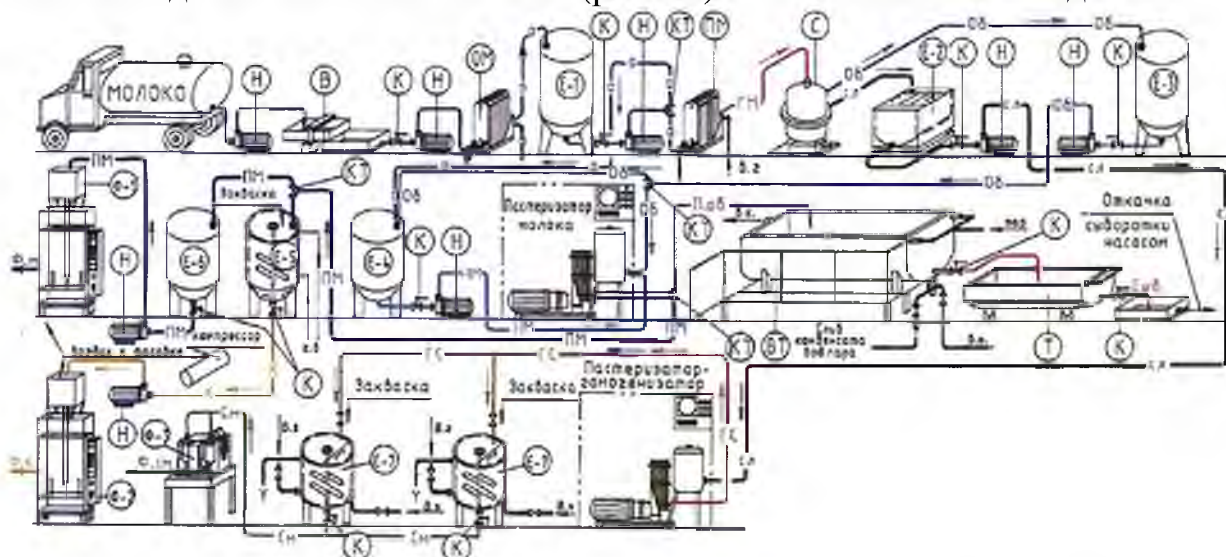


Рисунок 1.2 – Пример технологической схемы переработки молока

Эти характеристики определяют требования к электроприводу со стороны качества продукции (допустимые колебания скорости, удельные расходы энергии, необходимость регулирования режимов работы и достижимые уровни, необходимость автоматизации и ее степень) и условия работы электропривода в зависимости от характера окружающей среды, рода помещения (сухое, сухое неотапливаемое, сырое, пожароопасное, взрывоопасное).

Кинематические характеристики дают представление о траекториях и скоростях движения всех элементов машины, а также о путях распределения энергетического потока от двигателя к рабочему органу. Изображаются они в виде кинематических схем (рис.1.3). Такие схемы дают возможность: оценить количество передаточных устройств, их КПД; увидеть скорости вращения отдельных составляющих; правильно выбрать частоту вращения приводного двигателя и принять решение о необходимости ее регулировать.

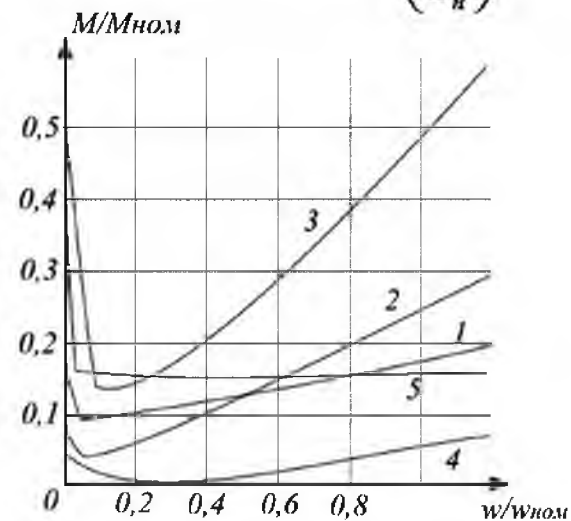


Рисунок 1.3 - Кинематическая схема фрезерного станка

Энергетические характеристики показывают общий (кВт·ч) и удельный (кВт·ч на единицу продукции) расход электрической энергии на выполнение технологического процесса, а также распределение энергии между отдельными узлами машины. Также приводятся сведения по коэффициентам полезного действия отдельных узлов и коэффициенту мощности потребляемой электроэнергии.

Механические характеристики определяют зависимость установившейся скорости машины от момента сил сопротивления. Они могут быть изображены графически или описаны аналитически (рис.1.4). Механические характеристики используются: при анализе переходных процессов, режимов работы машины совместно с электродвигателем; определении возможности пуска и устойчивой работы электропривода; при построении нагрузочных диаграмм.

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



1-5 характеристики при изменении показателя степени от 0 до 3 и различном начальном моменте сопротивления.

Рисунок 1.4 – Механические характеристики рабочих машин

Знание механических характеристик особенно необходимо при регулировании скорости асинхронного двигателя (АД) и использовании при этом преобразователей частоты. Возможность изменения скорости АД при регулировании частоты f_1 следует непосредственно из выражения $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$. Как видно из данного выражения, синхронная скорость АД прямо пропорциональна частоте питающего напряжения. При регулировании частоты возникает также необходимость регулирования напряжения источника питания. Действительно, ЭДС обмотки статора АД пропорциональна частоте тока и магнитному потоку $E_1 = k\Phi f_1$. Из приведенного выражения следует, что при неизменном напряжении источника питания

U_1 и регулировании его частоты меняется магнитный поток АД. В частности, уменьшение частоты f_1 приводит к возрастанию потока и, как следствие, к насыщению машины и увеличению тока намагничивания, что связано с ухудшением энергетических показателей двигателя, а в ряде случаев и к его недопустимому нагреву. Увеличение частоты f_1 приводит к снижению потока двигателя, что при постоянном моменте нагрузки на валу в соответствии с выражением $M = k\Phi I_2 \cos\varphi_2$ приводит к возрастанию тока ротора, т.е. к перегрузке его обмоток по току. Кроме того, с этим связано снижение максимального момента и перегрузочной способности двигателя. Обычно при регулировании выше основной скорости частота источника питания превышает номинальную не более чем в 1,5 - 2 раза. Указанное ограничение обусловлено прежде всего прочностью крепления обмотки ротора, а также с максимально возможной частотой вращения установленных подшипников. Регулирование скорости вниз от основной, как правило, осуществляется в диапазоне 10 ÷ 15. Нижний предел частоты ограничен сложностью реализации источника питания с низкой частотой тока, возможностью неравномерности вращения, ухудшением охлаждения самовентилируемых электродвигателей и рядом других факторов. Таким образом, частотное регулирование скорости АД может осуществляться в диапазоне 20 ÷ 30. В этом случае кроме изменения частоты тока изменяется и уровень подводимого напряжения. В связи с тем, что механические характеристики в зависимости от показателя степени в аналитическом выражении (рис.1.4) условно разбиты на 4-ре группы ($x=0$, $x=1$, $x=2$, $x=-1$), то используют и 4-ре закона регулирования угловой скорости асинхронного двигателя. В основу каждого закона положено постоянство перегрузочной способности электродвигателя.

Для получения закона регулирования при постоянном моменте сопротивления ($x=0$) выберем две точки пересечения механических характеристик момента сопротивления и электродвигателя (ω_1 и ω_2) (рис 1.5).

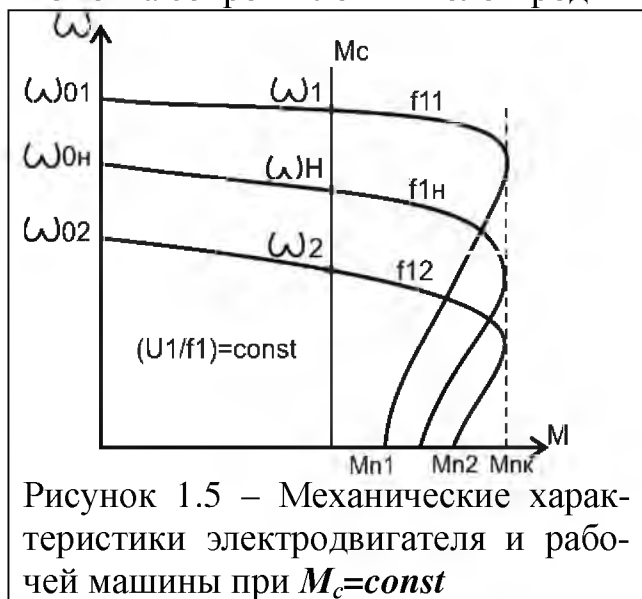


Рисунок 1.5 – Механические характеристики электродвигателя и рабочей машины при $M_c=const$

Для этих точек перегрузочная способность выглядит следующим образом:

$$\frac{M_{кр1}}{M_{ндв}} = \frac{M_{кр2}}{M_{ндв}} = Const \quad (1.1)$$

В рациональном электроприводе $M_{ндв}=M_{сприв}$ и тогда можно записать:

$$\frac{M_{кр1}}{M_{сприв1}} = \frac{M_{кр2}}{M_{сприв2}} = Const \quad (1.2)$$

В связи с тем, что момент критический электродвигателя прямо пропорционален квадрату напряжения и обратно пропорционален квадрату частоты, то:

$$\frac{U_1^2}{M_{сприв1} \cdot f_1^2} = \frac{U_2^2}{M_{сприв2} \cdot f_2^2} = Const \quad (1.3)$$

Из формулы уравнения механической характеристики (рис. 1.4) следует, что момент сопротивления пропорционален угловой скорости в степени x и частоте вращения также в степени x :

$$M_{сприв} \equiv \omega^x \equiv f^x \quad (1.4)$$

Тогда формулу (1.3) можно представить в следующем виде:

$$\frac{U_1^2}{f_1^x \cdot f_1^2} = \frac{U_2^2}{f_2^x \cdot f_2^2} = Const \quad (1.5)$$

Закон регулирования при постоянном моменте сопротивления ($x=0$) будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{U}{f} = Const \quad (1.6)$$

Соответственно для рабочих машин с моментом сопротивления, изменяющимся по линейному закону ($x=1$):

$$\frac{U}{f \cdot \sqrt{f}} = Const \quad (1.7)$$

Для рабочих машин с моментом сопротивления, изменяющимся по квадратичному закону (вентиляторная характеристика - $x=2$):

$$\frac{U}{f^2} = Const \quad (1.8)$$

Для рабочих машин с моментом сопротивления, изменяющимся по гиперболическому закону ($x=-1$):

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = Const \quad (1.9)$$

Полученные выражения можно проиллюстрировать графически (рис. 1.6).

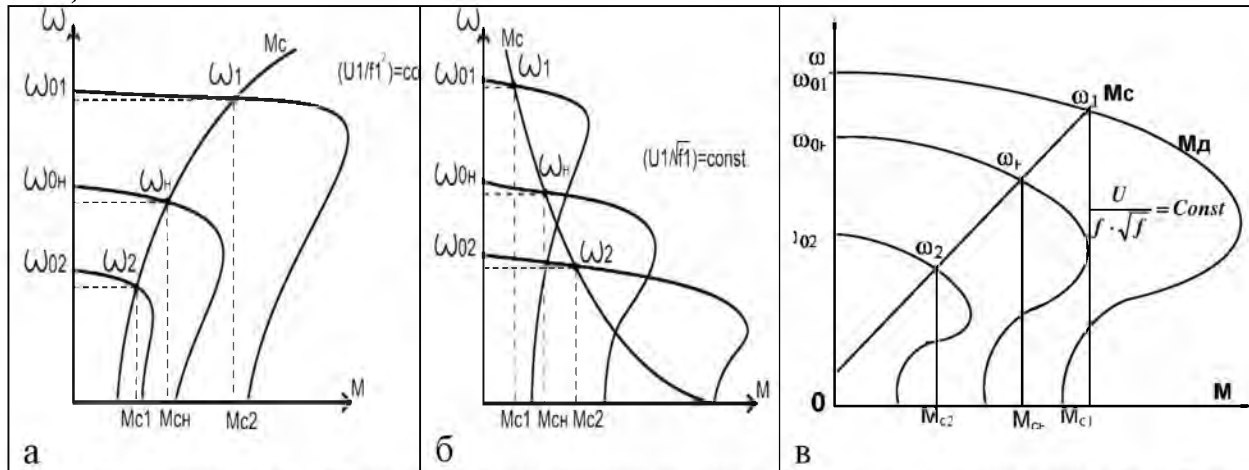
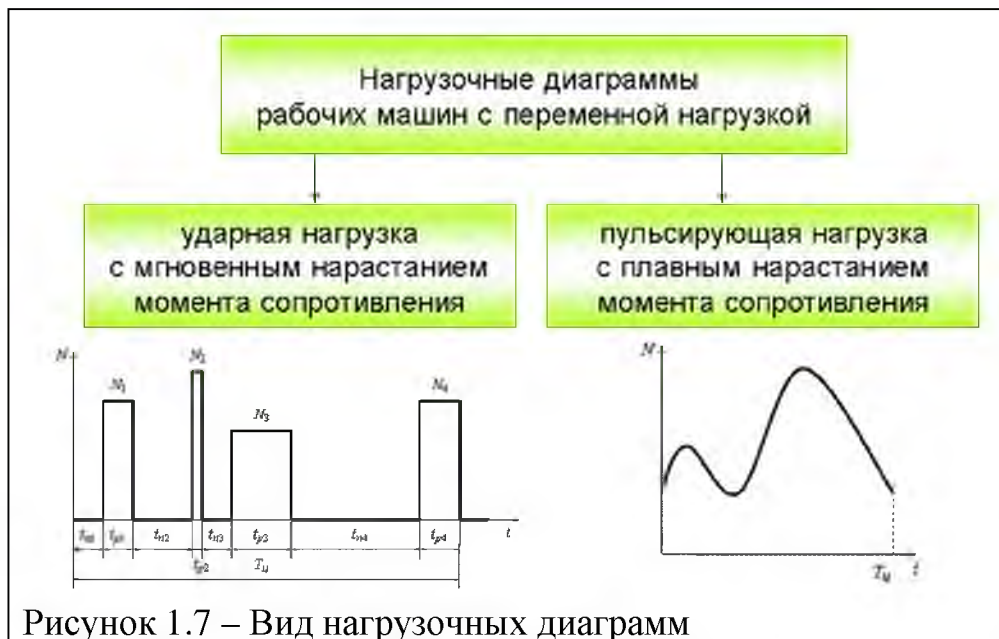


Рисунок 1.6 - Механические характеристики электродвигателя и рабочей машины: при а – вентиляторной нагрузке; б- гиперболическом моменте сопротивления и $P_c=const$; в – линейно возрастающей нагрузке

Нагрузочные диаграммы машин показывают зависимости момента M_c , мощности P_c сопротивлений и угловой скорости рабочей машины от времени. Нагрузочные диаграммы отражают характер и режим работы электропривода. Нагрузка рабочей машины может быть постоянной и переменной.

С постоянной нагрузкой работают вентиляторы и центробежные насосы при постоянных производительности и напоре, зерновые элеваторы, когда неизменны подача и угловая скорость, сепараторы. С переменной нагрузкой работают машины, в которые перерабатываемая масса поступает неравномерно (дробилки, измельчители, ручные машины по обрезки веток и кустов), а также машины, у которых скорость рабочих органов переменна (поршневые насосы, поршневые прессы, лесопильные рамы). В связи с выбором маховикового электропривода профессором Г. И. Назаровым предложено разделять нагрузочные диаграммы рабочих машин с переменной нагрузкой по характеру нарастания момента на две основные группы: ударная нагрузка с мгновенным и пульсирующая с плавным нарастанием моментов сопротивления (рис.1.7).

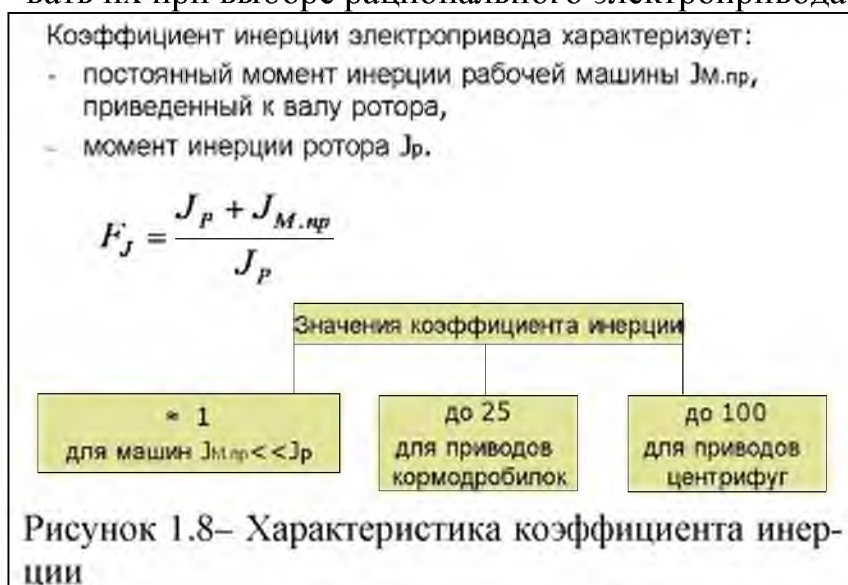
По отношению максимального момента к среднему различают слабопеременную (1,4), умеренно переменную (1,4...2) и резко переменную (>2) нагрузки. В случае слабо переменной нагрузки вопрос о маховиковом приводе может возникнуть только при повышенных требованиях к степени неравномерности работы. Для умеренно переменной нагрузки вопрос о маховиковом приводе решают каждый раз в зависимости от конкретных условий. При резко переменной нагрузке выбирают маховиковый электропривод.



Инерционные характеристики определяют значение и характер изменения момента инерции подвижных частей машины. У машин с вращательным движением рабочих органов

момент инерции — величина постоянная. У машин со сложным движением отдельных органов (с возвратно-поступательным у лесопильных рам, компрессоров, триерных машин) момент инерции — величина переменная. Значение и степень изменения момента инерции обычно используют при определении продолжительности пуска и оценке потерь энергии в переходных режимах. Инерционность электропривода и рабочей машины часто оценивается коэффициентом инерции F_j (рис.1.8). Коэффициент инерции изменяется в широких пределах от величины, близкой к единице до 100. Пропорционально F_j увеличивается и время пуска и остановки привода.

Приводные характеристики рабочих машин взаимосвязаны и характеризуют одну и ту же машину с разных точек зрения. Общим для них являются требования технологического процесса и рабочей машины к приводу. Поэтому во всех случаях необходимо знать свойства рабочей машины и учитывать их при выборе рационального электропривода.



Условия работы сельскохозяйственных электроприводов. Помимо приводных характеристик машин, для выбора рационального электропривода необходимо учитывать условия окружающей среды и качество электроснабжения. Ряд сельскохозяйственных помещений отличается высоким содержанием

химически активных веществ в сочетании с высокой влажностью окружающей среды (животноводческие помещения), запыленностью (мельницы, зер-

нотки, деревообделочные мастерские). Кроме того, электродвигатели часто работают на открытом воздухе, подвергаясь непосредственному воздействию атмосферных влияний. Наиболее агрессивное влияние атмосферы помещений — аммиак, содержание которого в животноводческих помещениях колеблется в широких пределах (в свинарниках — 0,2. . 0,04, в коровниках — 0,05. . 0,018 мг/л при максимуме в ночные часы). Относительная влажность воздуха достигает 90. . 98%. Углекислый газ, взаимодействуя с водой, образует слабую неустойчивую кислоту, существенно не влияющую на изоляцию, но усиливающую коррозию металлов.

Иногда питание сельскохозяйственных электроприводов осуществляется от маломощных источников электроснабжения. К ним относят автономные электростанции и подстанции, мощность которых соизмерима с мощностью электродвигателей, и источники с сопротивлением питающих линий, соизмеримым с сопротивлением короткого замыкания электродвигателей. В этих случаях при пуске электродвигателя наблюдается значительное снижение напряжения, влияющее на работу потребителей и прежде всего асинхронных электродвигателей, у которых уменьшаются пусковой и максимальный моменты, что может привести к невозможности разбега пускаемого и остановке работающих двигателей. Поэтому при выборе электропривода и источника питания необходимо учитывать пусковые режимы и их влияние на устойчивость работы ранее подключенных двигателей и других потребителей. Необходимо также учитывать то, что электропривод работает с наличием биологических объектов. Это приводит к тому, что отключение электропривода наносит технологический ущерб (срыв кормления, доения, поения, нарушение вентиляции, отключение обогрева и т.д.) больший чем прямой, связанный с заменой отказавшего оборудования. Сильно влияет время замены отказавшей установки, так как технологический ущерб имеет нелинейный вид — резко возрастающий (чем дольше не работает электропривод, тем значительней ущерб, что в конечном счете может привести к гибели птицы, КРС или растений в теплицах). В связи с этим, к особенностям работы электроприводов в агропромышленном комплексе следует отнести: разнообразие приводимых в действие машин, агрессивность окружающей среды, рассредоточенность потребителей механической энергии, сезонность работы, малый коэффициент использования электрифицированного оборудования, низкий уровень надежности технологического оборудования и некомплектность его поставки, низкое качество электроэнергии и надежность сельского электроснабжения, низкая квалификация обслуживающего персонала, наличие биологических объектов, которые являются основой производства сельскохозяйственной продукции.

Чаще всего все факторы или большая их часть действуют одновременно, что ускоряет процессы износа, старения и снижают общую надежность. Так на примере электродвигателя, работающего на ферме можно увидеть комплексное воздействие этих эксплуатационных факторов (рис.1.9).



Рисунок 1.9 – Воздействие эксплуатационных факторов на изоляцию электродвигателя.

1.2. Надежность невосстанавливаемых элементов электропривода

Надежность является одним из наиболее важных критериев технико-экономической оценки как эксплуатируемых так и разрабатываемых электроприводов. Согласно классическим определениям под надежностью следует понимать свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять все требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Событие, заключающееся в нарушении работоспособности, представляет собой отказ устройства. Все отказы классифицируются по признакам. **Конструктивные отказы** – возникают вследствие ошибок, допущенных при проектировании изделия, например, выход из строя комплектующих изделий из-за неправильно выбранного теплового, электрического или эксплуатационного режима их использования (рис.1.10).



Рисунок 1.10 – Пример выхода из строя элементов из-за неправильного выбора эксплуатационного режима

Производственные отказы – возникают вследствие нарушения технологии изготовления (недостаточный входной контроль комплектующих изделий, несоблюдение технологического цикла выпуска устройства).

Эксплуатационные отказы – возникают вследствие нарушения обслуживающим персоналом правил эксплуатации, транспортировки, ремонта. Эти правила регламентированы в технических условиях (ТУ). Эти отказы могут возникнуть в любой момент времени, их предугадать очень сложно, например пробой изоляции части обмотки статора или выход из строя обмотки статора и ее возгорание (рис.1.11).



Рисунок 1.11- Выход из строя обмотки статора электродвигателя и повреждение трансформатора

По характеру все отказы подразделяются на внезапные и постепенные (рис.1.12).

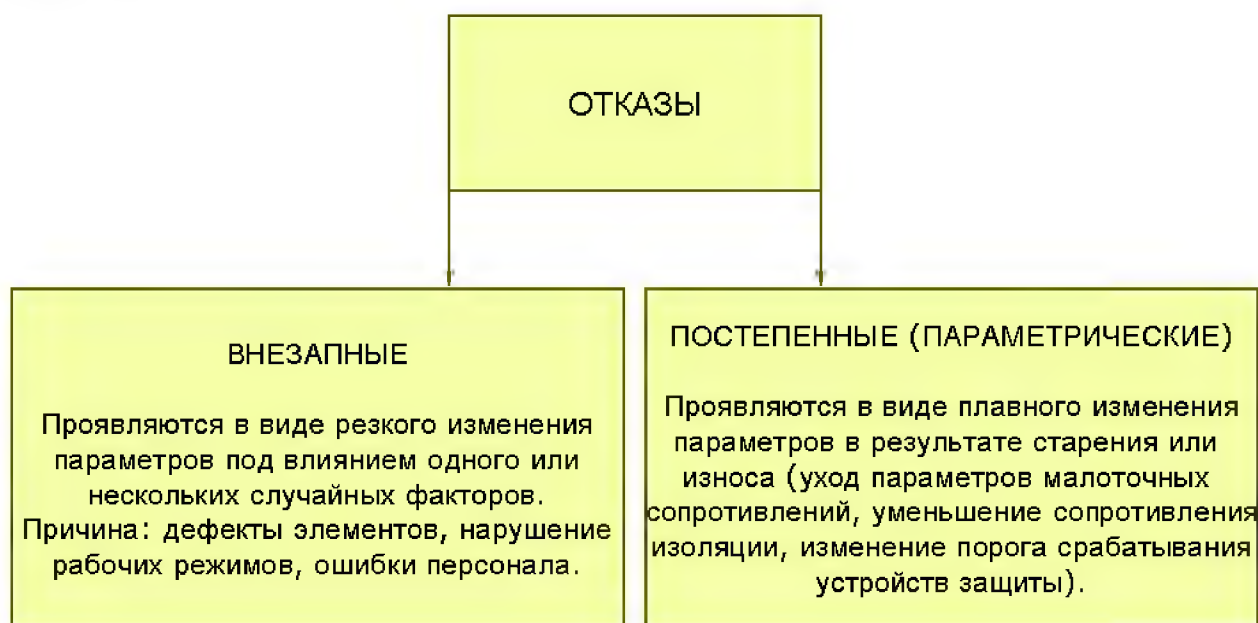


Рисунок 1.12 – Классификация отказов по характеру проявления.

По способу обнаружения отказы делятся на явные и скрытые (рис.1.13).



Рисунок 1.13 – Классификация отказов по способу обнаружения

Надежность технической системы обуславливается сочетанием свойств безотказности, ремонтпригодности и долговечности (рис.1.14).

Расчет надежности при проектировании выполняется обычно с использованием аналитических методов. Под расчетом надежности следует понимать определение численных значений показателей надежности по имеющимся исходным данным. Методики расчета показателей надежности различаются в зависимости от того, являются ли рассматриваемые устройства ремонтируемыми (восстанавливаемыми) или неремонтируемыми (невосстанавливаемыми) изделиями в процессе эксплуатации.



Рисунок 1.14 – Структура обеспечения надежности

Восстанавливаемые системы – в случае возникновения отказа подвергаются восстановлению и продолжают выполнять свои функции. **Невосстанавливаемые системы** – при возникновении отказа либо не подлежат, либо

не поддаются восстановлению по экономическим или техническим причинам. Автоматизированный электропривод представляет собой комплекс совместно действующих элементов и поэтому является восстанавливаемой системой (рис.1.15).

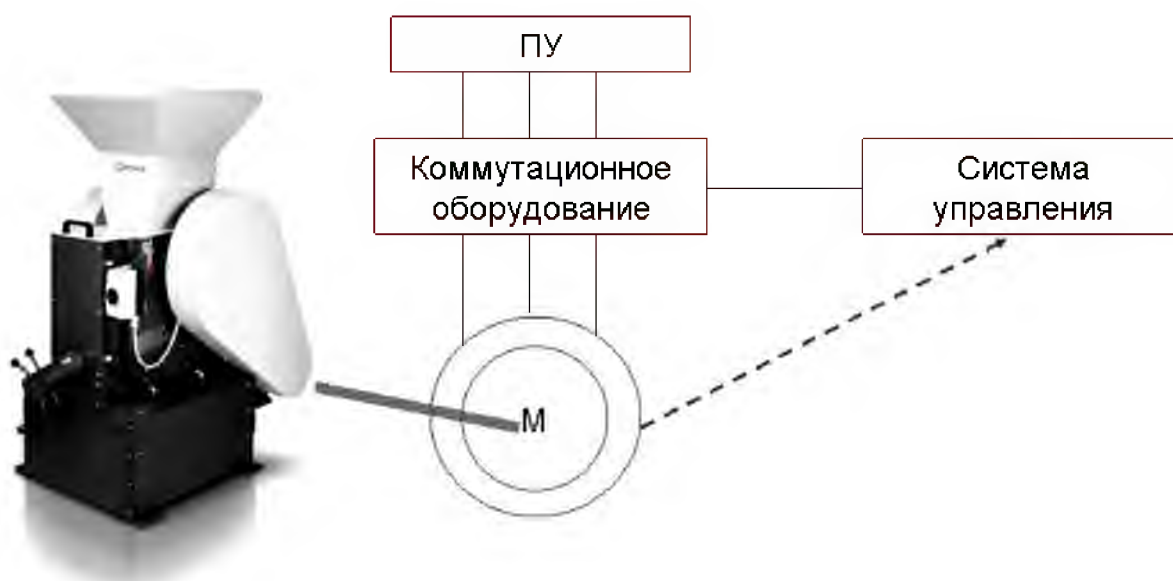


Рисунок 1.15 – Структура автоматизированного электропривода

Для определения показателей надежности объекта, состоящего из нескольких элементов, составляется структурная схема надежности – условная схема, которая учитывает влияние отказов отдельных элементов и связей между ними на работоспособность системы в целом. Например, электропривод в структурной схеме надежности может быть представлен системой управления, электродвигателем, датчиками обратных связей, соединительными муфтами. Может быть и более мелкая градация элементов, но все они считаются невозстанавливаемыми. При составлении структурной схемы надежности предполагается, что отказы элементов независимы и система в целом может находиться в одном из двух состояний: работоспособном и неработоспособном.

Основными, наиболее часто применяемыми количественными характеристиками **невозстанавливаемых** систем являются вероятность безотказной работы $P(t)$ и наработка до отказа T_f . Задача расчета надежности при проектировании заключается в расчете их значений по известным величинам интенсивности отказов элементов $\lambda_i(t)$.

Если в устройстве нет зарезервированных элементов, то для него интенсивность отказов отдельных элементов, входящих в систему:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (1.10)$$

где n – общее число элементов, входящих в устройство.

В технической литературе приводятся значения интенсивностей отказов элементов $\lambda_{ин}$ при номинальном режиме их загрузки и нормальных климати-

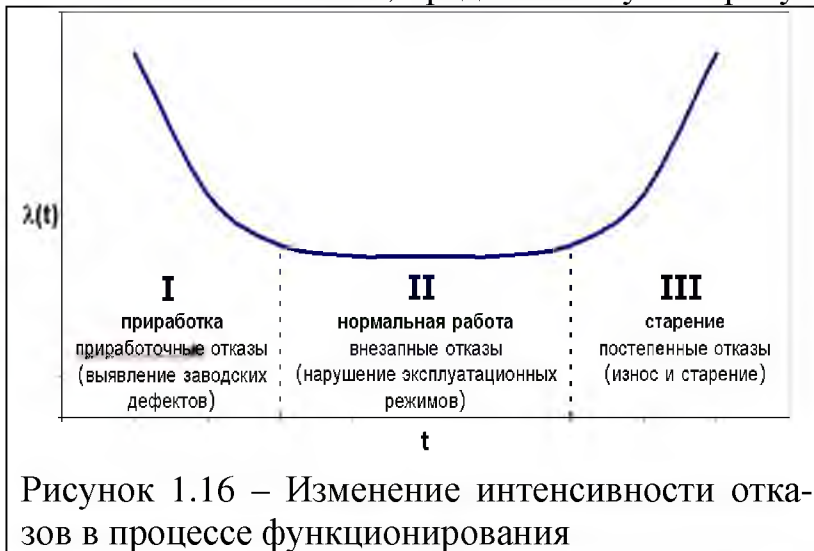
ческих условиях использования, например $T^{\circ} = 20^{\circ} \text{C} \pm 5\%$, а также значений поправочных коэффициентов, учитывающих возможность их работы при отличных от номинальных условий эксплуатации. С учетом этого:

$$\lambda_i = \lambda_{in} \prod_{r=1}^S K_r, \quad (1.11)$$

где S – общее число поправочных коэффициентов; K_r – значение r – го поправочного коэффициента.

Для определения показателей надежности невосстанавливаемых элементов по данным эксплуатации об отказах необходимо знать тип предполагаемого **закона распределения наработки до отказа** или вычислить экспериментальное распределение данной наработки. Существуют следующие основные теоретические распределения наработки до отказа: распределение Вейбулла; показательное (экспоненциальное) распределение; нормальное распределение; гамма-распределение.

Все технические системы, в процессе своего функционирования имеют интенсивность отказов, представленную на рисунке 1.16.



Каждому участку характерен определенный закон распределения наработки до отказа. На основании принятого закона и определяются основные показатели надежности.

Основой инженерного расчета надежности проектируемого устройства является принятие показательного закона распределения моментов отказов.

Вероятность безотказной работы при последовательном соединении элементов и показательном законе распределения наработки до отказа:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = e^{-\int_0^t \Lambda_0(t) dt}, \quad (1.12)$$

где $\Lambda_0(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$.

В частном случае, когда интенсивность отказов можно считать постоянной (для экспоненциального закона наработки до отказа):

$$\Lambda_0 = \Lambda = \text{const} \quad \text{и} \quad P(t) = e^{-\Lambda t}. \quad (1.13)$$

Наработка до отказа:

$$T_o = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (1.14)$$

При экспоненциальном законе наработки до отказа:

$$T_o = 1 / \lambda. \quad (1.15)$$

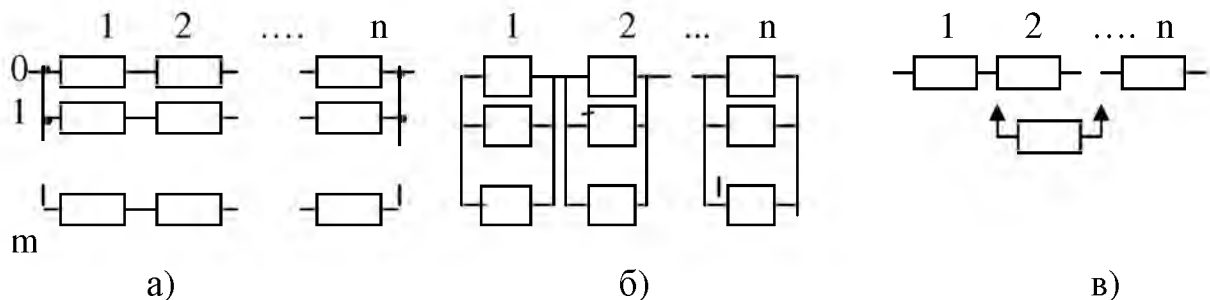
Расчет надежности при наличии в схеме параллельно соединенных элементов ведется с использованием более сложных аналитических зависимостей. Параллельное включение элементов является эффективным способом повышения надежности устройства. Однако при резервировании оборудование усложняется, возрастают габариты и масса, потребляемая мощность и стоимость.

Существует несколько способов резервирования. Резервирование называется общим, если резервируется вся система. Резервирование называется раздельным, если резервируются отдельные элементы.

По способу включения резервных элементов различают постоянное резервирование и резервирование замещением. При постоянном резервировании резервные элементы подключаются к основным в течение всего времени работы и находятся в одинаковом с ними режиме. При резервировании замещением резервные элементы подключаются на место основного после его отказа и принимают на себя его функции. При включении резерва замещением резервные элементы до момента включения их в работу могут находиться в различных режимах: в режиме нагруженного резерва, когда условия работы резервных элементов совпадают с условиями работы основных элементов; в режиме разгруженного резерва, когда условия работы резервных элементов таковы, что их ресурсы практически начинают использоваться только после их включения на место основного. При резервировании замещением обязательно использование коммутационных устройств для подключения резервных элементов взамен отказавших.

Если объект содержит несколько одинаковых устройств, то нет необходимости иметь резерв для каждого из них, а можно использовать один или несколько. Такой способ называется скользящим резервированием.

Структурные схемы резервированной системы показаны на рисунке 1.17.



а) – общее резервирование; б) – раздельное резервирование; в) – скользящее резервирование

Рисунок 1.17 - Структурные схемы надежности резервируемых систем

Количественные характеристики надежности при различных способах резервирования определяется следующим образом.

Система с постоянным включением резерва будет нормально функционировать при сохранении работоспособности хотя бы одной из цепей.

Вероятность безотказной работы такой системы:

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - \prod_{i=1}^n p_{ij}(t)]. \quad (1.16)$$

Наработка до первого отказа вычисляется по формуле (1.15).

Для случая, когда основная и резервная цепи имеют одинаковую надежность формула имеет вид:

$$P(t) = 1 - [1 - \prod_{i=1}^n P_i(t)]^{m+1}. \quad (1.17)$$

При экспоненциальном законе надежности, когда основная и все резервные цепи равнонадежны и время наработки до первого отказа всех элементов подчинено экспоненциальному закону распределения:

$$P(t) = 1 - (1 - e^{-\Lambda t})^{m+1}, \quad (1.18)$$

где $\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ - интенсивность отказов последовательной цепи.

Недостаток общего резервирования с постоянным включением резервной системы заключается в значительном увеличении объема используемого оборудования. Его рекомендуется применять при небольшой кратности резервирования (наибольший выигрыш имеет место при $m = 1$). Основные достоинства метода – простота и экономичность.

При включении резерва замещением необходимо учитывать режимы работы резервных элементов, которые могут быть различными. Аналитические методы расчета показателей надежности в этом случае достаточно громоздки. Поэтому на практике обычно ограничиваются случаем, когда наработка до первого отказа элементов в системе подчиняется экспоненциальному закону распределения. При этом случайный процесс, происходящий в системе, является марковским и для расчета надежности можно воспользоваться математическим аппаратом теории марковских случайных процессов.

Вероятность безотказной работы и наработку до отказа при включении резерва замещением и нагруженного состояния резервных элементов и наработку до первого отказа можно определить по ранее приведенным формулам для общего резервирования с постоянным включением резерва.

При ненагруженном общем резерве вероятность безотказной работы системы, состоящей из m резервных цепей, определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\Lambda t} \sum_{j=0}^m \frac{(\Lambda t)^j}{j!}, \quad (1.19)$$

где Λ – интенсивность отказов нерезервированной цепи; m – число резервных цепей.

Наработка до отказа равна:

$$T_1 = T_{10}(m + 1), \quad (1.20)$$

где T_{10} – наработка до отказа основной (не резервированной) цепи).

Структурная схема надежности системы с отдельным резервированием показана на рисунке 1.17 б. В данном случае объект может быть представлен в виде последовательного соединения n секций, каждая из которых содержит $m+1$ параллельно включенных элементов. Система находится в состоянии работоспособности, если исправно работают все n секций. В свою очередь, отказ любой из секций наступает в том случае, если откажут все $m+1$ элементов секций.

Вероятность безотказной работы системы с отдельным резервированием:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \prod_{j=1}^m [1 - p_{ij}(t)] \right\}. \quad (1.21)$$

Так как основной и резервирующий его элементы могут быть равнонадежны, то можно записать:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - [1 - p_i(t)]^{m+1} \right\}. \quad (1.22)$$

При экспоненциальном законе наработки до отказа и при равной надежности элементов, входящих в одну секцию:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - (1 - e^{-\lambda_i t})^{m+1} \right]. \quad (1.23)$$

При включении резерва замещением целесообразно определить вероятность безотказной работы секции $P_i(t)$, рассмотренными выше методами, а, затем, определить вероятность безотказной работы последовательной системы:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (1.24)$$

При смешанном соединении элементов для расчета надежности системы необходимо вначале определить вероятность безотказной работы ее составных частей, образующих схему основного соединения, затем найти вероят-

ность безотказной работы всего устройства, на основании которой могут быть получены остальные характеристики надежности.

Для скользящего резервирования вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P(t) = \left[1 + n \frac{\lambda_i}{\lambda_n} (1 - e^{-\lambda_n t}) \right] \cdot e^{-n\lambda_i t}, \quad (1.25)$$

где λ_n – интенсивность отказов переключающих устройств.

Наработка до отказа вычисляется по общей формуле (1.15)

1.3. Расчет надежности восстанавливаемых систем

Для восстанавливаемых в процессе эксплуатации систем, к которым относится электропривод, помимо приведенных параметров количественной оценки надежности применяются также среднее время простоя (восстановления), интенсивность восстановления изделий, готовность устройства к восстановлению.

Согласно используемой номенклатуре показателей надежности электротехнических устройств для общего режима эксплуатации (непрерывной, циклической, оперативной) в качестве обобщенного показателя качества рекомендуется использовать коэффициент готовности (K_g). Коэффициент готовности характеризует долю времени в течение которого система работоспособна, а коэффициент простоя – долю времени, в течение которого она ремонтируется.

Исследование случайных процессов, протекающих в ремонтируемых системах с ненадежными элементами при известных условиях, может быть приведено методами теории непрерывных марковских цепей. При анализе надежности целесообразно рассматривать ремонтируемые системы как системы массового обслуживания, в которых поток заявок на обслуживание представляет собой поток отказов аппаратуры, каналами обслуживания являются ремонтные бригады, восстанавливающие работоспособность устройств.

Теория марковских случайных процессов базируется на том, что в большинстве случаев поток отказов элементов является простейшим, а время восстановления подчиняется экспоненциальному закону.

Метод сочетается с представлением структуры схемы в виде графа состояний и переходов. Установка без резервирования может находиться в двух состояниях: P_0 – работоспособные, P_1 – неработоспособные. Если λ – интенсивность отказов, то μ – интенсивность восстановления (рис. 1.18).

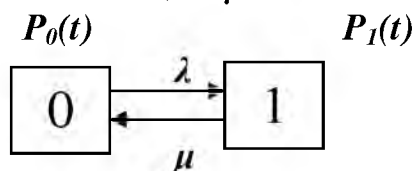


Рисунок 1.18 - Граф состояний установки

Система дифференциальных уравнений относительно вероятностей переходов имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -\lambda_0 P_0(t) + \mu P_1(t); \\ \frac{dP_1}{dt} = -\mu P_1(t) + \lambda P_0(t). \end{cases} \quad (1.26)$$

При начальных условиях $P_0(0) = 1, P_1(0) = 0$ и условии, что события P_1 и P_0 представляют полную группу событий, система уравнений (1.26) решается следующим образом.

Используя преобразование Лапласа, можно записать:

$$\begin{cases} sP_0(s) = -\lambda P_0(s) + \mu P_1(s); \\ sP_1(s) = -\mu P_1(s) + \lambda P_0(s). \end{cases} \quad (1.27)$$

Методом подстановки определяем:

$$P_0(s) = \frac{s + \mu}{(s + \lambda + \mu)s}. \quad (1.28)$$

Функция готовности находится как вероятность нахождения в работоспособном состоянии $\Gamma(t) = P_0(t)$ и ее можно получить обратным преобразованием Лапласа:

$$\Gamma(t) = P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (1.29)$$

При значении t , стремящемся к бесконечности, устанавливается стационарный режим и $P_0(t)$ перестает зависеть от времени. В этом случае определяют коэффициент готовности:

$$k_2 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}. \quad (1.30)$$

Таким образом величина $P_0(\infty)$ и есть оценка коэффициента готовности k_2 .

Для систем, которые содержат несколько элементов со своими интенсивностями отказов и восстановлений, например, электропривод, определить коэффициент готовности можно по формуле:

$$k_2 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}. \quad (1.31)$$

где λ_i, μ_i - интенсивности соответственно отказов и восстановлений i -х элементов системы

Однако, часть отказов элементов системы обнаруживается сразу при явных проявлениях, а часть может быть выявлена только при проведении специальных измерений или тестов, что чаще проводится при очередном техническом обслуживании. В связи с этим формула для расчета коэффициента готовности приобретает вид:

$$k_2 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} + \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_j}{\mu_j}}, \quad (1.32)$$

где, λ_i, λ_j - интенсивности отказов элементов электропривода приводящих соответственно к явным и скрытым отказам;

μ_i, μ_j - интенсивности восстановлений элементов электропривода соответственно по явным и скрытым отказам.

В качестве примера рассмотрим электропривод рабочей машины. Весь электропривод лучше разделить на две составляющие: 1 – электродвигатель, 2 - аппаратура управления и защиты. Каждая из этих составляющих имеет скрытые и явные отказы. Интенсивность восстановления скрытых отказов двигателя и аппаратуры управления одинакова. Тогда формула для определения коэффициента готовности принимает вид:

$$k_2 = \frac{1}{1 + \frac{\sum \lambda_{двя}}{\mu_{двя}} + \frac{\sum \lambda_{двс}}{\mu_c} + \frac{\sum \lambda_{ауя}}{\mu_{ауя}} + \frac{\sum \lambda_{аус}}{\mu_c}} \quad (1.33)$$

где $\lambda_{двя}, \lambda_{двс}$ - интенсивности отказов электродвигателя соответственно по явным и скрытым отказам;

$\mu_{двя}, \mu_{ауя}$ - интенсивность восстановления при явных отказах соответственно двигателя и элементов аппаратуры управления;

$\sum \lambda_{ауя}, \sum \lambda_{аус}$ - суммарная интенсивность отказов аппаратуры управления соответственно по явным и скрытым отказам.

Для того чтобы не вычислять отдельно интенсивности отказов аппаратов управления по скрытым и явным отказам лучше ввести в формулу коэффициент самоконтроля. Этот коэффициент показывает - насколько способен аппарат переводить скрытые отказы в явные, то есть оценивает способность устройства контролировать свою исправность. С учетом индивидуальных для каждого аппарата коэффициентов формула (1.33) принимает вид:

$$k_2 = \frac{1}{1 + \frac{\sum \lambda_{двя}}{\mu_{двя}} + \frac{\sum \lambda_{двс}}{\mu_c} + \frac{\sum \lambda_{ауя} k_c}{\mu_{ауя}} + \frac{\sum \lambda_{ауя} (1 - k_c)}{\mu_c}} \quad (1.34)$$

Таким образом, интенсивность отказов электродвигателя имеет на две составляющие:

$$\Lambda_{\partial в} = \lambda_{\partial в 0} \sum_{i=1}^n P_i Q_i + \lambda_{\partial в 0} \sum_{j=1}^m P_j Q_j = \lambda_{\partial в я} + \lambda_{\partial в с} \quad (1.35)$$

где $\lambda_{\partial в 0}$ - интенсивность электродвигателя при отсутствии защиты или ее неверно настроенной;

$P_i Q_i$ - произведения вероятности соответственно возникновения отказа электродвигателя и отказа устройства защиты при i -м аварийном режиме, обнаруживаемых в течение рабочего дня (явный отказ);

$P_j Q_j$ - произведения вероятности соответственно возникновения отказа электродвигателя и отказа устройства защиты при j -м аварийном режиме, обнаруживаемых при очередном техническом осмотре (скрытый отказ).

К явным отказам электродвигателя относятся обрыв питающей фазы и заклинивание вала электрической машины. Остальные аварийные режимы относятся к скрытым отказам. Значения вероятностей отказов электродвигателей зависят от отрасли сельскохозяйственного производства и даны в Приложении. Вероятности отказа аппаратов защиты на отдельные аварийные режимы зависят от установленных защитных устройств и приведены в Приложении. Интенсивность восстановления при явном отказе для электродвигателя связана с временем обнаружения отказа и временем замены электрической машины. В большинстве случаев это делается в течение рабочего дня и поэтому интенсивность восстановления будет равна обратной величине от времени работы электропривода в сутках. Если при явном отказе электродвигателя больше времени тратится на замену машины, то при явном отказе аппаратов управления и защиты больше временных затрат на обнаружение отказа. Тем не менее, интенсивности восстановления при явном отказе и электродвигателя и аппаратуры управления можно принять одинаковыми:

$$\mu_{\partial в я} = \mu_{ау я} = \frac{1}{t_{сут}}. \quad (1.36)$$

Время работы в сутки $t_{сут}$ приведено в Приложении.

Интенсивность восстановления скрытого отказа электродвигателя и аппаратуры управления связана с периодичностью технического обслуживания. Так как скрытый отказ с равной вероятностью может произойти как на следующий день после проведения ТО, так и непосредственно перед проведением профилактики, то время обнаружения следует брать равное половине межосмотрового периода. Таким образом, интенсивность восстановления скрытых отказов можно рассчитать по формуле:

$$\mu_c = \frac{2}{P_{TO} \cdot t_{сут}} \quad (1.37)$$

где P_{TO} - периодичность проведения технических обслуживаний, сут.

Интенсивность отказов электродвигателей связана со сроком службы машин и временем работы в сутки (данные можно взять из таблицы в Приложении):

$$\lambda_{дв0} = \frac{1}{T_{сл} \cdot t_{год}} \quad (1.38)$$

Аналогичным образом можно рассчитать и интенсивность отказов аппаратов управления и защиты. Так, например, для расчета интенсивности отказов отдельных аппаратов нужно использовать данные таблицы (Приложение) и пользоваться формулой:

$$\lambda_{ay} = \frac{1}{T_{сл} \cdot t_{год}} \quad (1.39)$$

При условии, что все составляющие электропривода работают одинаково по времени, и с учетом выше приведенных формул, выражение для расчета коэффициента готовности можно представить в виде:

$$k_2 = \frac{1}{1+t_{сут} \left[\left(\sum \lambda_{дв} + \frac{1}{2} P_{TO} \sum \lambda_{двс} \right) + \sum \lambda_{ay} k_c + \frac{1}{2} P_{TO} \sum \lambda_{ay} (1-k_c) \right]} \quad (1.40)$$

Формулу можно упростить, так как, коэффициент самоконтроля большинства аппаратов управления находится на уровне 0,5. В связи с этим, с небольшой погрешностью, коэффициент готовности электропривода можно рассчитывать по формуле:

$$k_2 = \frac{1}{1+t_{сут} \left[\left(\sum \lambda_{дв} + \frac{1}{2} P_{TO} \sum \lambda_{двс} \right) + \sum \lambda_{ay} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} P_{TO} \right) \right]} \quad (1.41)$$

Пример 1. Определить коэффициент готовности электроустановки имеющей среднюю наработку на отказ 7600 часов и среднее время восстановления 53 часа.

Решение. Используя показательные законы распределения определим интенсивность отказов и восстановлений установки:

$$\lambda = \frac{1}{T_o} = \frac{1}{7600} = 1,32 \cdot 10^{-4} \text{ час}^{-1},$$

$$\mu = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{53} = 188,7 \cdot 10^{-4}$$

По формуле (1.30) определим коэффициент готовности установки:

$$k_2 = \frac{188,7 \cdot 10^{-4}}{1,32 \cdot 10^{-4} + 188,7 \cdot 10^{-4}} = 0,993.$$

Пример 2. Рассчитать коэффициент готовности электропривода вентилятора, работающего на ферме КРС. Схема управления одним электродвигателем состоит из одного магнитного пускателя, автоматического выключателя, двух кнопок управления и теплового реле. Расчет произвести с учетом неправильно выбранного теплового реле (не срабатывает на любой аварийный режим) ненастроенного теплового реле и настроенного. Произвести расчет нового срока службы электродвигателя при отрегулированном тепловом реле. Периодичность технического обслуживания один раз в месяц.

Из таблицы Приложения определяем время работы в сутки $t_{сут}$, которое равно 8 часам. Определим интенсивность отказов электродвигателя при неверно настроенной защите:

$$\lambda_{дв0} = \frac{1}{T_{сл} t_{год}} = \frac{1}{4 \cdot 2800} = 8,92857 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$$

Разделим интенсивности отказов на явный и скрытый вид, используя формулы и таблицы определим соответствующие интенсивности отказов:

$$\lambda_{дв\text{я}} + \lambda_{дв\text{с}} = \lambda_{дв0} \sum_{i=1}^n P_i Q_i + \lambda_{дв0} \sum_{j=1}^m P_j Q_j =$$

$$8,93 \cdot 10^{-5} (0,5 + 0,13) + 8,93 \cdot 10^{-5} (0,04 + 0,13 + 0,06 + 0,01 + 0,06 + 0,07) =$$

$$5,63 \cdot 10^{-5} + 3,3 \cdot 10^{-5} (\text{ч}^{-1})$$

Вероятности отказа приняты равными 1, так как расчет ведется для случая, когда устройство защиты неправильно выбрано.

Определим интенсивность отказов аппаратуры управления исходя из условия, что имеются две кнопки управления, один автоматический выключатель, один магнитный пускатель. Необходимые данные принимаются из таблицы и интенсивности отказов составят:

$$\lambda_{ку} = \frac{1}{T_{сл} t_{год}} = \frac{1}{3,8 \cdot 2800} = 9,39 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$$

$$\lambda_{ав} = \frac{1}{T_{сл} t_{год}} = \frac{1}{5,04 \cdot 2800} = 7,08 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$$

$$\lambda_{мп} = \frac{1}{T_{сл} t_{год}} = \frac{1}{4,04 \cdot 2800} = 8,84 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$$

$$\lambda_{mp} = \frac{1}{T_{сл} t_{год}} = \frac{1}{3,1 \cdot 2800} = 11,52 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$$

Интенсивность отказов всей аппаратуры управления составит:

$$\begin{aligned} \sum \lambda_{ay} &= 2\lambda_{кy} + \lambda_{ав} + \lambda_{mn} + \lambda_{mp} = (2 \cdot 9,39 + 7,08 + 8,84 + 11,52) \cdot 10^{-5} \\ &= 46,22 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \end{aligned}$$

Определим коэффициент готовности электропривода с неправильно выбранным тепловым реле:

$$k_2 = \frac{1}{1 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\left(5,63 + \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 3,3 \right) + 46,22 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot 30 \right) \right]} = 0,9671$$

Определим интенсивности отказов при ненастроенном, но правильно выбранном тепловом реле

$$\lambda_{двa} + \lambda_{двс} = \lambda_{дв0} \sum_{i=1}^n P_i Q_i + \lambda_{дв0} \sum_{j=1}^m P_j Q_j =$$

$$\begin{aligned} &8,93 \cdot 10^{-5} (0,5 \cdot 0,4 + 0,13 \cdot 0,55) + \\ &+ 8,93 \cdot 10^{-5} (0,04 \cdot 0,25 + 0,13 + 0,06 + 0,01 + 0,06 + 0,07) = \\ &= 2,41 \cdot 10^{-5} + 3,04 \cdot 10^{-5} (\text{ч}^{-1}) \end{aligned}$$

Определим коэффициент готовности электропривода с ненастроенным тепловым реле:

$$k_2 = \frac{1}{1 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\left(2,41 + \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 3,04 \right) + 46,22 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot 30 \right) \right]} = 0,9677$$

Определим интенсивности отказов при настроенном тепловом реле:

$$\lambda_{двa} + \lambda_{двс} = \lambda_{дв0} \sum_{i=1}^n P_i Q_i + \lambda_{дв0} \sum_{j=1}^m P_j Q_j =$$

$$\begin{aligned} &8,93 \cdot 10^{-5} (0,5 \cdot 0,15 + 0,13 \cdot 0,35) + \\ &+ 8,93 \cdot 10^{-5} (0,04 \cdot 0,1 + 0,13 + 0,06 + 0,01 + 0,06 + 0,07) = \\ &0,98 \cdot 10^{-5} + 2,94 \cdot 10^{-5} (\text{ч}^{-1}) \end{aligned}$$

Определим коэффициент готовности электропривода с настроенным тепловым реле:

$$k_2 = \frac{1}{1 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\left(0,98 + \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 2,94 \right) + 46,22 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot 30 \right) \right]} = 0,9679$$

$$T_{сл} = \frac{1}{\lambda_{двн} t_{год}} = \frac{1}{(0,98 + 2,94) \cdot 10^{-5} \cdot 2800} = 9 \text{ лет}$$

Таким образом, установка настроенного теплового реле позволит увеличить срок службы электродвигателя с 4-х до 9 лет.

Пример 3. Для примера 4 определить как изменится коэффициент готовности с настроенным тепловым реле при изменении периодичности технического обслуживания с 30 до 20 дней.

Решение. Подставим в формулу коэффициента готовности новую периодичность технических обслуживаний равную 20 дней и получим:

$$k_2 = \frac{1}{1 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\left(0,98 + \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 2,94 \right) + 46,22 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot 20 \right) \right]} = 0,9777$$

Из полученных расчетов видно большое влияние периодичности технических обслуживаний на коэффициент готовности электроустановок. Для повышения коэффициента готовности необходимо иметь средства диагностики, которые позволят обнаружить раньше скрытые отказы. Таким образом повысить надежность электрооборудования можно или установкой более надежных элементов, устройств обнаружения скрытых отказов или организационными методами – проведением более часто технических обслуживаний.

Модернизировать электропривод можно также заменой существующего устройства защиты на более надёжное или более соответствующее конкретным условиям эксплуатации по функционально-защитным характеристикам. Методикам выбора устройств защит посвящено много научных работ, в том числе диссертации Данилова В.Н., Грундулиса А.О., Оськина С.В. При использовании этих методик необходимо учитывать следующее:

1) надёжность устройства защиты оказывает значительное влияние на надёжность всего электропривода, поэтому могут быть ситуации, когда введение дополнительного аппарата защиты повышает срок службы электродвигателя, но снижает коэффициент готовности всего электропривода;

2) имея однотипные устройства защиты, эффективнее использовать аппараты с самоконтролем исправности и высокой собственной конструктивной и производственной надёжностью.

Для электроприводов рабочих машин, работающих в сельскохозяйственном производстве рекомендуется установка устройств встроенной температурной защиты. Также отмечалось, что одним из эффективных спосо-

бов получения высокой надёжности электропривода является применение безотказного устройства защиты с высокими функционально-защитными характеристиками. С 1990 года промышленность выпускает для сельского хозяйства устройство защиты УВТЗ-5М, схема которого приведена на рисунке 1.19.

Существенно повысить коэффициент готовности электропривода и срок службы электродвигателя можно добавив устройство контролирующее сопротивление изоляции обмоток статора. Однако введение дополнительного элемента может привести к понижению общего показателя надёжности. В связи с этим было разработано устройство УВТЗ-5МИ, которое дополнено элементами, не снижающими общую надёжность устройства (рис. 1.20). Устройства серии УВТЗ-5 обладают дополнительно функциями самоконтроля исправности, что также повышает коэффициент готовности электропривода.

Сейчас отмечается тенденция к увеличению сложности поступающего электрифицированного оборудования, особенно в перерабатывающей отрасли. В связи с этим, основное направление будущего внедрения аппаратов управления и защиты будет связано с установкой электронных, возможно микропроцессорных устройств, обладающих большим количеством функций. Нарращивание защитных функций часто приводит к другой проблеме – частые отключения, причина которых иногда трудноопределима, и не всегда используется перегрузочная способность электрической машины. Такой фактор приводит к отказу эксплуатационников от установки этих устройств в электропривод. Разрешение такой проблемы может выразиться в дополнении проверенных устройств средней сложности микропроцессорными блоками, расширяющими возможности распознавания причин отключения и дающих возможность максимально использовать перегрузочные способности электродвигателей. Такие блоки должны взять на себя также функции диагностики состояния электрической машины и запоминания режимов работы, с возможностью статистической обработки имеющейся информации. Микропроцессорный блок должен иметь съёмный микрочип, куда будет заноситься накапливаемая информация в виде «истории болезни» по электрической машине. Даже при выходе из строя электродвигателя и проведении последующего капитального ремонта этот микрочип должен быть с электрической машиной. Поступившая в ремонт машина может быть проанализирована по режиму работы и облегчается процесс выявления причины выхода из строя. После восстановления в сопровождающую базу данных заносится вид проведенного ремонта, желательно указывать результаты послеремонтных испытаний с вероятной корректировкой максимальной мощности электродвигателя. Вместе с установкой электродвигателя на рабочее место микрочип вкладывается в микропроцессорный блок, который считывает информацию и в зависимости от этого устанавливает предельные пороги срабатывания отдельных каналов защиты от аварийных режимов работы, рассчитывает остаточный ресурс электрической машины, рекомендует сроки проверки технического состояния.

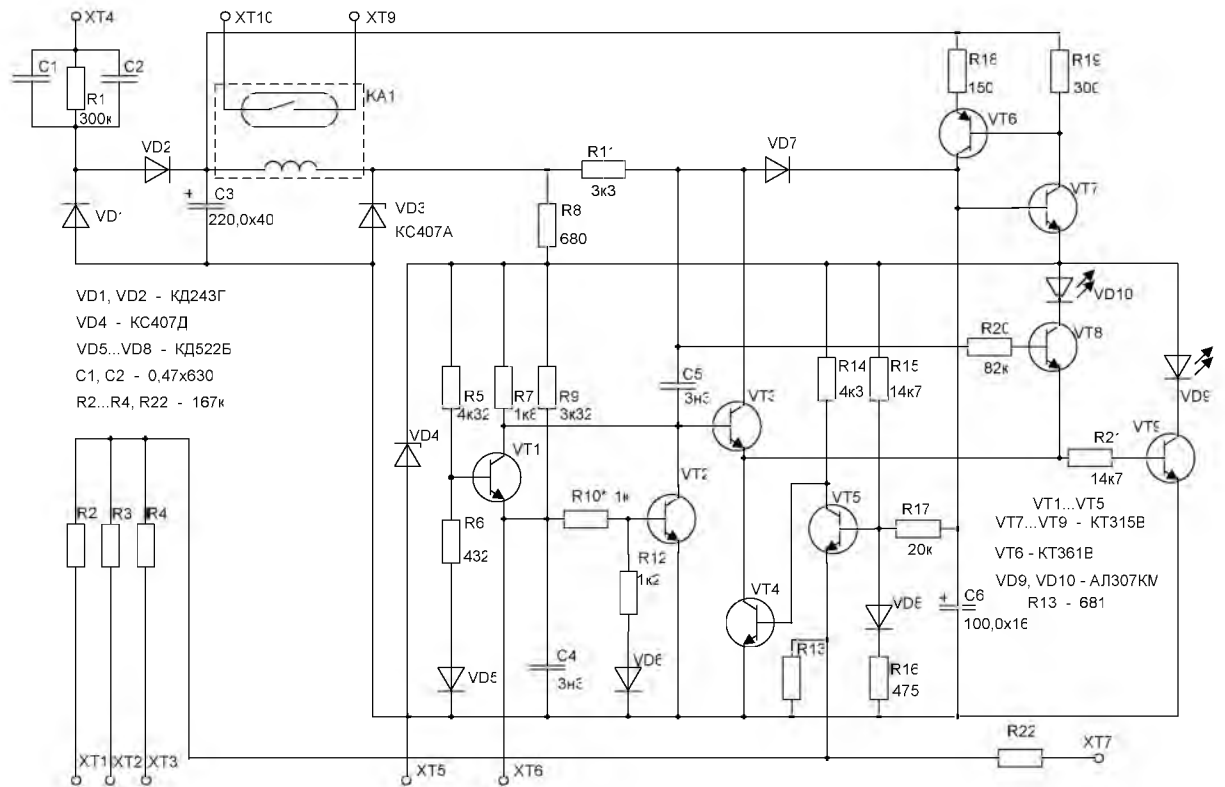


Рисунок 1.19-Схема устройства защиты УВТЗ-5М

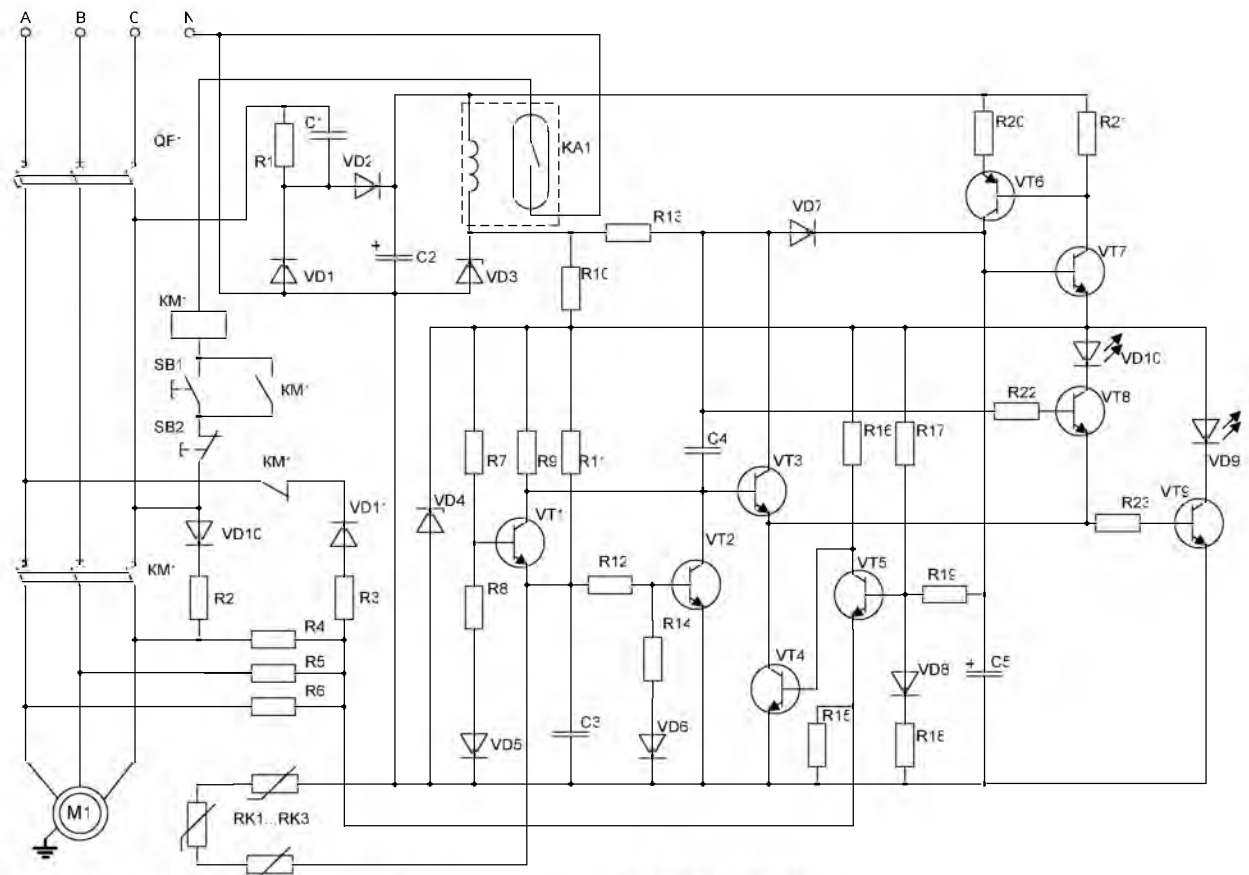


Рисунок 1.20-Схема устройства защиты УВТЗ-5МИ

1.4 Методы экономической оценки эффективности функционирования автоматизированного электропривода

Показатели экономической эффективности работы электропривода в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные решения, принимаемые при эксплуатации и проектировании. Очень важно оценить эффективность работы электропривода при его модернизации или разработки нового проекта. Лучше всего это делать на основе инвестиционных показателей эффективности.

Эффективность инвестиционного проекта (ИП) должна определяться на основе денежного потока, представляющего собой зависимость от времени денежных поступлений и платежей для всего расчетного периода.

При проведении экономических обоснований за расчетный период принимается временной интервал от начала действия проекта до его окончания. Расчетный период целесообразно разбить на шаги $(0, 1, \dots, m, \dots, n)$, используемые для оценки финансовых показателей. Разбивка обычно ведется для временного интервала год (квартал, месяц). Время в расчетном периоде измеряется в годах или долях года и отсчитывается от фиксированного момента времени $t_0 = 0$, принимаемого за базовый. Обычно в качестве базового выбирается начало нулевого шага, а момент начала шага m обозначается t_m . При сравнении нескольких проектов базовый момент рекомендуется выбирать одним и тем же.

Значение денежного потока обозначается $\Phi(t)$, если оно относится к моменту времени t или $\Phi(m)$, если оно относится к m -му шагу. На каждом шаге значение денежного потока характеризуется: притоком, равным размеру денежных поступлений (результатов в стоимостном выражении) и оттоком, равным платежам на этом шаге. К притокам обычно относится выручка от реализации продукции, а также другие поступления. К оттокам – производственные издержки, налоги и покупка дополнительных материалов и оборудования.

Согласно существующим методическим рекомендациям при оценке ИП приведение разновременных (относящихся к разным шагам расчета) значений денежного потока к ценности на начальный период $t_0 = 0$ осуществляется путем дисконтирования. При этом, в принципе, момент приведения может и не совпадать с базовым.

Термин «дисконтирование» широко употребляется в финансовой практике. Под ним можно понимать способ нахождения суммы результатов на некоторый момент времени t при условии, что в будущем при начислении на нее процентов, она могла бы составить наращенную сумму новых результатов. Величину результатов, найденную дисконтированием наращенной величины называют приведенной величиной. С помощью дисконтирования в финансовых вычислениях учитывается фактор времени, который связан с инфляционными процессами, уровнями банковских ставок по кредитам, стоимости ценных бумаг.

Для приведения разновременных затрат, результатов и эффектов используется норма дисконта (E), равная норме дохода на капитал и выраженная в долях единицы или процентах в год.

Технически приведение денежного потока к базисному (обычно начальному) моменту времени осуществляется путем умножения его на коэффициент дисконтирования α_m , определяемого для постоянной нормы дисконта E :

$$\alpha_m = \frac{1}{(1 + E)^m}, \quad (1.42)$$

где m – номер шага расчета ($m = 1, 2, \dots, n$).

Если же норма дисконта меняется во времени и на шаге m равна E_m , то коэффициент дисконтирования определяется по формуле:

$$\alpha_0 = 1;$$

$$\alpha_m = \frac{1}{\prod_{k=1}^m (1 + E_k)}; \text{ при } t > 0. \quad (1.43)$$

В рыночной экономике при использовании собственного капитала нормы дисконта определяются исходя из депозитного процента по вкладам, а на практике она выше этого процента за счет инфляции и риска, связанного с инвестициями. В случае, когда весь капитал заемный, норма дисконта представляет собой соответствующую процентную ставку, определяемую условиями процентных выплат и погашений по займам.

В мировой практике наибольшее распространение получил метод оценки экономической эффективности ИП с использованием следующих четырех показателей: чистого дисконтированного дохода, индекса доходности, внутренней нормы доходности и срока окупаемости капитальных вложений.

Наиболее общим и правильным является использование всех четырех взаимосвязанных показателей. При этом чистый дисконтированный доход – один из важнейших показателей и критериев эффективности, который в ряде случаев выступает как самостоятельная и единственная характеристика.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) характеризует превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта с учетом неравномерности эффектов (затрат, результатов), относящихся к различным моментам времени.

Основой для исчисления чистого дисконтированного дохода является «План денежных потоков», который строится путем анализа денежных притоков и оттоков. ЧДД рассчитывается по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{m=0}^n \Phi_m \alpha_m, \quad (1.44)$$

где Φ_m - денежные потоки на отдельных шагах расчета.

Для признания проекта эффективным, с точки зрения инвестора, необходимо, чтобы чистый дисконтированный доход проекта был положительным. При проведении сравнительной оценки предпочтение следует отдать проекту с большим значением ЧДД (при выполнении условия его положительности). Очевидно, что при $ЧДД > 0$ проект следует принять, при $ЧДД < 0$ отвергнуть, а при $ЧДД = 0$ проект не прибылен, но и не убыточен.

Необходимо отметить, что ЧДД отражает прогнозную оценку изменения экономического потенциала предприятия в случае принятия рассматриваемого проекта. Этот показатель аддитивен во временном аспекте. Это очень важное свойство, выделяющее этот критерий из всех остальных и позволяющих использовать его в качестве основного при анализе оптимальности инвестиционного проекта. ЧДД – динамический показатель и его функциональная характеристика во времени - нелинейная.

Среди ученых нет единого мнения по вопросу методики определения ЧДД. Одни из них считают, что нужно ориентироваться на чистую прибыль (прибыль до налогообложения за вычетом налога на прибыль), получаемую при реализации проекта, другие считают, что необходимо учитывать при расчете амортизационные отчисления в виде притока денежных средств, т.е. не учитывать их в издержках, третьи – говорят о расчетах только доходов, без вычетов налогов. Однако, все это не оказывает существенного влияния на сущность этого показателя.

Аналитическое выражение для определения ЧДД на основе чистой прибыли имеет следующий вид:

$$ЧДД = -K + \frac{П_1}{(1+E)} + \frac{П_2}{(1+E)^2} + \frac{П_3}{(1+E)^3} + \dots + \frac{П_n}{(1+E)^n}, \quad (1.45)$$

где K – инвестиции, необходимые для реализации проекта; $П_1, П_2, \dots, П_n$ – чистая прибыль, получаемая по отдельным годам от реализации проекта; E – норматив приведения затрат к единому моменту времени (норма дисконта).

Указанная позиция объясняется тем, что амортизационные отчисления – это средства, необходимые для осуществления процесса восстановления основных производственных фондов. Они остаются в распоряжении предприятия, т.е. это приток денежных средств, а не отток.

Величину ЧДД рекомендуется определять по следующей формуле:

$$ЧДД = \sum_{m=0}^n \frac{П_m}{(1+E)^m} - \sum_{m=0}^n \frac{K_m}{(1+E)^m}, \quad (1.46)$$

где $П_m$ – чистая прибыль, получаемая на m – том шаге; E – норма дисконта; K_m – капитальные вложения на m – том шаге.

Пример 1. Для реализации проекта требуются инвестиции (капиталовложения), вносимые одновременно в размере 50 тыс. д.е. Чистые денежные притоки (чистая прибыль плюс амортизационные отчисления) по годам ори-

ентировочно составят (тыс. д.е.) 1-й год – 20; 2-й год – 22,5; 3-й год – 26; 4-й год – 32. Ставка дисконта составляет 20%. Сделать вывод об экономической целесообразности проекта на основе ЧДД.

Решение.

Чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \frac{20}{(1+0,2)} + \frac{22,5}{(1+0,2)^2} + \frac{26}{(1+0,2)^3} + \frac{32}{(1+0,2)^4} - 50 = 12,78 \text{ тыс. д.е.}$$

При расчете денежного потока в рублях в условиях нестабильной экономики нужно учитывать инфляцию. В этом случае формула (1.46) будет иметь вид:

$$\text{ЧДД} = \sum_{m=0}^n \frac{\Pi_m}{(1+E)^m \prod_{m=0}^n \beta_m} - \sum_{m=0}^n \frac{K_m}{(1+E)^m \prod_{m=0}^n \beta_m}, \quad (1.47)$$

где β_m – индекс годового роста цен, показывает, во сколько раз в среднем увеличились цены за m -ый год.

В случае если к концу расчетного периода остается часть недоамортизированных основных фондов необходимо включить их остаточную стоимость в расчет ЧДД в виде составляющего денежного потока на последнем шаге расчетного периода. Остаточная стоимость основных фондов ориентировочно можно определить по формуле:

$$C_o = \sum_{x=1}^y C_x (1 - a_x t / 100), \quad (1.48)$$

где $x...y$ – перечень имеющихся основных фондов (здания, оборудование и т.д.); C_x – первоначальная стоимость основных фондов x -го вида; a_x – норма амортизационных отчислений по x -м основным фондам, %; t – срок службы до завершения рассматриваемого расчетного периода, лет.

Пример 2. Для предыдущего примера рассчитать ЧДД с учетом продажи объекта и в конце расчетного периода (остаточная стоимость основных производственных фондов составит 10 тыс. д.е.).

Решение. Определим чистый дисконтированный доход :

$$\text{ЧДД} = \frac{20}{(1+0,2)} + \frac{22,5}{(1+0,2)^2} + \frac{26}{(1+0,2)^3} + \frac{32+10}{(1+0,2)^4} - 50 = 17,6 \text{ тыс. д.е.}$$

В настоящее время необходимо иметь ввиду, что существует развитая кредитная система, позволяющая осуществить капиталовложения, пользуясь банковским кредитом.

Наиболее часто встречающиеся кредиты – это кредит с погашением в рассрочку на протяжении T_k лет равными платежами (в номинальной стоимости). Тогда платежи с учетом процентов, которые включены в ежегодный платеж, по кредиту при заемной сумме K_n составят:

$$K_m = \frac{E_k(1+E_k)^{T_k}}{(1+E_k)^{T_k} - 1} \cdot K_n, \quad (1.49)$$

где K_m – платеж на m – том шаге с учетом процентов; E_k – номинальная годовая процентная ставка в банке.

Например, кредит $K = 100$ тыс. д.е. под 10% годовых ($E = 0,1$) сроком на 10 лет.

$$K_m = \frac{0,1(1+0,1)^{10}}{(1+0,1)^{10} - 1} \cdot 100000 = 16275 \text{ д.е.}$$

Таким образом выплаты по кредиту за 10 лет будут равны $BK = 10 \cdot 16275 = 162750$ д.е.

Индекс доходности представляет отношение суммы приведенных эффектов к величине капитальных вложений. Показатель индекс доходности тесно связан с ЧДД. Он строится из тех же элементов.

Внутренняя норма доходности (норма рентабельности инвестиций). Под внутренней нормой доходности (ВНД) понимают значение ставки дисконтирования $E = E_{вн}$, при которой ЧДД проекта равен нулю. Схема расчета этого коэффициента при анализе ИП заключается в следующем: ВНД показывает максимально допустимый относительный уровень расходов, которые могут быть вложены в данный проект. Например, если проект финансируется за счет ссуды коммерческого банка, то значение ВНД показывает верхнюю границу допустимого уровня банковской процентной ставки, превышение которой делает проект убыточным.

На практике ИП может финансироваться из различных источников. В этом случае смысл показателя ВНД заключается в том, что разработчик должен сравнить полученное значение ВНД с ценой привлекаемых финансовых ресурсов (СС).

Если $ВНД > СС$, то проект следует принять, если $ВНД < СС$, то проект следует отвергнуть, если $ВНД = СС$ – проект не прибыльный и не убыточный.

Чтобы определить ВНД нужно решить приводимое ниже уравнение относительно $E_{вн}$:

$$\sum_{m=0}^n \frac{\Pi}{(1+E_{вн})^m} - K = 0, \quad (1.50)$$

где K – дисконтированные капиталовложения (второе слагаемое уравнения 1.37).

$E_{вн}$ достаточно просто можно получить, если имеется одно поступление денежных средств и один платеж. Если же имеется ряд притоков и оттоков и они дисконтированы уравнение по поводу $E_{вн}$ не решается, а оценивается приближенно. Для этого используется специальный финансовый калькулятор. При его отсутствии может быть использован метод последовательных итераций с применением табулированных значений дисконтных множителей.

Расчет ведется с использованием уравнения:

$$ВНД = E_1 + \frac{ЧДД(E_1)}{ЧДД(E_1) - ЧДД(E_2)}(E_2 - E_1), \quad (1.51)$$

где E_1 – значение процентной ставки в дисконтном множителе, минимизирующее положительное значение показателя ЧДД; E_2 – значение процентной ставки в дисконтном множителе максимизирующее отрицательное значение ЧДД.

Сущность метода заключается в следующем:

Ориентируясь на существующие в момент анализа процентные ставки на ссудный капитал, выбирают два значения нормы дисконта E_1 и E_2 таким образом, чтобы в интервале (E_1, E_2) функция ЧДД = $f(E)$ меняла свое значение с «+» на «-» или наоборот.

Далее используя формулу (1.42) производятся необходимые расчеты по определению $E_{вн}$. Точность вычислений обратно длине интервала (E_1, E_2) . Поэтому наименьшая аппроксимация достигается в случае, когда длина интервала не превышает 1%.

С р о к о к у п а е м о с т и. Сроком окупаемости называется время, за которое поступления от производственной деятельности предприятия покрывают затраты на инвестиции. Срок окупаемости измеряется в годах или месяцах.

Результаты и затраты, связанные с осуществлением проекта можно вычислять с дисконтированием и без него. Срок окупаемости с учетом дисконтирования называется периодом динамической амортизации и является наиболее точным. При расчетах срока окупаемости рекомендуется использовать дисконтирование как для притока, так и оттока денежных средств.

Алгоритм расчета срока окупаемости ($T_{ок}$) зависит от равномерности распределения прогнозируемых доходов от инвестиций. Если доходы распределены по годам равномерно, то срок окупаемости рассчитывается делением единовременных затрат на величину годовой прибыли:

$$T = \frac{K}{П}, \quad (1.52)$$

Если доход по годам распределяется неравномерно, то срок окупаемости рассчитывается прямым подсчетом числа лет, в течение которых инвестиции будут погашены кумулятивным доходом.

Особенностью внедрения новой техники в сельское хозяйство является то, что эффективность работы этой техники напрямую связана с функционированием биологических объектов. Зачастую отказы оборудования наносят ущербы значительно выше стоимости техники. В связи с этим в расчетах экономической эффективности часто технологический ущерб имеет более существенное значение.

Ущерб при отказах оборудования связан с недополучением прибыли из-за простоя оборудования или порчи продукции и может быть определен по формуле :

$$Y = \sum_{j=1}^m t_{nj} y_j n_j, \quad (1.53)$$

где t_{nj} – суммарное время простоя по j -му технологическому процессу, ч; y_j – удельная величина технологического ущерба по j -му процессу, руб/ч (Приложение), n_j – количество животных данного вида.

В связи с тем, что данные ущерба имеются только на уровень 2001 года то необходимо проводить индексацию цен.

Технологический ущерб также можно рассчитать с учетом показателей надежности оборудования, например, коэффициента готовности $k_{Гj}$:

$$Y = \sum_{j=1}^m t_{pj} y_j n_j (1 - k_{Гj}) \quad (1.54)$$

где t_{pj} - время работы в году i -го оборудования, ч (Приложение).

Если ущерб связан со снижением производительности оборудования (недовыпуск продукции) или невозвратимой потерей продукции, то лучше пользоваться формулой:

$$Y = Ц (T_{ф} - T_{дон}) \alpha Q_{сут} \quad (1.55)$$

где $Ц$ - цена единицы полновесной основной продукции;

$T_{ф}, T_{дон}$ - соответственно фактическая и допустимая длительность простоя; α - доля потерь продукции за час простоя сверх допустимой длительности, для кормоцехов, 0,25; $Q_{сут}$ - среднесуточный объем выпуска продукции.

Последнюю формулу можно также выразить через коэффициент готовности:

$$Y = Ц (1 - k_{Г}) t_p \alpha Q_{сут}$$

Суммарные годовые текущие издержки:

$$I = Z + Z_p + S_m + S_p + Y, \quad (1.56)$$

Наиболее часто в сельскохозяйственном производстве производится замена одного оборудования на другое, тогда критериями экономической эффективности нужно принимать следующие.

1. Снижение технологического ущерба, связанного с недополучением прибыли из-за простоя оборудования:

$$\Delta Y = t_{py} (k_{Гн} - k_{Гб}), \quad (1.57)$$

где $k_{Гн}$ $k_{Гб}$ - коэффициенты готовности соответственно нового и базового оборудования.

2. Снижение ущерба, связанного с уменьшением производительности оборудования или снижением ее качества:

$$\Delta Y = Ц \alpha Q_{сум} (k_{Гн} - k_{Гб}). \quad (1.58)$$

3. Получение дополнительного дохода за счет снижения себестоимости продукции:

$$\Delta C = (C_{б} - C_{н}) Q_{вал}, \quad (1.59)$$

где $C_{б}$ $C_{н}$ - себестоимость единицы продукции при работе соответственно на базовой установки и новой, $Q_{вал}$ - валовое производство продукции.

4. Получение дополнительного дохода за счет снижения эксплуатационных расходов:

$$\Delta Z = (Z_{ydb} - Z_{ydn}) Q_{вал}, \quad (1.60)$$

где Z_{ydb} Z_{ydn} - удельная величина эксплуатационных расходов при работе соответственно базовой и новой установках.

5. Повышение производительности труда через годовую экономию трудозатрат:

$$\Delta T = (T_{б} - T_{н}) Q_{вал}, \quad (1.61)$$

где $T_{б}$ $T_{н}$ - трудозатраты производства продукции соответственно при базовом и новом оборудовании.

6. Экономия фонда заработной платы за счет сокращения числа работников:

$$\Delta \Phi_{от} = N_{вр} c_ч t_{год}, \quad (1.62)$$

где $N_{вр}$ - число высвобождаемых рабочих, $c_ч$ - часовая тарифная ставка, $t_{год}$ - годовой фонд рабочего времени.

7. Дополнительный доход за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур:

$$D_{ур} = (B_n - B_б)Ц, \quad (1.63)$$

где B_n , $B_б$ - валовой сбор продукции при работе соответственно на новом и базовом оборудовании. Если повышается урожайность нескольких культур при работе на новом оборудовании, то можно воспользоваться формулой:

$$D_{ур} = \sum_1^n \Delta M_i S_i c_i, \quad (1.64)$$

где ΔM_i - изменение урожайности i -ой культуры за счет использования нового оборудования, $S_i c_i$ - соответственно посевная площадь и цена реализации i -ой культуры.

ПРИМЕР 3.

Рассчитать экономическую эффективность модернизации электропривода погружного насосного агрегата, работающего на молочно-товарной ферме 1000 голов КРС. В результате модернизации повышается коэффициент готовности электропривода с 0,917 до 0,945. Модернизации заключалась в дополнении системы управления блоком защиты от аварийных режимов работы на электронных компонентах. Стоимость дополнительных капитальных вложений составила 23 тыс. руб. При этом увеличился срок службы насосного агрегата с 3-х до 7 лет. В соответствии с Приложением удельный технологический ущерб равен 1,1 руб/гол.час. Годовое время работы насосного агрегата равно 2200 час (Приложение).

Решение.

Определим снижение технологического ущерба, связанного с недополучением прибыли из-за простоя электронасосного агрегата на ферме. Для этого используем формулу (1.57) и с учетом индекса цен получим следующее выражение:

$$\Delta Y = t_{пу} n (k_{Гн} - k_{Гб}) k_{ин},$$

где $k_{ин}$ - коэффициент индексации цен.

Коэффициент индексации цен принимаем по публикуемым статистическим данным и вычисляем по формуле:

$$k_{ин} = \prod k_i = 0,97 \cdot 1,46 \cdot 1,24 \cdot 1,22 \cdot 1,08 = 2,28$$

Годовой технологический ущерб на ферме составит:

$$\Delta Y = 2200 \cdot 1,1 \cdot 1000 \cdot (0,945 - 0,917) \cdot 2,28 = 145200 \text{ руб.}$$

Произведем расчет основных экономических показателей инвестиционного проекта. Определим чистый дисконтированный доход за 3 года эксплуатации при норме дисконта $E=0,2$:

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=1}^5 \frac{145200}{(1+0,2)^i} - 23000 = 305500 \text{ руб.}$$

Контрольные вопросы.

1. Перечислите приводные характеристики рабочих машин АПК и приведите формы их представления.
2. Зачем знать приводные характеристики рабочих машин инженеру-электрику?
3. В чем отличие работы автоматизированного электропривода в АПК?
4. Что понимается под надежностью системы и сочетанием каких свойств она представляется?
5. Перечислите виды отказов в электроприводе, приведите примеры.
6. Какими показателями надежности характеризуется восстанавливаемая система, и какими невосстанавливаемая?
7. Приведите основные формулы по расчету показателей надежности элементов электропривода и всего электропривода в целом.
8. Что такое коэффициент готовности и как он вычисляется для автоматизированного электропривода, работающего в технологическом процессе?
9. Что такое удельный технологический ущерб и от чего он зависит?
10. Как влияют устройства защиты электродвигателей от аварийных режимов работы на надежность автоматизированного электропривода?
11. Как влияет периодичность профилактики и диагностики на коэффициент готовности электропривода?
12. Перечислите экономические показатели эффективности инвестиционных проектов.
13. Что такое чистый дисконтированный доход, в чем привлекательность оценки по этому показателю, основные формулы по его расчету?
14. Как учесть технологический ущерб при оценке эффективности инвестиций?
15. Как влияет банковская ставка и уровень инфляции на величину расчетного дисконтированного дохода?

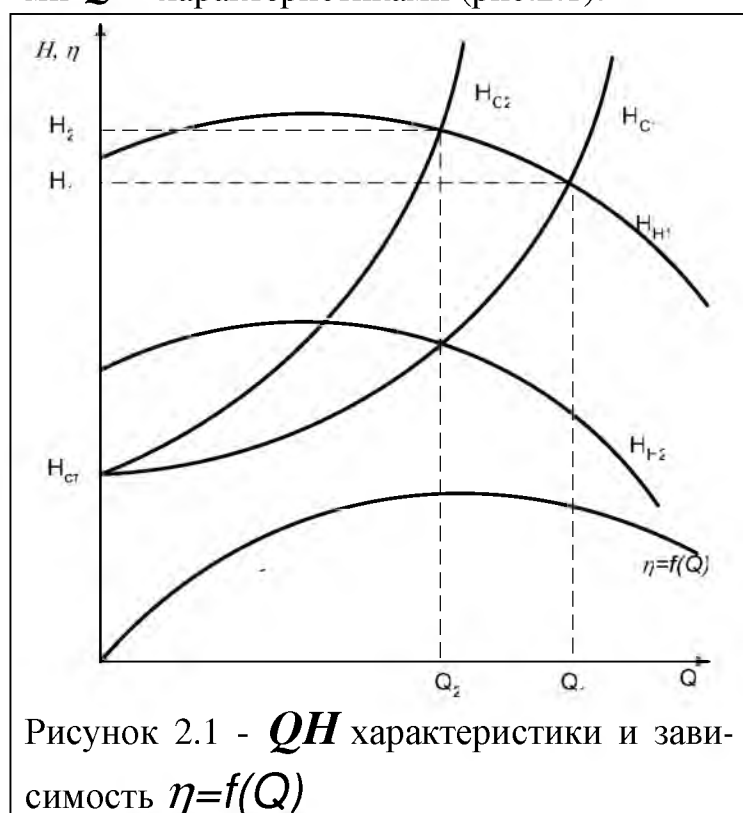
2. ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

2.1 Общие приводные характеристики, определение мощности, способы регулирования производительности насосов и вентиляторов

В сельскохозяйственном производстве насосные установки используются в системах водоснабжения производства и населения, для орошения и перекачки различных жидкостей, в котельных агрегатах. Вентиляционные установки находят широкое применение для поддержания параметров микроклимата внутри сельскохозяйственных помещений.

Многообразие технологических процессов и зоогигиенических требований, предъявляемых к системам водоснабжения и вентиляции, создает определенные трудности для анализа характеристик. Однако для этих механизмов существует ряд основных приводных характеристик, являющихся общими для большинства насосных и вентиляционных установок.

Технологические характеристики. Режим работы центробежных насосов и вентиляторов определяется следующими параметрами: подачей Q , напором H и угловой скоростью ротора ω . Эти параметры связываются зависимостью $H = f(Q)$ при $\omega = Const$ и называются QH характеристики. В практических расчетах часто пользуются графическими экспериментальными QH характеристиками (рис.2.1).



Для вентиляторов в каталогах и справочниках приводятся QH характеристики при различных значениях скорости ротора, а для насосов - QH характеристика при номинальной скорости ротора. При необходимости получения QH характеристики при других скоростях производят пересчет пользуясь законами пропорциональности:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 \quad (2.1)$$

Эти законы пропорциональности соблюдаются в так называемых динамически подобных режимах. Динамически подобный режим обусловлен кинетическим подобием движения жидкости в насосе и характеризуется постоянным значением КПД. Для пересчета QH характеристики задаются рядом значений Q_i , которым соответствуют значения H_{ni} , на номинальной QH характеристики и получают новую характеристику H_{H2} (рис.2.1).

Установившейся режим насоса или вентилятора определяется графически точкой пересечения QH характеристики центробежного механизма с характеристикой магистрали, на которую работает насос, или воздухораспределительной сети вентилятора. Характеристика магистрали и воздухораспределительной сети в общем виде описывается уравнением

$$H_c = H_{cm} + k_c Q^2, \quad (2.2)$$

где H_c - полный напор на магистрали или воздухораспределительной сети; H_{cm} - статический напор, обусловленный противодействием в котле, цистерне, воздухораспределительной сети; статическая высота подачи жидкости; k_c - коэффициент сопротивления магистрали или сети.

Постоянный коэффициент можно определить по формулам:

$$k_c = \frac{\sum h}{Q_n^2}; k_c = \frac{\left(\frac{\lambda_m l}{d} + \sum \xi\right) \rho}{\pi^2 g d^4}, \quad (2.3)$$

где $\sum h$ - суммарные местные и линейные потери, местные потери обычно не превышают 10% от линейных потерь напора на трение, м; Q_n - номинальная подача насоса, м³/с; λ_m - коэффициент трения, $\lambda_m = 0,025$; l и d - длина и диаметр трубопровода, м; ξ - коэффициент, характеризующий сопротивление трения в трубопроводе, для трубопроводов с круглой площадью поперечного сечения - $\xi = \frac{\lambda_m l}{d}$; ρ - плотность перекачиваемой жидкости.

В вентиляционных установках H_{cm} , как правило, равно нулю, поскольку при вентиляции помещений воздух забирается и выбрасывается наружу. В связи с этим в вентиляционных системах:

$$H_c = k_c Q^2. \quad (2.4)$$

При проектировании системы с центробежными механизмами выбор насосов и вентиляторов, а также магистралей и воздухопроводных сетей должен производиться таким образом, чтобы обеспечивался максимальный КПД всей установки (учитывается характеристика $\eta=f(Q)$).

Механические характеристики. Момент сопротивления определяется через мощность P_c и угловую скорость ω

$$M_c = \frac{P_c}{\omega} \quad (2.5)$$

Для построения механической характеристики центробежного механизма необходимо иметь семейство QH характеристик при различных угловых скоростях вращения ротора и характеристику магистрали или воздухораспределительной сети. По этим характеристикам для установившихся режимов работы при различных скоростях вращения определяется момент сопротивления по следующим уравнениям:

для насоса

$$M_{c.нас} = \frac{\gamma QH}{\eta_{нас} \omega} \quad (2.6)$$

где γ - удельный вес жидкости, Н/м³.

Также для вентилятора

$$M_{c.вент} = \frac{QH}{\eta_{вент} \omega} \quad (2.7)$$

Здесь H - напор, Па.

По рассчитанным значениям моментов сопротивления и угловых скоростей строится механическая характеристика. В частном случае, когда $H_{ст} = 0$, аналитическое представление механической характеристики может быть получено следующим образом. На основании законов пропорциональности можно записать:

$$Q = Q_n \frac{\omega}{\omega_n}, \quad H = H_n \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \quad (2.8)$$

Следовательно, для вентилятора

$$M_{c.вент} = \frac{QH}{\eta_{вент} \omega} = \frac{Q_n H_n}{\eta_{вент} \omega_n^3} \omega^2 = k_n \omega^2, \quad (2.9)$$

где k_n - коэффициент пропорциональности. Вид такой зависимости представлен на рисунке 2.2 кривой 1.

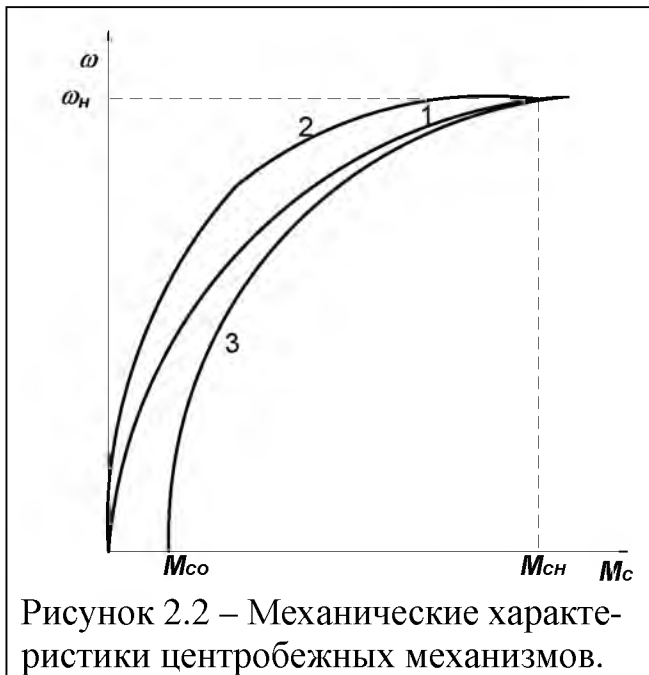


Рисунок 2.2 – Механические характеристики центробежных механизмов.

Для других случаев аналитическое описание механической характеристики центробежного механизма может быть получено приближенно при использовании аппроксимации выражением

$$M_c = k \omega^n, \quad (2.10)$$

где n – показатель степени, который больше 2-х и возрастает с увеличением H_{cm} (рис.2.2, кривая 2).

При необходимости определения показателя степени n нужно взять две точки на QH характеристиках, соответствующих двум режимам работы (с номинальной и минимальной угловыми скоростями) и составить уравнения для момента сопротивления и совместно их решить относительно n .

соответствующих двум режимам работы (с номинальной и минимальной угловыми скоростями) и составить уравнения для момента сопротивления и совместно их решить относительно n .

$$M_{c.n} = \frac{\gamma Q_n H_n}{\eta_n \omega_n} = k \omega_n^n, \quad (2.11)$$

$$M_{c.min} = \frac{\gamma Q_{min} H_{min}}{\eta_{min} \omega_{min}} = k \omega_{min}^n, \quad (2.12)$$

После деления уравнений получим

$$\frac{M_{c.n}}{M_{c.min}} = \frac{Q_n H_n \eta_{min} \omega_{min}}{Q_{min} H_{min} \eta_n \omega_n} = \left(\frac{\omega_n}{\omega_{min}} \right)^n \quad (2.13)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$n = \frac{\lg \frac{Q_n H_n \eta_{min}}{Q_{min} H_{min} \eta_n}}{\lg \frac{\omega_n}{\omega_{min}}} - 1 \quad (2.14)$$

В некоторых центробежных механизмах имеется повышенное значение пускового момента, связанное преодолением сил трения в промежуточной передаче или в подшипниках ротора. В этом случае уравнение механической характеристики с учетом начального момента сопротивления M_{co} имеет вид

$$M_c = M_{c0} + k\omega^n \quad (2.15)$$

Вид механической характеристики в общем виде представлен кривой 3 на рисунке 2.2.

Инерционные и нагрузочные характеристики. Моменты инерции центробежных установок колеблются в больших пределах. Для большинства электронасосов момент инерции насоса соизмерим с моментом инерции ротора электродвигателя. Вентиляторы по сравнению с насосами обладают большими моментами инерции, которые могут превосходить моменты инерции роторов электродвигателей в несколько раз и это приводит к затяжному пуску электропривода. Существенного влияния моменты инерции механизмов на работу электропривода не оказывают. Необходимость учитывать эту характеристику возникает, когда установка начинает работать с частыми пусками или изменением угловой скорости и тогда потери в переходных процессах оказывают влияние на нагрев электрической машины.

Нагрузочные характеристики центробежных машин определяются по технологическим режимам. В нерегулируемых механизмах нагрузка на валу электродвигателя остается постоянной в течении всего периода работы. Режим работы в этом случае - продолжительный. В регулируемых центробежных установках нагрузочные характеристики являются функцией подачи и способа ее регулирования. При этом электропривод может работать в повторно-кратковременном режиме или в продолжительном с изменением угловой скорости.

Кинематические схемы. Передача энергии от электродвигателя рабочему органу происходит с минимальным количеством промежуточных передач, а в большинстве случаев даже с отсутствием таких ступеней – непосредственным соединением электрической машины с механизмом. Могут также применяться ременные передачи, особенно при больших мощностях насосов и вентиляторов. Ограничения допустимой частоты вращения концов лопаток рабочего колеса вентиляторов вынуждает с увеличением диаметра колеса снижать его номинальную частоту вращения. Для таких вентиляторов применяют как тихоходный безредукторный привод, так и соединение вала двигателя с рабочим колесом через редуктор. Таким образом кинематика этих механизмов проста и мало влияет на выбор мощности приводного электродвигателя.

Энергетические характеристики. Зависимость момента сопротивления на валу приводного электродвигателя от частоты вращения, как отмечалось выше, носит квадратичный характер, а подводимая к вентилятору или насосу мощность пропорциональна кубу скорости. Следовательно, мощность, потребляемая такого типа установкой, значительно изменяется при колебании угловой скорости. Например, при увеличении скорости на 10% мощность возрастает на 32%. Эту особенность необходимо учитывать при изменении угловой скорости, что может быть связано с колебаниями расхода. Коэффициент полезного действия таких механизмов сильно зависит от режима рабо-

ты и особенно от производительности агрегата (рис.2.1). Поэтому энергетические характеристики зависят от способа регулирования производительности, что будет рассмотрено ниже.

Определение мощности центробежных механизмов. В насосных установках напор измеряется чаще всего в метрах столба подаваемой жидкости и представляет собой удельную энергию, сообщаемую единице жидкости. В связи с этим мощность насоса на валу определяется выражением

$$P_c = \frac{QH}{\eta_{\text{общ}}}, \quad (2.16)$$

где $\eta_{\text{общ}}$ - общий КПД всех ступеней передач и механизма,

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_i$$

В вентиляционных установках напор измеряется в единицах давления и представляет энергию, сообщаемую единице объема перемещаемого газа.

Таким образом, необходимая мощность на валу составит

$$P_c = \frac{QH}{\eta_{\text{общ}}}, \quad (2.17)$$

В случае, когда происходит регулирование подачи, строятся зависимости $Q = f(t)$, $H = f(t)$ и соответствующие нагрузочные диаграммы. После обработки нагрузочных диаграмм, например, методом эквивалентных величин, определяется необходимая мощность электропривода. Однако, электронасосные и электровентиляционные установки чаще идут в комплекте - электрическая машина и механизм, а иногда представляют одно целое и не подлежащее замене по отдельным частям, что не дает возможность установить электродвигатель меньшей или большей мощности. В большинстве случаев электрическая машина остается недогруженной в тепловом отношении, но может и перегружена, это будет зависеть от способа регулирования подачи. Поэтому после выбора электроустановки при регулировании подачи изменением частоты вращения электродвигателя лучше произвести проверку по потерям в электрической машине (особенно при регулировании изменением напряжения).

Способы регулирования подачи насосных и вентиляционных установок. Для изменения подачи данных механизмов применяется дискретное и плавное регулирование. При дискретном регулировании изменяется количество механизмов, работающих параллельно на одну магистраль, может меняться время работы и отключения центробежной установки, а также ступенчато изменяться частота вращения ротора. Эффективность дискретного регулирования путем количественного изменения работающих механизмов зависит от крутизны QH характеристик магистралей. На рисунке 2.3. приведены QH характеристики двух насосов и различных магистралей. Характеристика

1 соответствует отдельно работающему механизму, а характеристика 2 – двум машинам и получена путем удвоения характеристики 1.

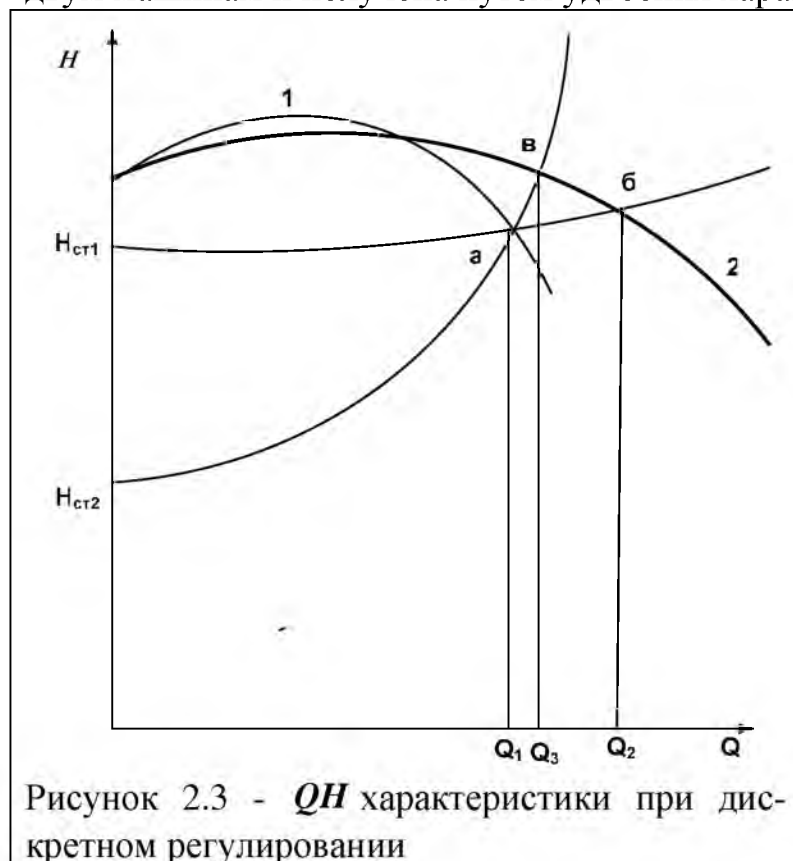


Рисунок 2.3 - QH характеристики при дискретном регулировании

На рисунке 2.3 изображены также две характеристики магистрали с разными статическими напорами и обладающие разной крутизной. При работе одного механизма будет обеспечена подача Q_1 (точка а). Подключение второй машины приведет к увеличению подачи. Существенное изменение подачи будет происходить только при малой крутизне характеристики магистрали (точка б). При дискретном регулировании путем включения и отключения установки подача будет иметь значения либо Q_1 ,

либо равняться нулю. При регулировании путем ступенчатого изменения угловой скорости будут изменяться QH характеристики механизма при сохранении КПД установки, и их анализ будет рассмотрен позже как частный случай плавного регулирования. Следует отметить, что последний способ наиболее эффективен с энергетической точки зрения.

Плавную регулировку можно производить с помощью дроссельных задвижек. Введение задвижек приводит к увеличению гидродинамического сопротивления магистрали (рис. 2.4). При наличии дроссельной задвижки (Δh) насос переходит от характеристики 1 к характеристики 2. Появляется перепад напора (на магистрали и задвижке) и на задвижке начинается теряться мощность:

$$\Delta P_3 = cQ_1 \cdot \Delta H = cQ_1 (H_2 - H_3), \quad (2.18)$$

где c - коэффициент пропорциональности.

Приняв, что характеристики 1 и 2 имеют параболический вид можно записать следующее выражение:

$$H_3 = H_1 \left(\frac{Q_1}{Q_n} \right)^2 = H_n \left(\frac{Q_1}{Q_n} \right)^2. \quad (2.19)$$

Выражение для потерь можно представить в следующем виде:

$$\Delta P_3 = cQ_1 \cdot H_n \left[\frac{H_2}{H_n} - \left(\frac{Q_1}{Q_n} \right)^2 \right] = cQ_1 (H_2 - H_3), \quad (2.20)$$

Введем обозначение $Q_1/Q_n = q$ и после соответствующей подстановки получим:

$$\Delta P_3 = P_n \cdot q^3 (1 - q^2), \quad (2.21)$$

Для определения максимума в последнем выражении возьмем первую его производную и приравняем ее к нулю:

$$\Delta P_3 \frac{d(\Delta P_3)}{dq} = P_n (1 - 3q^2) = 0 \quad (2.22)$$

$$q_{\text{экстр}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,576; \quad \Delta P_{3 \text{ макс}} = \frac{2}{3\sqrt{3}} P_n = 0,385 P_n \quad (2.23)$$

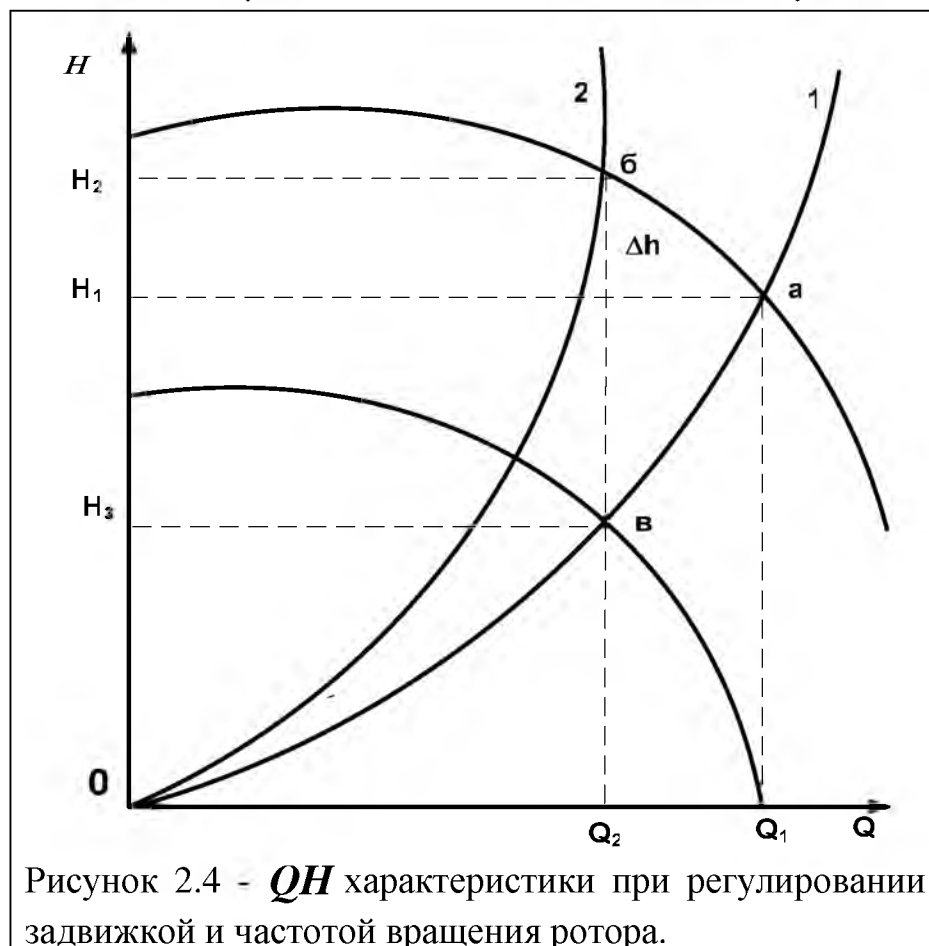


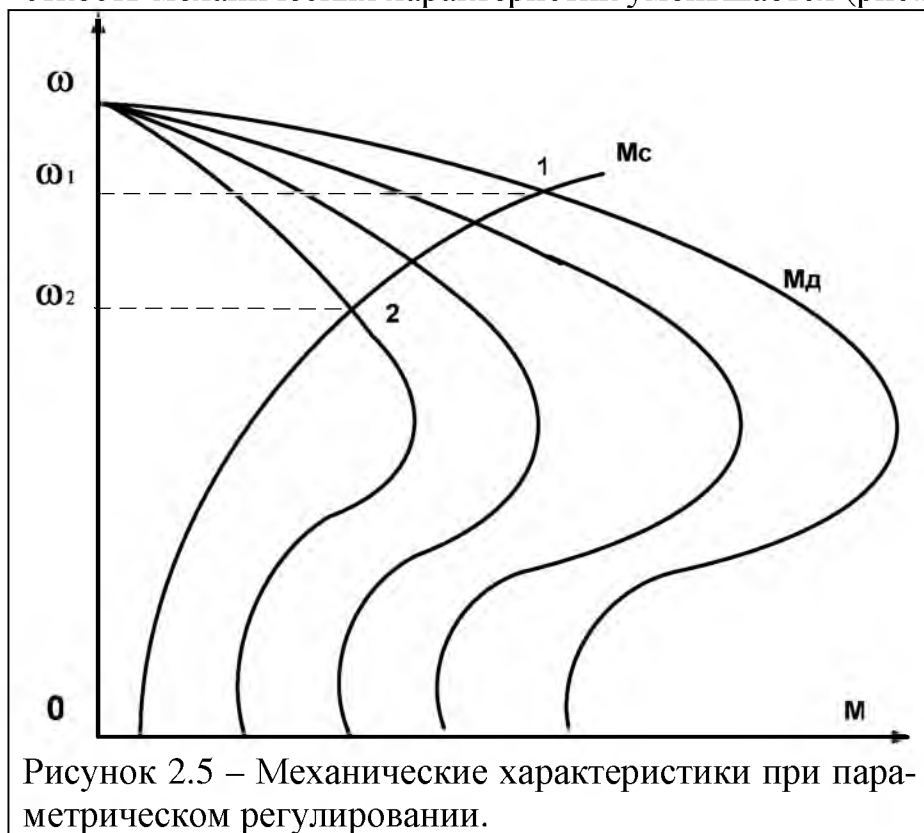
Рисунок 2.4 - QH характеристики при регулировании задвижкой и частотой вращения ротора.

Таким образом, можно констатировать, что при уменьшении производительности до 0,576 от номинальной будут наблюдаться максимальные потери на задвижке значение которых составит 0,385 от номинальной затрачиваемой мощности.

Наиболее часто на сегодня применяется параметрическое регулирование скорости электроприводов вентиляторов.

Данное регулирование связано с изменением жесткости рабочих участков механических характеристик двигателей, путем воздействия на параметры электрической сети. При параметрическом регулировании скорость идеального холостого хода остается постоянной, и процесс сопровождается повышенным выделением потерь энергии в электродвигателе. Мощность потерь пропорциональна скольжению $\Delta P \equiv M \cdot s$. Основной способ реализации

параметрического регулирования – изменение подводимого к электродвигателю напряжения. В этом случае изменяется величина критического момента пропорционально квадрату фазного напряжения $M_{кр} \equiv U_{\phi}^2$. При этом жесткость механических характеристик уменьшается (рис.2.5).



Как видно из рисунка, одним из недостатков способа регулирования является малый диапазон изменения скорости. Этот недостаток частично компенсируется серийным выпуском специальной серии электродвигателей с повышенным скольжением. Кроме того, как приводится в работах Кобозева В.А., для уменьшения потерь в электродвигателях необходимо, чтобы машины имели более высокое значение номинального скольжения, что имеется в специальной серии.

Механическая мощность, требуемая для привода вентилятора на произвольной частоте вращения, определится по формуле:

$$P_{мех.i} = P_{мех.ном} \left(\frac{\omega_i}{\omega_{ном}} \right)^3, \quad (2.24)$$

где $P_{мех.ном}$, $\omega_{ном}$ - номинальные, соответственно механическая мощность и угловая скорость.

Учитывая, что электромагнитная мощность определяется в соответствии с уравнением:

$$P_{эм} = \frac{P_{мех.ном}}{(1-s)} = P_{мех.ном} \frac{\omega_0}{\omega}, \quad (2.25)$$

Подставим (2.24) в (2.25) получим:

$$P_{эм} = P_{мех.ном} \frac{\omega_0}{\omega} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3 = P_{мех.ном} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2. \quad (2.26)$$

При допущении, что не будем учитывать потери в стали и механические потери выражение для потерь в роторной цепи можно представить в следующем виде:

$$\Delta P = P_{эм} - P_{мех.ном} = P_{мех.ном} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 - P_{мех.ном} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3. \quad (2.27)$$

Для определения максимальных потерь возьмем первую производную выражения (2.27) и приравняем ее к нулю:

$$\begin{aligned} \Delta P \frac{d\Delta P}{d\omega} &= P_{мех.ном} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}^3} \cdot 2\omega - P_{мех.ном} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3 = 0; \\ \frac{P_{мех.ном} (2\omega_0 - 3\omega)}{\omega_{ном}^3} &= 0; \quad \omega_{экстр} = \frac{2}{3} \omega_0 \end{aligned} \quad (2.28)$$

Теперь можно определить максимальные потери в роторе:

$$\Delta P_{макс} = P_{мех.ном} \frac{1}{\omega_{ном}^3} \frac{4}{9} \omega_0^2 - P_{мех.ном} \frac{8}{27} \left(\frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \right)^3 = \frac{4}{27} P_{мех.ном} \left(\frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \right)^3. \quad (2.29)$$

Следовательно, можно сделать вывод, что максимум потерь энергии в роторной цепи составляет 15-17% от номинальной мощности на валу и при скорости, равной 67% от синхронной.

Сопоставив выражения (2.27) и (2.29) можно сделать вывод, что регулирование производительности задвижками приводит к более чем двукратному увеличению максимума потерь, по сравнению с регулировкой скорости путем изменения подводимого напряжения.

Из приведенных формул также видно, что все потери на скольжение связаны с номинальным значением скольжения. Для уменьшения этих потерь лучше использовать электродвигатели с жесткой характеристикой, что затруднительно, так как вентиляторы комплектуются машинами с повышенным скольжением.

Изменение напряжения на зажимах статора может реализовываться с помощью трансформаторов, имеющих отдельные выводы пониженного напряжения или тиристорных регуляторов. В случае использования трансформаторов с отдельными выводами к преимуществам такого способа регулирования следует отнести: относительную простоту осуществления (имеется специальная серия электродвигателей и несложно изготовить трансформатор), синусоидальная форма кривой напряжения, что положительно сказывается на работе, как электродвигателей, так и других приемников, подключен-

ных к общей сети; невысокая стоимость оборудования. К недостаткам будут относиться: ступенчатость регулировки, низкая надежность электрической схемы управления из-за наличия дополнительных контакторов переключения, повышенный уровень энергопотребления из-за дополнительных потерь в электрических машинах. Большинство тиристорных регуляторов формируют напряжения со значительным содержанием высших гармоник, что оказывает существенное влияние на характеристики асинхронных машин. Степень такого влияния можно оценить по характеристикам короткого замыкания двигателя на основании упрощенной схемы замещения:

$$I_k = \frac{U_k}{kx'_k}, \quad (2.30)$$

где U_k - действующее значение гармонической составляющей напряжения с номером гармоники, x'_k - приведенное индуктивное сопротивление короткого замыкания двигателя. Действующее значение полного тока двигателя с учетом нечетных гармоник выражается следующей известной зависимостью:

$$I = \sqrt{I_1^2 + \sum I_k^2}. \quad (2.31)$$

Таким образом, значения гармонических составляющих статора пропорциональны в основном индуктивному сопротивлению короткого замыкания двигателя. При имеющихся параметрах двигателя высшие гармоники токов полностью определяются гармониками, содержащимися в питающих напряжениях. Тиристорные регуляторы сильно искажают форму напряжения при больших углах открывания тиристоров, что приводит к увеличению потерь в двигателе. В работах Кобозева В.А. приведено, например, что питание электродвигателя от шеститактных инверторов приводит к увеличению потерь на 20% и снижению к.п.д. при номинальной нагрузке на 3-4%. При больших углах открытия тиристоров искажение формы кривой напряжения намного превосходит искажения при питании от инвертора, что приведет к большему снижению энергетических характеристик машины. Наличие временных гармоник м.д.с. в воздушном зазоре электрической машины приводит также к возникновению дополнительных постоянных и переменных составляющих моментов, от вращений магнитных полей разных частот и направлений. Эти моменты могут приводить к неравномерности вращения ротора особенно на низких частотах. На практике отмечалось, что при работе вентиляторов от тиристорных регуляторов в зимнее время наблюдается остановка электродвигателей (большие углы регулирования тиристоров), что часто приводило к последующему выходу из строя электрических машин. Отмечено также, что при работе тиристорных регуляторов в общей электрической сети наблюдаются искажения и это сказывается на работе других электроприемников – люминесцентных лампах, повышенный нагрев электродвигателей рабочих машин. Наблюдается и одно преимущество тиристорных ре-

гуляторов по сравнению с трансформаторным способом изменения напряжения – увеличилась глубина снижения угловой скорости.

Имеют распространение и многоскоростные однообмоточные двигатели с переключением секций обмотки на разное число полюсов. Большой вклад в развитие теории разработки статорных обмоток многоскоростных электродвигателей сделал профессор Ванурин В.Н. Его учениками на основании разработанных методов формирования м.д.с., проведены оптимизации схем обмоток к конкретным рабочим машинам. Все разработки направлены на получение максимальных энергетических характеристик на всех скоростях электрической машины. Предложено несколько схемных решений для электродвигателей вентиляторов, в том числе с подключением конденсаторных батарей. Конечно, основным преимуществом данного способа регулирования является функционирование в энергосберегающем режиме, а также относительно надежная работа электрической машины при хорошем качестве напряжения. Однако имеются и недостатки: сложные схемы управления, что снижается надежность функционирования всего электропривода; регулирование ступенчатое, а не плавное; необходима прокладка дополнительных проводов к каждому электродвигателю, что повышает общую стоимость установки; необходима перемотка статоров электродвигателей по конкретным схемам, что также приводит к дополнительным затратам.

Наиболее экономичным является регулирование синхронной частоты вращения за счет изменения частоты питающего напряжения. Вид механических характеристик при частотном способе регулирования и выполнения закона регулирования, обеспечивающим постоянную перегрузочную способность, представлен на рисунке 2.6.

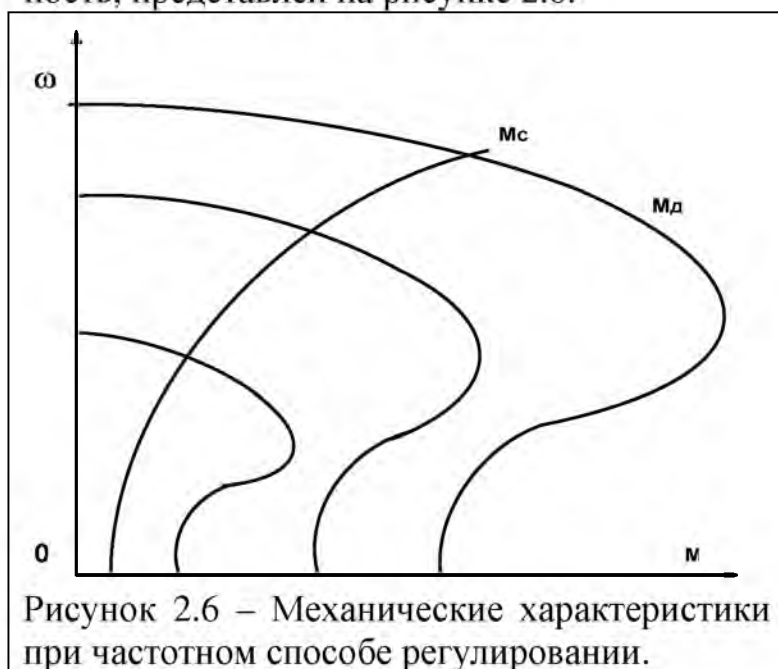


Рисунок 2.6 – Механические характеристики при частотном способе регулирования.

В качестве устройств изменения частоты тока используют преобразователи частоты с широтно-импульсной модуляцией. Однако это приводит к искажению формы кривой тока, что частично компенсируется установкой дополнительных фильтров. Анализ приведенных выражений позволяет констатировать следующие преимущества применения преобразователей частоты: высокая энергетическая эффективность

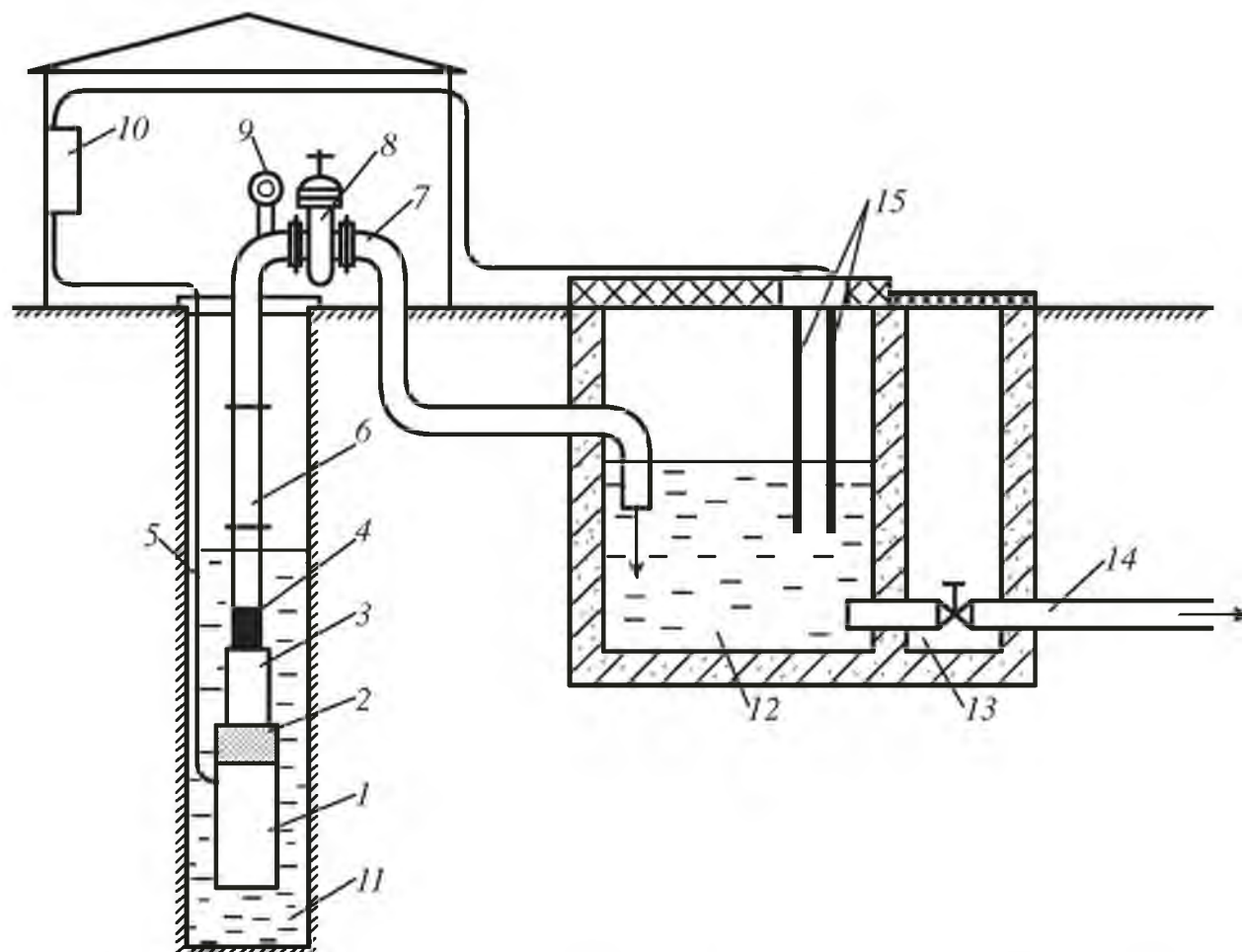
регулирования, повышенная глубина снижения частоты вращения, плавность регулирования, высокая надежность схем управления. К недостаткам этого способа отнесем следующие: искаженная форма кривой тока в электродвигателях с сопровождением импульсов повышенного напряжения, что приводит

к пробоям изоляции; высокая стоимость преобразователей частоты; установка одного преобразователя на все электродвигатели не может гарантировать качественную регулировку каждой машины из-за индивидуальных особенностей электродвигателей и из-за разной их нагрузки.

2.2 Особенности приводных характеристик насосных установок

Технологические системы водоснабжения включают следующие составляющие: водозаборные сооружения, водоподъемники, очистные системы, водонапорную емкость (гидроаккумулятор), водоводы. Применяют системы водоснабжения башенного типа и с промежуточной гидроаккумулирующей емкостью.

При использовании технологии башенного типа общая схема имеет вид, представленный на рисунке 2.7.



1 – электродвигатель; 2 – сетка-фильтр; 3 – насос; 4 – нагнетательный патрубок; 5 – кабель; 6 – нагнетательная труба; 7 – водоразборный трубопровод; 8 – вентиль; 9 – манометр; 10 – щит управления; 11 – артезианская скважина; 12 – водонапорный резервуар (башня); 13 – выходной патрубок; 14 – водопроводная магистраль; 15 – датчики уровня воды

Рисунок 2.7 - Схема водоснабжающей установки башенного типа

В качестве водоподъемной установки применяют электронасосные агрегаты погружного типа. Внешний вид таких агрегатов представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 - Внешний вид погружных насосов

Обычно башня устанавливается на наиболее высокой точке местности для устойчивого водоснабжения потребителей. К башне подводятся водопроводные сети и сигнальные провода подключения датчиков уровня (рис.2.9).

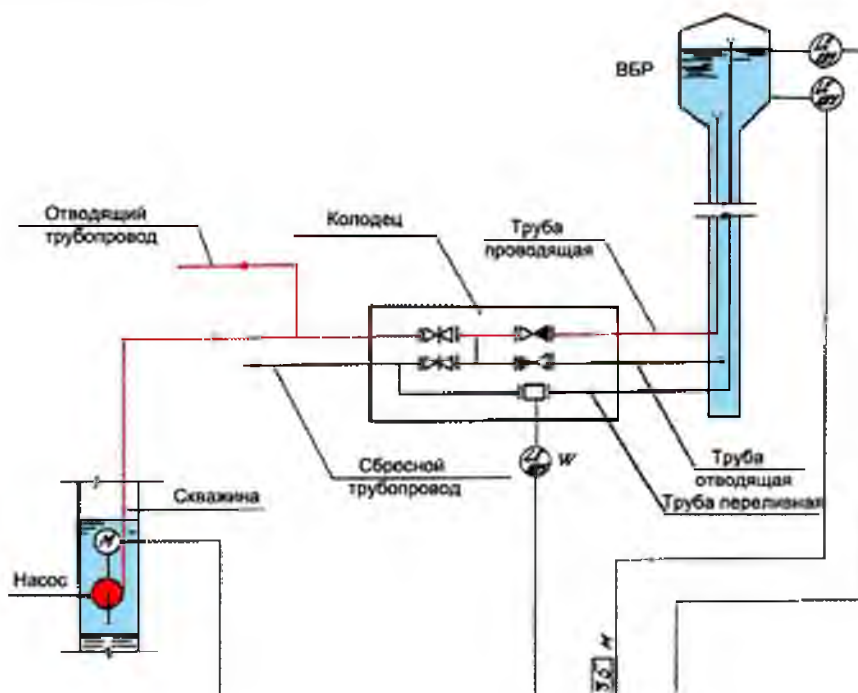


Рисунок 2.9 - Технологическая схема водоснабжения с использованием башни

В качестве башен обычно используют унифицированные водонапорные башни Рожновского (рис.2.10). Ёмкость баков 15,25,50, 160 м³. Башни Рожновского снабжены цилиндрическими опорами (высотой 10,12,15,18, 25 м), которые заполняют дополнительными запасами воды.



Рисунок 2.10 .- Внешний вид башни Рожновского

Водонапорные унифицированные башни используются в сельском и другом хозяйстве для водоснабжения, а также для подведения воды в небольших населенных пунктах и предприятиях. Также башни используются для регуляции неравномерного потребления воды, хранения противопожарного и резервного запасов воды. Прежде, чем выбрать башню определенного объема и высоты, производится технологический расчет при проектировании систем водопровода. Характеристики башен приведены в таблице 2.1.

Существует несколько методик расчета объема бака водонапорной башни.

1.Необходимый объем бака водонапорной башни V_b рассчитывают по формуле:

$$V_b = V_{ак} + V_n, \quad (2.32)$$

где $V_{ак}$ - объем аккумулирующего резервуара; V_n - объем емкости для хранения неприкосновенного противопожарного запаса воды.

Объем аккумулирующего резервуара можно принять равным регулирующему объему V_p и рассчитать по формуле:

$$V_p = \frac{Q_n}{4 \cdot Z_{\max}}, \quad (2.33)$$

где Q_n - производительность насоса, м³/час; Z_{\max} - максимальная частота включений в час, зависит от типа насоса, можно принимать 6.

Таблица 2.1 – Характеристики водонапорных башен

Маркировка	Объем бака, м ³	Высота опоры, м.	Диаметр бака, мм.	Диаметр опоры, мм.
Водонапорная башня Рожновского ВБР-15-10	15	10	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-15-12	15	12	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-15-15	15	15	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-15-18	15	18	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-25-12	25	12	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-25-15	25	15	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-25-18	25	18	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-50-15	50	15	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-50-18	50	18	3020	1220
Водонапорная башня Рожновского ВБР-160	160	25	3020	3020

2. Расчет водонапорной башни в % от суточного расхода воды. Имея суточный график водопотребления и зная производительность насоса составляется таблица 2.2.

В процессе расчета 1 - указываются часы суток; 2 - почасовой расход воды из резервуара; 3 - количество воды, подаваемой насосами; 4 - поступление воды в резервуар (разность цифр 3 и 2); 5 - расход воды из бака (разность цифр 2 и 3); 6 - количество воды в баке (добавление к имеющемуся количеству воды в баке поступления или расхода воды за данный час).

Принимается, что к моменту начала подачи воды в резервуар водонапорной башни (20 ч) воды в ней не было. Максимальное число в столбце 6 дает объем аккумулирующей емкости водонапорной башни.

Таблица 2.2 – К расчету водонапорной башни

Часы суток	Количество потребляемой воды	Количество воды, подаваемой насосом	Поступление воды в бак	Расход воды из бака	Остаток воды в баке
0-1	1.5	4.17	2.67	0.33	8.81
1-2	1.5	4.17	2.67	1.33	11.48
2-3	1.5	4.17	2.67	2,08	14,15
3-4	1.5	4.17	2.67	2,08	16,82
4-5	2.5	4.17	1.67	2,08	18,49
5-6	3.5	4.17	0.67	2,08	19,16
6-7	4.5	4.17	0,16	0,83	18,83
7-8	5.5	4.17	1,16	0,83	17,50
8-9	0,25	4.17	2,16	1,33	15,42
9-10	6,25	4.17	2,66	1,83	13,34
10-11	6,25	4.17		1,84	11,26
11-12	6,25	4.17		1,34	9,18
12-13	5,0	4.17		0,84	8,35
13-14	5,0	4.17		0,34	7,52
14-15	5,5	4.17			6,19
15-16	6,0	4.17			4,36
16-17	6,0	4.16			2,52
17-18	5,5	4.16			1,18
18-19	5,0	4.16			0,34
19-20	4,5	4.16			0
20-21	4,0	4.16			0,16
21-22	3,0	4.16			1,32
22-23	2,0	4.16			3,48
23-24	1,5	4.16			6,14

Также можно определить объем бака по **интегральному графику водопотребления**. Интегральный график для расчета накопительной емкости водонапорной башни $W_{ак}$ строят следующим способом: на оси абсцисс откладывают часы суток, начиная от 0 до 24 часов; на оси ординат - расход воды и

количество подаваемой воды насосами. На графике сплошной чертой обозначают расход воды из водонапорной башни по часам суток, который постепенно наращивается от 0 до 100%. Пунктирной линией обозначают подачу воды насосами, также постепенно наращиваемая. Предполагается, что насосы равномерно работают 24 ч в сутки. В часы, когда пунктирная линия располагается выше сплошной - вода накапливается в водонапорной башне. В часы, когда сплошная линия выше пунктирной - происходит расход воды из бака. Определяются максимальные ординаты разности между обеими графиками, и сумма значений этих двух ординат дает нужную величину бака водонапорной башни.

Кроме объема башни необходимо также определить ее высоту (рис.2.11).

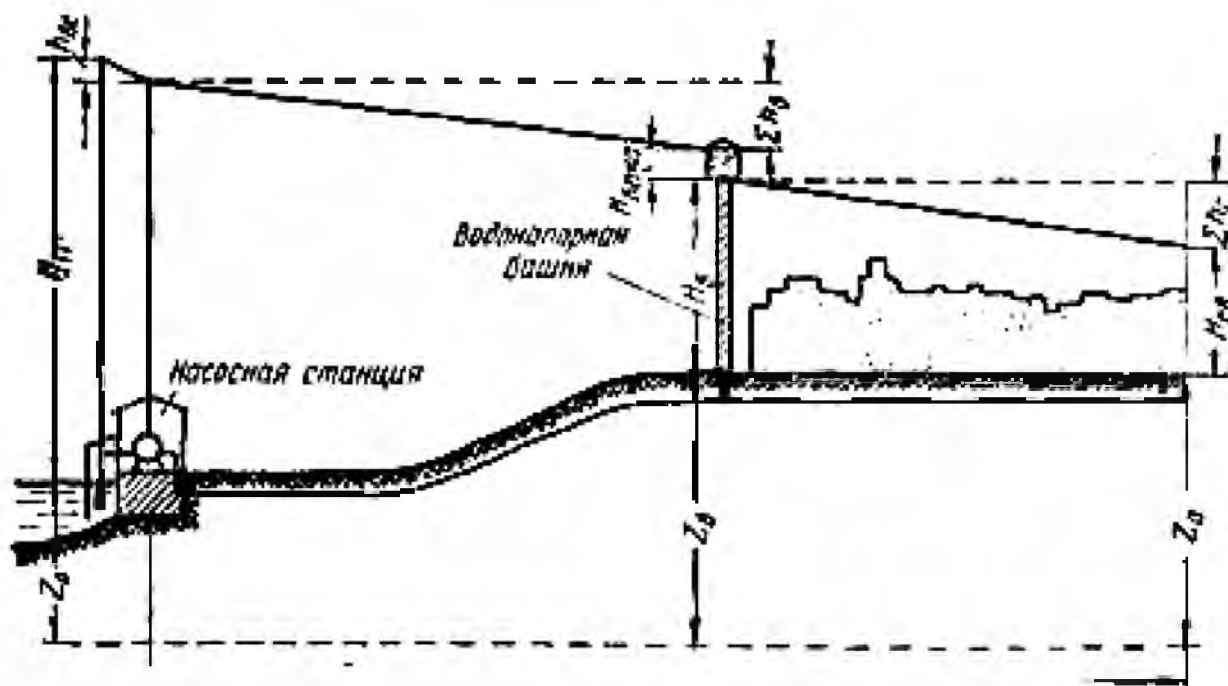


Рисунок 2.11 –Технологическая схема для расчета высоты водонапорной башни

Высоту водонапорной башни H_b определяют так, чтобы при питании из башни был обеспечен необходимый свободный напор в наиболее удаленной (диктующей) точке при минимальном уровне воды в баке водонапорной башни:

$$H_b = H_r + H_{св} + \sum H_d, \quad (2.34)$$

где H_r - геодезические отметки поверхности земли, в процессе проектирования эти отметки определяют по горизонталям, нанесенным на генплане объекта; отметка земли у наиболее высоко расположенного потребителя;

$\sum H_d$ - сумма гидродинамических потерь (линейных и местных); $H_{св}$ - требуемый свободный напор - это минимальный допускаемый свободный

напор над поверхностью земли в диктующей точке, определяемый по СниПу. Диктующей точкой называют точку, опираясь на которую, рассчитывают наибольшую необходимую высоту водонапорной башни, а в безбашенной системе - высоту подъема воды насосами.

Сумму гидродинамических потерь определяют с учетом местных сопротивлений и линейных – по длине водовода. Приблизительно можно принимать местные сопротивления составляют 10% от линейных потерь. Линейные потери можно определить по формуле:

$$H_n = \frac{\lambda_m v^2 l}{2gd}, \quad (2.35)$$

где λ_m - коэффициент трения, зависящий от материала водовода и скорости движения воды, при скорости движения воды 1 м/с для труб из чугуна $\lambda_m = 0,02$, из бетона - $\lambda_m = 0,022$, из асбоцемента $\lambda_m = 0,024$; l – длина участка; d – диаметр трубопровода, v - скорость движения жидкости. Значения коэффициента трения для труб из асбоцемента можно взять из таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Зависимость коэффициента трения от скорости движения жидкости

v , м/с	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0
λ_m	0,044	0,036	0,032	0,026	0,024	0,021

Для определения полной высоты подъема воды насосами H_n пользуются формулой:

$$H_n = H_{\Gamma} + \sum H_{\text{дин}}, \quad (2.36)$$

где H_{Γ} - геодезическая высота подъема воды, измеряемой от статического уровня воды в скважине до уровня воды в резервуаре; $\sum H_{\text{дин}}$ - сумма гидродинамических потерь от насоса до ввода водонапорную емкость.

Максимальный напор насоса определяется с учетом снижения воды в скважине:

$$H_{n, \text{макс}} = H_{\Gamma} + S_{\text{макс}} + \sum H_{\text{дин}}. \quad (2.37)$$

Максимальное снижение уровня воды в скважине $S_{\text{макс}}$ можно определить по формуле:

$$S_{\text{макс}} = H_{\text{дин}} - H_{\text{стат}}, \quad (2.38)$$

где $H_{\text{дин}}$, $H_{\text{стат}}$ - соответственно динамический и статический уровни воды в скважине.

Подачу насоса определяют из следующего условия:

$$Q_{\text{н}} \geq Q_{\text{макс.ч}} = \frac{k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{сут}} \cdot Q_{\text{ср.ч}}}{\eta_{\text{вод}}}, \quad (2.39)$$

где $Q_{\text{макс.ч}}$ - максимальный расход воды; $k_{\text{ч}}$ - коэффициент неравномерности часового расхода, для поселка 1,5 - 2, для фермы с автопоилками 2,5; $k_{\text{сут}}$ коэффициент суточной неравномерности, 1,1 - 1,3; $Q_{\text{ср.ч}}$ - среднечасовой расход воды, определяется через среднесуточный расход $Q_{\text{ср.сут}}$,

$$Q_{\text{ср.ч}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24}, \quad \eta_{\text{вод}} - \text{кпд водовода, учитывающий потери воды, } 0,9.$$

Среднесуточный расход воды определяется следующим образом:

$$Q_{\text{ср.сут}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot z_i, \quad (2.40)$$

где q_i - средняя суточная норма потребления i -м составляющим; z_i - количество i -х потребителей.

При расчете учитывают также пожарный расход - 2,5 - 10 л/с. Длительность пожара принимается в интервале 2 - 3 часа.

С учетом пожарного расхода можно определить диаметр водовода:

$$d_{\text{в}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{макс}}}{\pi \cdot v}}, \quad (2.41)$$

где v - скорость воды в трубопроводе, задаются пределах 0,5 - 1,25 м/с.

Установки с промежуточной гидроаккумулирующей емкостью используют, большей частью, при снабжении водой с открытых водоемов (рис.2.12).

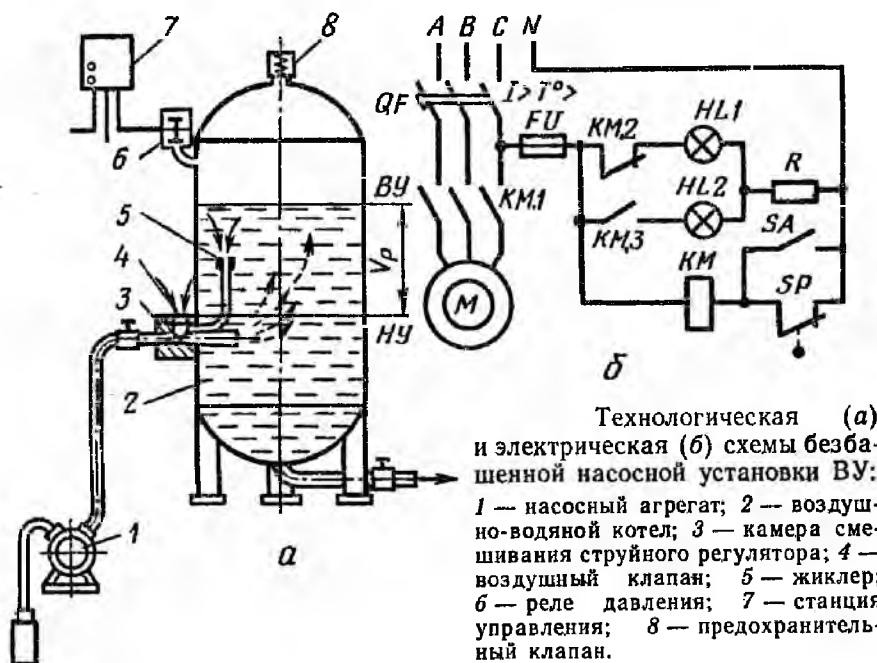


Рисунок 2.12- Схемы установок с аккумулярующей емкостью

Внешний вид насосов для открытых водоемов представлен на рисунке 2.13.



Рисунок 2.13– Внешний вид насосов

Также используются гидроаккумуляторы и для насосов погружного типа (рис.2.14).

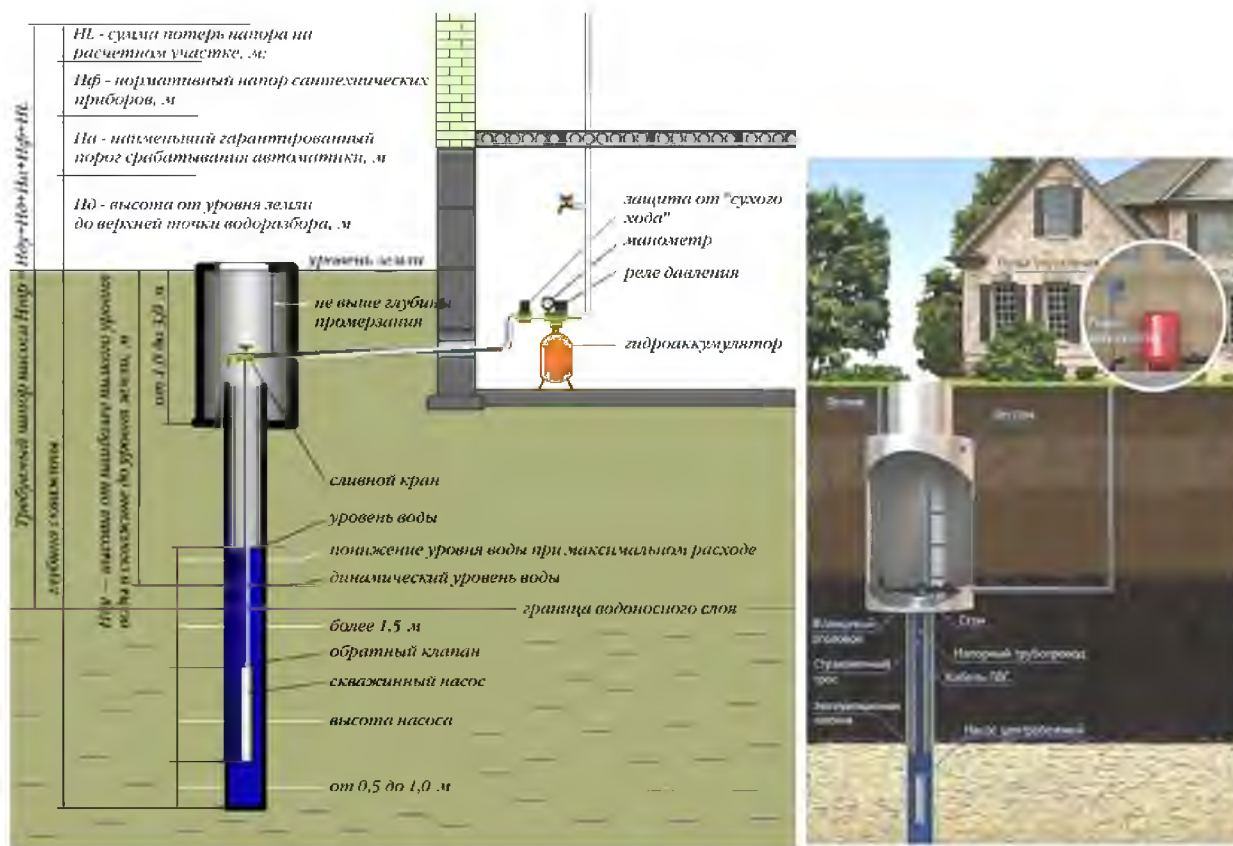


Рисунок 2.14 - Технологическая схема водоснабжающей установки с гидроаккумулятором и погружным насосом

Внешний вид гидроаккумуляторов представлен на рисунке 2.15.

Для определения объема могут использоваться два метода: с учетом типа насоса на основании его средней производительности или по методу «Единиц расхода», т.е. с учетом максимального расхода воды.

Метод на основании средней производительности насоса используется для расчета объема гидроаккумулятора (соответствующей максимальному расходу воды Q_{max}) и минимальных и максимальных значений динамического давления (с учетом разницы уровней, потерь и т.д.). Расчет объема гидроаккумулятора производится по формуле:

$$V_a = \frac{16,5 \cdot Q_{\max} \cdot P_{\max} \cdot P_{\min}}{Z_{\max} \cdot \Delta P \cdot P_{\text{prec}}} \quad (2.42)$$

где V_a - объем гидроаккумулятора в литрах; Q_{\max} – средняя производительность насоса, равная максимальному расходу воды, л/мин; Z_{\max} – максимально допустимое число запусков насоса в час (значение, рекомендуемое производителем насоса); P_{\max} – максимальное абсолютное давление, на которое настроено реле давления, равное относительному давлению + 1 Атм; P_{\min} – минимальное абсолютное давление, на которое настроено реле давления, равное относительному давлению + 1 Атм, которое не должно быть ниже, чем **(высота строения в метрах)/10 + 1 Атм**; ΔP – разность P_{\max} и P_{\min} ; P_{prec} – абсолютное давление газа в гидроаккумуляторе, которое никогда не должно превышать P_{\min} .



Рисунок 2.14 – Внешний вид гидроаккумуляторов

Для оптимальной работы гидроаккумулятора необходимо, чтобы $P_{\text{rec}} < P_{\min}$. Рекомендуется также, чтобы: $P_{\text{rec}} + 0.5 \text{ бар} = P_{\min}$.

Пример 1: определить объем гидроаккумулятора для системы с реле давления, отрегулированным на минимальное давление 2.5 бар и максимальное – 4.5 бар при требуемом расходе воды 115 л/мин.

$$Q_{\max} = 115 \text{ л/мин}$$

$$Z_{\max} = 12$$

$$P_{\max} = 4.5 \text{ бар} + 1 \text{ Атм} = 5.5 \text{ АТА}$$

$$P_{\min} = 2.5 + 1 \text{ Атм} = 3.5 \text{ АТА}$$

$$\Delta P = 5.5 - 3.5 = 2 \text{ АТА};$$

$$P_{\text{prec}} = 3.5 - 0.5 = 3 \text{ АТА. Объем бака составит:}$$

$$V_a = \frac{16,5 \cdot 115 \cdot 5,5 \cdot 3,5}{12 \cdot 2 \cdot 3} = 507,32 \text{ л}$$

Метод «Единиц расхода», используется для расчета объема гидроаккумулятора на основании максимального расхода воды и минимального и максимального значений динамического давления, на которое настроено реле. Каждой точке водоразбора соответствует определенное значение единицы расхода (таблицы расходов 2.4 и 2.5). Суммируются все значения и по таблице 2.6 или 2.7 определяются соответствующее значение максимального потока Q_{\max} . Объем емкости вычисляется по предыдущей формуле.

Пример 2: Рассчитать объем гидроаккумулятора в частном доме. Единицы расхода определяются по таблице 2.4.

В доме имеется следующее оборудование и соответствующие единицы расхода: 2 умывальника=(2); 1 биде=(1); 1 сливной бачок=(3); 1 кухонная мойка=(2); 1 ванна=(2); 1 стиральная машина=(2); 1 душ=(2). Таким образом, 14 единицам расхода по таблице соответствует производительность $Q_{\max}=0.68$ л/с (таблица 2.6).

Максимальное давление реле = 3.5 бара (4.5 АТА), минимальное давление реле = 2.0 бар (3.0 АТА), $P_{\text{prec}}=P_{\text{min}}-0.5=3.0-0.5=2.5$
Следовательно, $\Delta P=4.5-3=1.5$. Определяем объем бака:

$$V_a = \frac{16,5 \cdot 0,68 \cdot 60 \cdot 4,5 \cdot 3}{12 \cdot 1,5 \cdot 2,5} = 200 \text{ литров .}$$

Таблица 2.4 – Данные единиц расхода в частном доме

Точки расхода	Подача воды	Холодная вода	Горячая вода	Холодная +горячая
Умывальник	смеситель	0.75	0.75	1
Биде	смеситель	0.75	0.75	1
Ванна	смеситель	1.5	1.5	2
Душ	смеситель	1.5	1.5	2
Унитаз	сливной бачок	3	-	3
Унитаз	проточный слив	6	-	6
Мойка кухонная	смеситель	1.5	1.5	2
Стиральная машина	холодная вода	2	-	2
Посудомоечная машина	холодная вода	2	-	2
Пожарный кран 3/8"	холодная вода	1	-	1
Пожарный кран 1/2"	холодная вода	2	-	2
Пожарный кран 3/4"	холодная вода	3	-	3
Пожарный кран 1"	холодная вода	6	-	6

Таблица 2.5 – Данные единиц расхода в общественном здании

Точки расхода	Подача воды	Холодная вода	Горячая вода	Холодная + горячая
Умывальник	смеситель	1.5	1.5	2
Биде	смеситель	1.5	1.5	2
Ванна	смеситель	3	3	4
Душ	смеситель	3	3	4
Унитаз	сливной бачок	5	-	5
Унитаз	проточный слив	10	-	10
Писсуар	кран	0.75	0	0.75
Писсуар	проточный слив	10	-	10
Мойка кухонная	смеситель	3	3	3
Умывальник для ног	смеситель	1.5	1.5	2
Умывальник в мед-пункте	смеситель	1.5	1.5	2
Питьевой фонтан	кран питьевой воды	0.75	-	0.75
Пожарный кран 3/8"	холодная вода	2	-	2
Пожарный кран 1/2"	холодная вода	4	-	4
Пожарный кран 3/4"	холодная вода	6	-	6
Пожарный кран 1"	холодная вода	10	-	10

Таблица 2.6 – Данные максимального потока Q_{\max} для частного дома

Единицы расхода	Q_{\max} л/с	Единицы расхода	Q_{\max} л/с	Единицы расхода	Q_{\max} л/с
6	0.3	120	2.9	1250	11.3
8	0.4	140	3.2	1500	12.4
10	0.5	160	3.5	1750	13.6
12	0.6	180	3.75	2000	14.5
14	0.67	200	3.95	2250	15.4
16	0.75	225	4.25	2500	16.2
18	0.82	250	4.5	2750	17
20	0.89	275	4.8	3000	18
25	1.05	300	5.05	3500	19.5
30	1.18	400	6	4000	21
35	1.35	500	6.9	4500	22
40	1.45	600	7.55	5000	23.5
50	1.65	700	8.3	6000	25.5
60	1.9	800	8.8	7000	27.5
70	2.1	900	9.5	8000	29
80	2.25	1000	10	9000	30.5

Таблица 2.7 – Данные максимального потока Q_{max} для общественного здания

Единицы расхода	Q_{max} л/с	Единицы расхода	Q_{max} л/с	Единицы расхода	Q_{max} л/с
6	0.3	120	2.9	1250	11.3
8	0.4	140	3.2	1500	12.4
10	0.5	160	3.5	1750	13.6
12	0.6	180	3.75	2000	14.5
14	0.67	200	3.95	2250	15.4
16	0.75	225	4.25	2500	16.2
18	0.82	250	4.5	2750	17
20	0.89	275	4.8	3000	18
25	1.05	300	5.05	3500	19.5
30	1.18	400	6	4000	21
35	1.35	500	6.9	4500	22
40	1.45	600	7.55	5000	23.5
50	1.65	700	8.3	6000	25.5
60	1.9	800	8.8	7000	27.5
70	2.1	900	9.5	8000	29
80	2.25	1000	10	9000	30.5
90	2.45			10000	32
100	2.6				

Рассчитать также объем гидроаккумулятора, необходимого для правильной работы насоса при средних значениях давления в системе можно по следующей формуле:

$$V = A_{max} \times \sqrt{P_n} \times (P_{max} + 1) \times (P_{min} + 1) / \left(274,2 \times (P_{max} - P_{min}) \times (P_{prec} + 1) \right), \text{л.} \quad (2.43)$$

где: A_{max} – максимальный объем потребляемой воды [литров/час] - может быть рассчитан по количеству n точек водоразбора, где среднее значение потребляемой воды составляет 180 л/час на одну точку водоразбора; P_n – мощность насоса [кВт] – указана в паспорте на насос, а также на шильде насоса; P_{max} - максимальное давление, при котором насос отключается [бар] – устанавливается на реле давления. Обычно $P_{max} = 3,5 \text{ бар}$; P_{min} - минимальное давление, при котором происходит запуск насоса [бар] – устанавливается на реле давления. Обычно $P_{min} = 1,5 \text{ бар}$; P_{prec} - начальное давление газа в мембранном баке [бар] - устанавливается на заводе, либо при сервисном обслуживании. Обычно $P_{prec} = 1,3 \text{ бар}$.

Имеют отличие приводные характеристики **насосных установок осушения и орошения**. Как правило, данная технология обладает значительной энергоемкостью и мощности приводных электродвигателей достигают даже нескольких мегаватт. Проектирование насосной станции орошения начина-

ют с расчета необходимой общей производительности, которая зависит от оросительной и поливной норм. **Оросительная норма** – количество воды ($\text{м}^3/\text{га}$), вносимое в почву поливами за оросительный вегетационный период. Эту норму разбивают на несколько **поливных норм**. Норму подачи воды называют **гидромодулем** q и определяют по формуле:

$$q = \frac{\alpha \cdot N_{\text{п}} \cdot 1000}{t \cdot \tau \cdot 3600}, \quad (2.44)$$

где α - доля культуры в севообороте, $\alpha = \frac{F_i}{\sum F_i}$, F_i - площадь занятая одной культурой; $N_{\text{п}}$ - поливная норма, $\text{м}^3/\text{га}$; t - поливной период, сут.; τ - продолжительность полива в сутках, ч/сут.

По результатам расчетов строят график водоподачи $q(t)$. Общее количество воды, подаваемой на всю посевную площадь $Q_{\text{расч}}$, определяют по формуле:

$$Q_{\text{расч}} = \frac{q_{\text{макс}} \cdot F}{\eta_c}, \quad (2.45)$$

где F - орошаемая площадь севооборота, га; η_c - КПД оросительной системы, 0,74.

Особенностью работы данного типа насосных установок является наличие низкого значения статического напора и возможные большие его колебания в течении сезона полива. Статический напор определяется по формуле:

$$H_{\text{ст}} = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нб}}, \quad (2.46)$$

где $Z_{\text{вб}}$, $Z_{\text{нб}}$ - отметки соответственно на верхнем и нижнем бьефах.

Общий вид установки насосного агрегата можно представить в виде изображенном на рисунке 2.15. На насосных станциях обычно устанавливается несколько насосных агрегатов (рис.2.16), которые находятся в закрытом помещении.

Пуск элетронасосного агрегата с центробежным насосом производится при закрытой задвижке в напорном водоводе. Момент трогания насоса составляет 5-30%, а момент сопротивления при номинальной скорости и закрытой задвижке – 40-70% номинального момента. Момент холостого хода зависит от быстроходности насоса и его типа (таблица 2.8). Как видно из таблицы разворот лопастей позволяет резко уменьшить начальный момент сопротивления насоса.

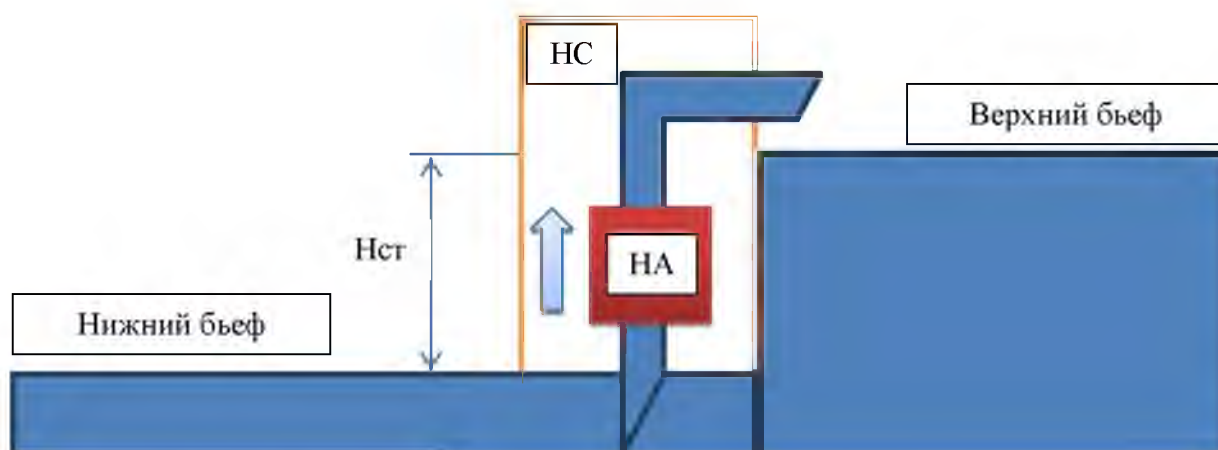


Рисунок 2.15 - Общий вид установки насосного агрегата.



Рисунок 2.16 – Внешний вид насосной станции

Таблица 2.8 - Значения момента холостого хода от быстроходности насосов

Тип насоса	Быстроходность насоса, об/мин	Момент х.х., в долях от номинального при закрытой задвижке
Центробежный	40...80	0,4
	80...150	0,5
	150...350	0,7
Диагональный	400...600	1,3
Осевой	600...1200	1,8
Осевой с поворотными лопастями	600...1200	0,2

Механическая характеристика центробежного насоса зависит от степени открытия задвижки и конструкции обратного клапана (рис.2.17). Момент сопротивления резко увеличивается после открытия обратного клапана.

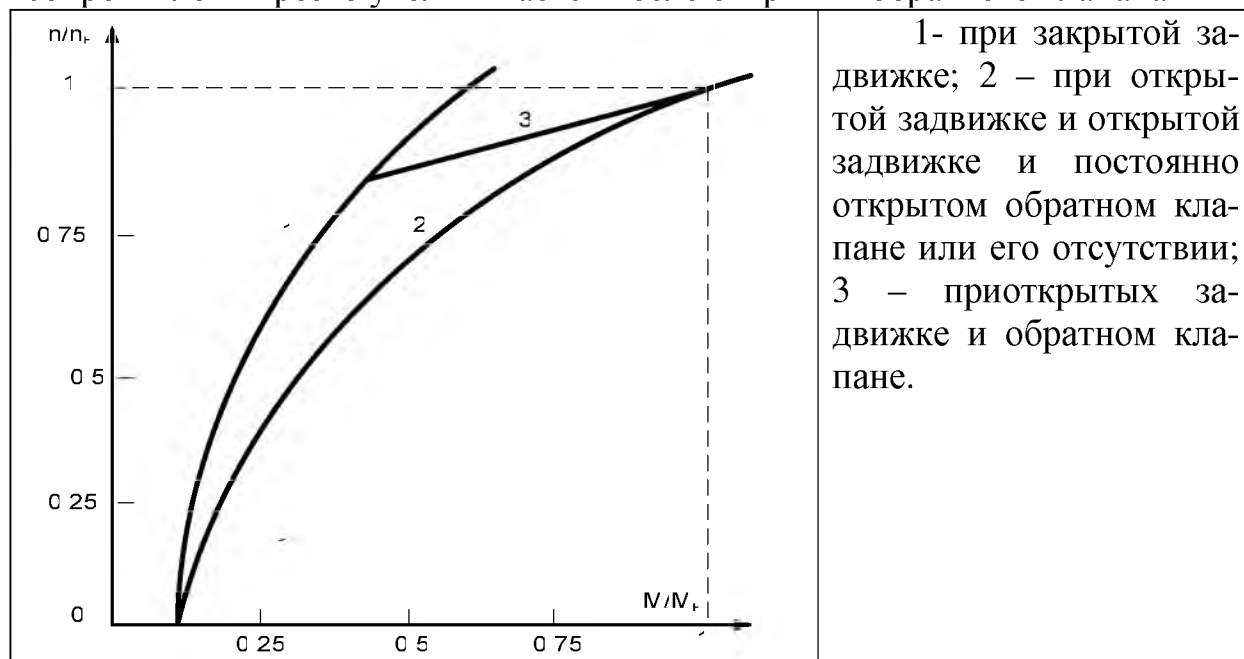
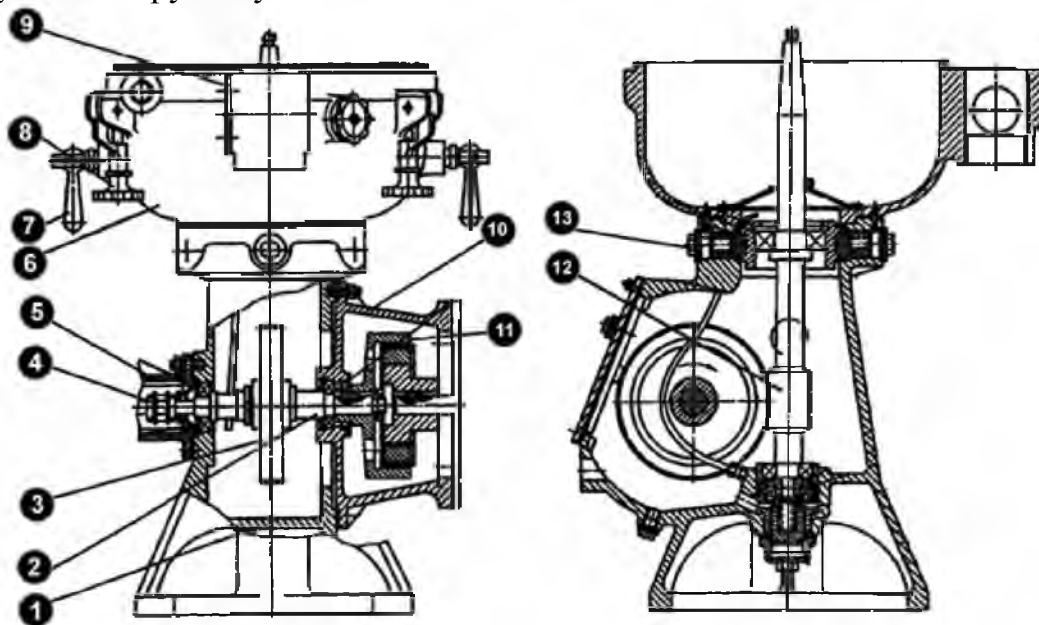


Рисунок 2.17 - Механические характеристики насоса при запуске.

2.3. Особенности приводных характеристик сепараторов, очистительных и специализированных центрифуг

Сепарирование – это механический процесс разделения жидкостных сред на отдельные составляющие по плотности, осуществляемый при помощи центробежных сил, которые возникают при высокоскоростном вращении барабана сепаратора. В молочной промышленности центрифуги применяются для операции получения сливок и нормализации молока. Центрифуги также применяются в технологическом процессе переработки навоза для разделения жидкой и твердой фракции навозной жижи. Данные механизмы находят применение при сушки и очистки технических масел. Так, например, используется установка передвижная сепараторная маслоочистительная ПСМ2-4, которая предназначена для сушки под вакуумом трансформаторных масел, а также отделения их от воды и очистки от механических примесей. Установка может быть использована для аналогичной очистки минеральных смазочных масел, имеющих вязкость при температуре 500°С. В состав установки входит непосредственно сепаратор. В чугунной станине сепаратора установлена винтовая пара, состоящая из вертикального вала 12 и винтового колеса 3, (рис. 2.18) и получающая вращение от электродвигателя через фрикционную муфту 11. Горизонтальный вал 2, связанный с валом электродвигателя через фрикционную муфту 11, вращается вместе с насаженным на него винтовым колесом по часовой стрелке, если смотреть со стороны сепаратора в сторону электронагревателя. Наклон зубьев колеса –

левый. Винт выполнен заодно с вертикальным валом, наклон витков - левый. Направление вращения вертикального вала и насаженного на него барабана по часовой стрелке, если смотреть сверху. Верхней опорой вертикального вала служит двухрядный шариковый радиально-сферический подшипник, центрирующейся в горловине сепаратора с помощью шести пружин буферов. Основные усилия от вертикального вала и барабана воспринимает нижняя опора, состоящая из радиально-сферического подшипника и упорного сферического подшипника. Оба подшипника заключены в общую втулку, опирающуюся на пружину подпятника.



1 – станина; 2 – вал горизонтальный; 3 – колесо винтовое; 4 – муфта привода насоса; 5 – кронштейн фланцевый насоса; 6 – чаша сепаратора; 7 – тормоз барабана; 8 – зажим сборника; 9 – указатель слива чистого продукта; 10 – кронштейн для двигателя; 11 – муфта фрикционная; 12 – вал вертикальный; 13 – винт буфера;

Рисунок 2.18 – Конструкция сепаратора маслоочистительной установки ПСМ2-4

В сельском хозяйстве сепараторы используются при переработке молока для получения сливок различной жирности. Первые попытки практического использования молочных сепараторов относятся к XIX веку. Изобретение доктором Густавом де Лавалем (Швеция, 1878 г.) непрерывнодействующего самобалансирующегося молочного сепаратора позволило использовать сепаратор в промышленных масштабах. В 1883 г. в Швеции была создана фирма (носящая ныне имя Г. Лавалья) для выпуска сепараторов центробежного типа. Резервуар, в котором происходило сепарирование (разделение), имел форму слегка приплюснутого шара и был назван барабаном. Это название сохранилось до сих пор, несмотря на то, что современный барабан имеет отличную форму. В 1888 г. появились первые барабаны, снабженные тарельчатыми вставками, изготовленными из стали марки «Альфа» по патенту немецкого инженера Бехтольсгейма. Название стали перешло впоследствии в название фирмы «Альфа-Лаваль», купившей патент Бехтольсгейма и являющимся в настоящее время старейшим в мире предприятием по производству сепара-

торов. Применяют также очистители молока. Очистители-охладители ОМ-1А предназначен для центробежной очистки молока от различных загрязняющих примесей, неизбежных в процессе доения и предварительного охлаждения очищенного молока естественным холодом воды, взятой из подземных источников (до $13\div 15^{\circ}\text{C}$), ОМА-1А устанавливается непосредственно в линию доильных установок имеющих молокопровод, после молочного насоса НМУ-6. Очиститель в систему доильной установки может устанавливаться только через накопительную буферную емкость, для того, что бы подача молока в очиститель была постоянной и непрерывной. Отличием между очистителем и сепаратором является меньшее расстояние между конусными тарелками. У очистителя они составляют $0,8\div 1,0$ мм, у сепараторов-сливкоотделителей – $0,4$ мм.

Процесс сепарации происходит следующим образом (рис. 2.19). Продукт (молоко) поступает в барабан при помощи подающей трубы из приемного устройства (7), где имеется поплавок (8), начинается процесс разгонки его до тех пор, пока скорость продукта не достигнет скорости барабана. Затем жидкость поступает в стояк и барабан с дисками (тарелками) (1), где и происходит процесс сепарирования продукта на жирный и нежирный. Жирное молоко (сливки) стекает по внутренней части дисков к центру барабана, нежирное молоко (обрат) течет в противоположную сторону и собирается у наружной части барабана. Сливки и обрат поднимаются соответственно по внутренней и наружной частям стояка с дисками пока не достигнут двух верхних камер барабана.

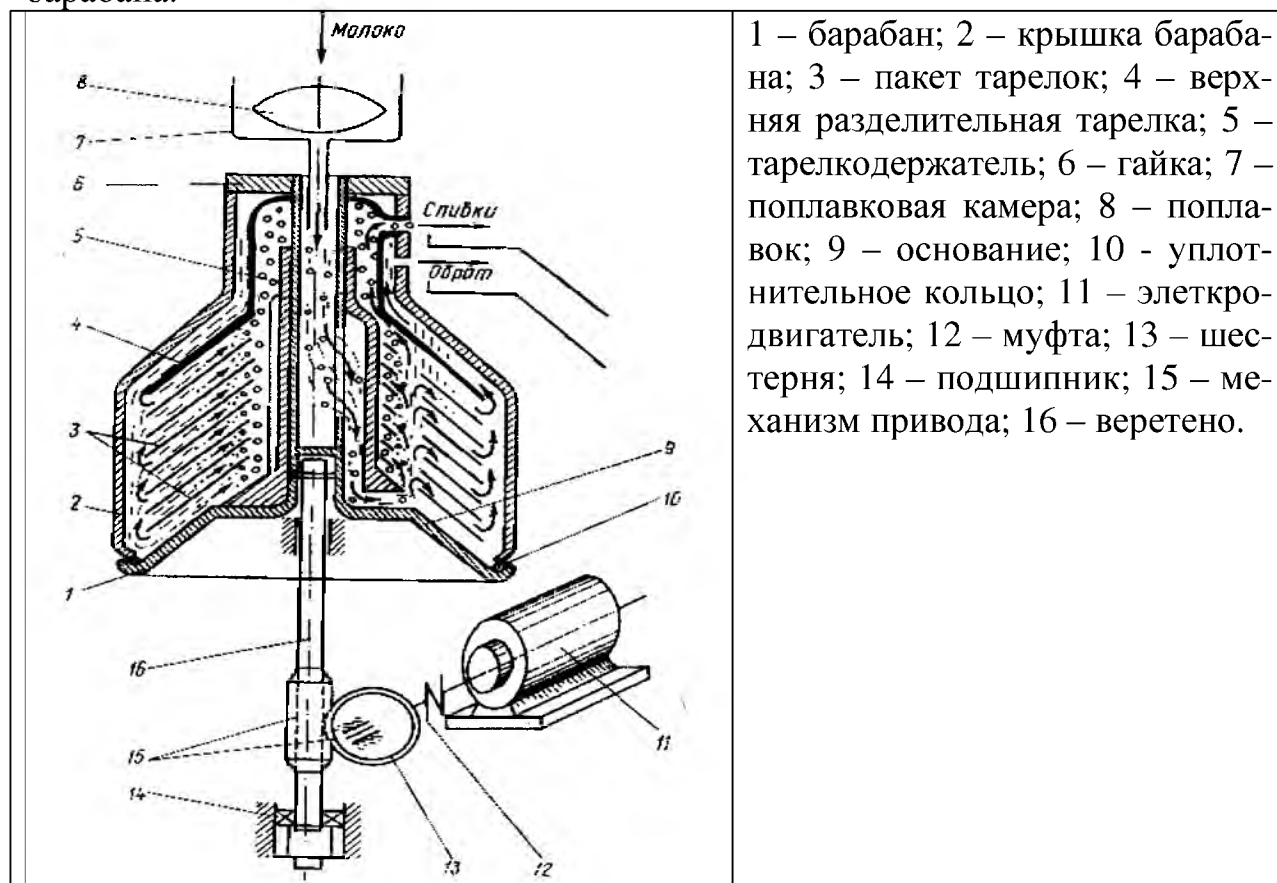


Рисунок 2.19– Технологическая схема сепарирования молока

На рисунке 2.20 представлены общие виды отечественных сепараторов



а - ОСРП-10 (10000 литров в час); б- САМУР-600; в - А1 ОЦМ 10; г - ОМ-1А; д - Ж5-ОС2-ТЗ; е - ОСП-3М

Рисунок 2.20 - Общий вид сепараторов молока

Используются много и сепараторов зарубежных изготовителей, например фирмы СЕИТАЛ (рис.2.21). В быту применяют сепараторы меньшей производительности (рис.2.22).

Технологические характеристики. Впервые теоретически обоснованное и практически подтверждено уравнение сепарирования получил отечественный исследователь Г. И. Бремер (1928 г.), а позднее подтвердили Соколов В. И. и Лукьянов Н. Я. На основании уравнения сепарирования получена формула (Бремера – Соколова – Лукьянова) по расчету производительности сепаратора:

$$Q = k \beta \omega^q z d^2 T (R_{\sigma} - R_{\mu}) \operatorname{tg} \alpha \quad (2.47)$$

где Q – производительность сепаратора; k – постоянный коэффициент; β – технологический КПД сепаратора; $\beta = Q_{\text{действ}} / Q_{\text{расч}} < 1$; обычно $\beta = 0,5 - 0,75$; ω – угловая частота вращения барабана; при этом показатель степени $q = 1,75$ –

2,00; z – число щелей в пакете тарелок; d – диаметр жирового шарика, м; T – температура сепарируемой жидкости; $R_{\text{б}}$, $R_{\text{м}}$ – больший и меньший расчетные радиусы тарелок; α – угол конусности тарелок.



Модели	Сепарации	Стандартизации	Мощность [kW]
	молока [литр/час]	[литр/час]	
SE 12A	1.200	2.000	4
SE 13	2.000	3.000	5,5
SE 15	3.500	5.000	7,5
SE20	4.500	7.000	7,5
SE20S	5.500	8.000	9
SE30A	7.000	10.500	11
SE 30AS	9.000	13.000	15
SE40	12.000	18.000	18,5
SE50	15.000	22.500	22
SE50S	17.000	25.000	30
SE 60	20.000	30.000	30
SE 70	25.000	35.000	37
SE80	30.000	40.000	37

Рисунок 2.21 - Внешний сепаратора SE 20 и технические характеристики выпускаемых сепараторов различной производительности



Рисунок 2.22 – Внешний вид бытовых сепараторов молока

Из (2.47) следует, что при заданных параметрах барабана и сепарируемого молока, производительность сепаратора нелинейно зависит от частоты вращения барабана и температуры молока. Первая зависимость очевидна и определяет скорость осаждения жировых шариков. Вторая зависимость объясняется уменьшением вязкости молока при увеличении температуры. Чем выше температура молока, тем меньше его вязкость и больше скорость

всплывания жировых шариков, а следовательно, проще выделить их из молока. Например, при нагревании молока от 10°C до 30°C вязкость его уменьшается в 2 раза. Однако повышение температуры молока ограничено физико-химическими изменениями, которые начинают проявляться примерно с 55°C. Оптимальной температурой сепарирования молока является 35-40°C. Эффективность сепарирования определяется полнотой выделения жира из молока. Современные молочные сепараторы позволяют выделить более 99% находящегося в молоке жира. Чем мельче шарик, тем труднее его выделить из молока.

В литературе также приводится еще одна формула для определения производительности сепаратора:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \Delta \cdot \omega^2 \cdot R_m \cdot H \cdot \sin \alpha}{9 \cdot \mu}, \quad (2.48)$$

где Δ - разность плотности жидкости и шарика, кг/м³; H - полезная высота пакета тарелок; μ - вязкость жидкости, Н·с/м².

Обобщенным показателем, характеризующим разделяющую способность жидкостных сепараторов является разделяющий фактор:

$$F_{\text{разд}} = \frac{z \cdot (R_\delta - R_m) \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot H}{4,6 \cdot Q \cdot \lg \frac{R_\delta}{R_m}}. \quad (2.49)$$

Зависимость производительности сепаратора от частоты вращения и стремление получить высокое качество сепарирования жидких полидисперсных систем, определили высокие частоты вращения сепараторов (до 10⁴ рад/с). Установлено, что увеличение частоты вращения серийного сепаратора на 1000 л/ч (номинальная частота вращения 830...840 с⁻¹) до значения 890...9120 с⁻¹, например, переводом на безредукторный привод, приводит к увеличению производительности на 10...12%. Также сделан вывод о том, что увеличение частоты вращения на 20...30% не оказывает существенного влияния на показатели прочности и надежности сепаратора.

По технологическим требованиям процесс центрифугирования должен происходить с постоянной скоростью. Отклонения от заданной скорости приводят к снижению качества разделения фракций.

Известно, что частоты вращения $\omega_\delta > 314$ рад/с при питании двигателя напряжением промышленной частоты тока можно получить только с использованием промежуточных механических передач между двигателем и рабочей машиной. Все это привело к использованию в кинематических схемах червячной передачи.

Кинематические схемы. Примеры кинематических схем сепараторов приведены на рисунках 2.23 -2.25. Один из способов облегчения пуска приводного двигателя сепараторов является установка муфты скольжения, позволяющей по мере разгона двигателя, обеспечить при примерно постоянной пусковой мощности передачу энергии на вал барабана. Вначале двигатель

преодолевают трение в муфте при неподвижной ведомой части муфты. При некоторой частоте вращения двигателя (частота подхвата), начинается процесс сцепления ведущей части муфты с ведомой. С этого момента двигатель перестает увеличивать свою частоту вращения и начинает ускорять барабан сепаратора. На этом этапе разгона двигатель преодолевает трение муфты, трение барабана о воздух и разгоняет инерционные массы. В дальнейшем, по мере разгона сепаратора, происходит жесткое сцепление ведомой и ведущей частей муфты, начинается ускорение всего электропривода до частоты, необходимой для процесса сепарирования. Наибольшее распространение получили фрикционные центробежные муфты, в которых связь между ведущей и ведомой частями осуществляется за счет использования центробежной силы прижатия колодок к бандажу с величиной, обеспечивающей передачу необходимого вращающего момента от вала двигателя к валу барабана. Значительные потери в муфте вызывают сильный нагрев ее, а в случае использования фрикционной центробежной муфты, наиболее распространенной в сепараторостроении, колодки муфты сильно изнашиваются и муфты быстро теряют свои свойства. Этим недостаткам частично лишены гидродинамические и электромагнитные муфты. Но тем не менее следует признать, что использование муфты скольжения любого типа, также как и винтовой передачи, аналогично введению дополнительного канала для выделения и поглощения дополнительных потерь, достигающих половины и более суммарных потерь при пуске сепараторов.

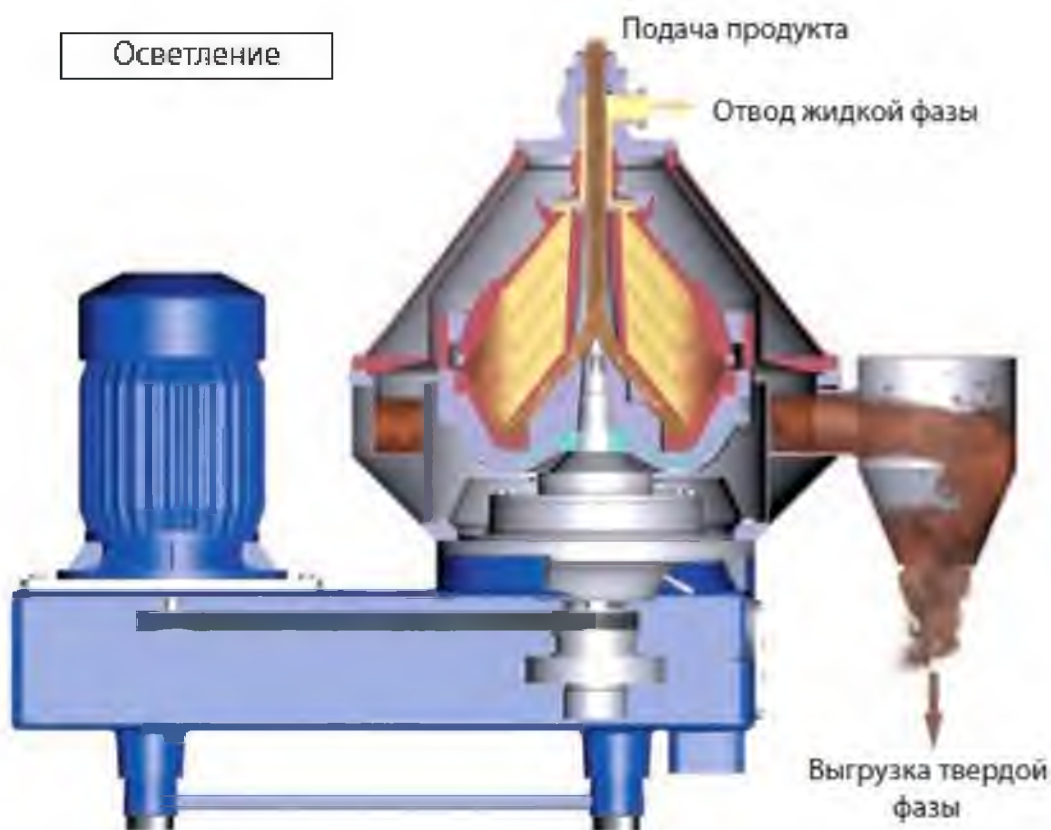


Рисунок 2.23 - Кинематическая схема сепаратора с клиноременной передачей

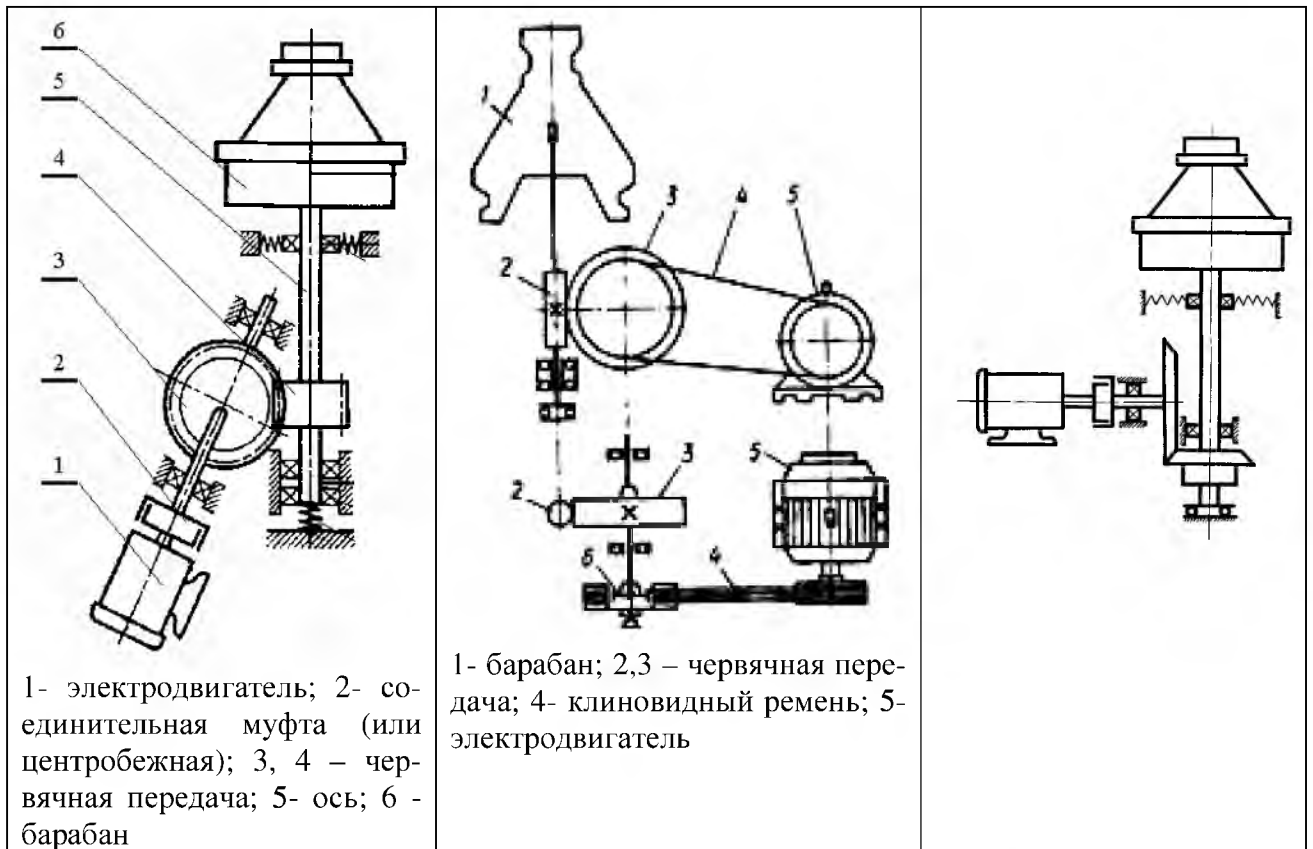


Рисунок 2.24 - Варианты кинематических схем редукторных сепараторов молока

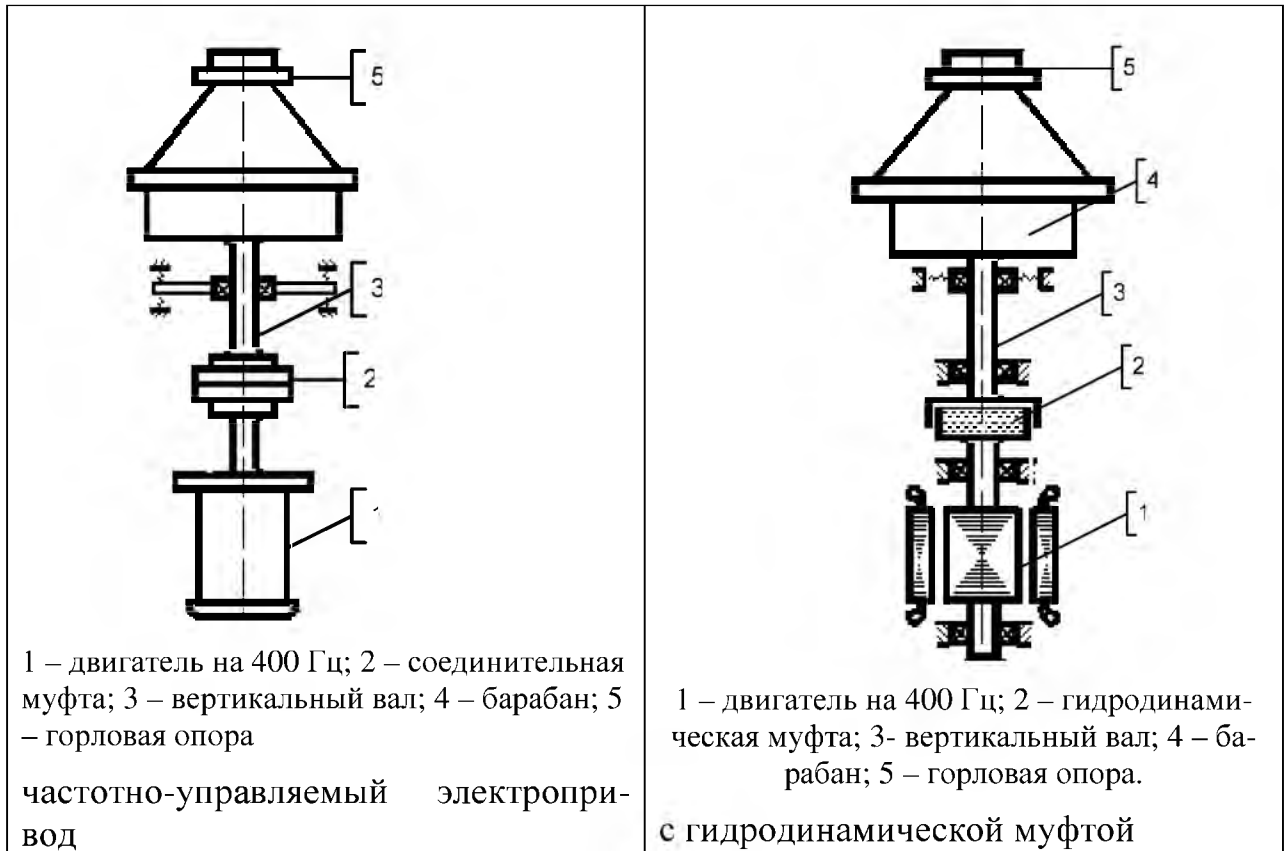


Рисунок 2.25 - Кинематические схемы безредукторных сепараторов молока

Исследованиями ряда авторов показано, что фрикционная центробежная муфта по мере износа ее колодок или в случае попадания масла на них приводит к резкому ухудшению качества сепарирования, так как при этом снижается сила трения колодок муфты о бандаж и появляется некоторое скольжение муфты. При этом снижение частоты вращения барабана и связанное с ним уменьшение вращающего момента двигателя происходит до уравнивания с уменьшившимся моментом сил трения муфты.

Практика эксплуатации редукторных (точнее мультипликаторных) сепараторов показывает, что наиболее слабым звеном с точки зрения долговечности работы является винтовая пара. Срок службы винтового колеса при работе сепаратора 4 часа в сутки не превышает 1 года, тогда как срок службы барабана составляет 5-6 и более лет. В результате за срок службы основного узла – барабана, стоимость замещенных деталей превышает его стоимость до 2-3-х раз. Кроме того, для изготовления винтовой пары требуется дефицитный материал – бронза, что удорожает сепаратор, а в эксплуатации требуется специальное техническое обслуживание. Применение винтовой пары увеличивает габариты сепаратора, снижает КПД электропривода и создает дополнительные шум и вибрацию при работе сепаратора.

Вследствие вышеуказанных недостатков редукторных электроприводов сепараторов привели к разработке безредукторных электроприводов в 70 – 80 годах. Первые безредукторные частотно-управляемые электропривода ВМС появились в Кубанском сельскохозяйственном и в Краснодарском политехническом институтах. Значительный вклад в развитие подобных электроприводов внесли ВНИЭКИпродмаш (г. Москва) и Горский сельскохозяйственный институт (г. Орджоникидзе – ныне г. Владикавказ). Краморовым Ю. И. и Гайтовым Б. Х. в 70-х годах прошлого века были разработаны и испытаны первые образцы безредукторных сепараторов. Повышение частоты вращения электрической машины достигается путем увеличения частоты вращения магнитного поля двигателя с использованием преобразователей частоты тока.

Механические характеристики. Уравнение механической характеристики сепаратора полностью соответствует уравнению, описывающему момент сопротивления центробежных механизмов. Однако реальная механическая характеристика может отличаться от теоретической в части присутствия резонансных всплесков, вызванных явлениями механического резонанса (рис.2.26). Амплитуда этих всплесков зависит от качества балансировки вращающихся частей или равномерности распределения продукта по окружности барабана в случае запуска под нагрузкой. Наибольшее значение имеет первый резонансный всплеск (для большинства сепараторов $200...214 \text{ с}^{-1}$, или около 2000 об/мин). Очевидно необходимо, чтобы выполнялось условие $M_{\text{мин}} > M_{\text{р1}}$. В случае невыполнения этого превышения двигатель запустится и не сможет разогнаться до номинальной скорости. Через некоторое время электродвигатель перегреется из-за пусковых токов и выйдет из строя.

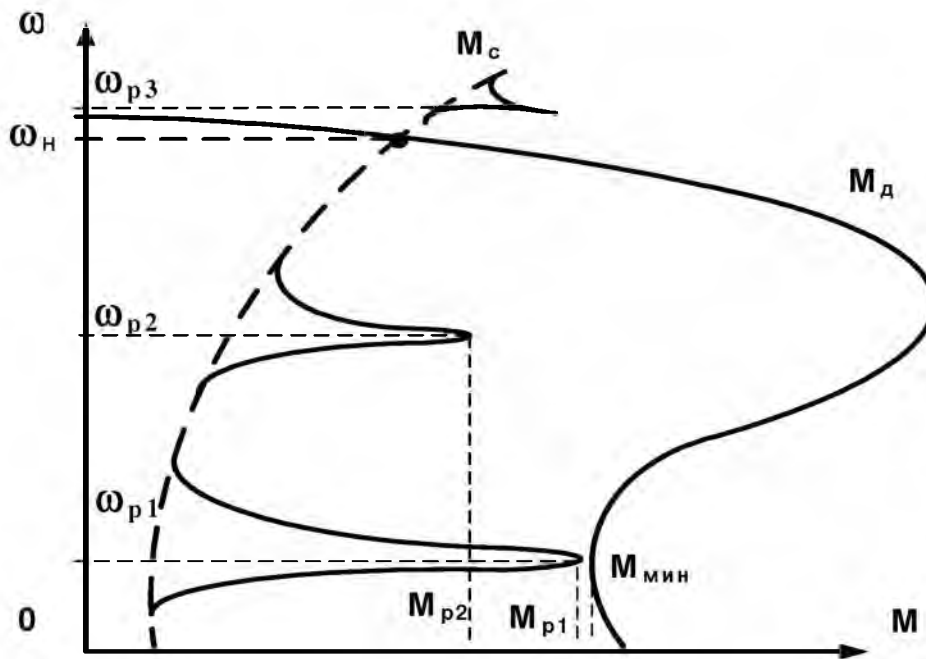
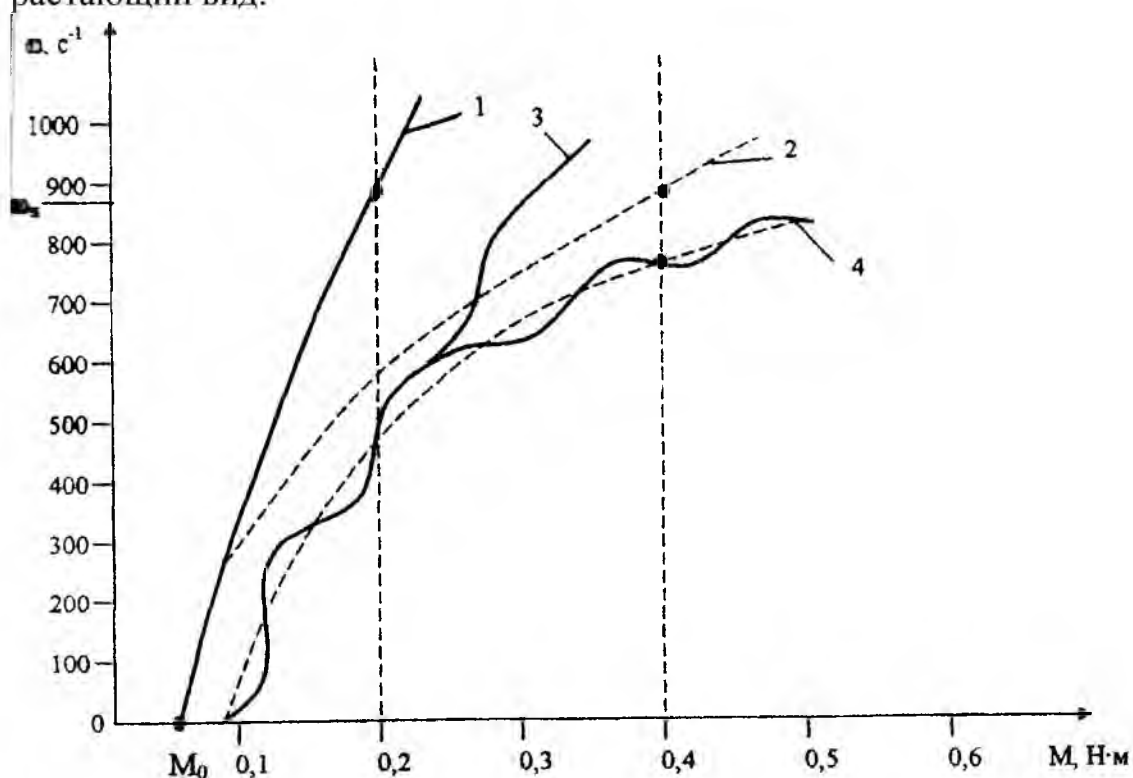


Рисунок 2.26 - Механические характеристики центрифуги и электродвигателя

На рисунке 2.27 представлены экспериментальные механические характеристики сепараторов, из которых видно, что они имеют нелинейный возрастающий вид.



1- при холостом ходе безредукторного сепаратора; 2 – при номинальной нагрузке безредукторного сепаратора; 3 – при холостом ходе сепаратора Ж5-ОСБ; 4 – при номинальной нагрузке сепаратора Ж5-ОСБ

Рисунок 2.27 – Экспериментальные механические характеристики сепараторов

В результате аппроксимации экспериментальных зависимостей были получены следующие аналитические выражения для механических характеристик:

для момента сопротивления холостого хода

$$M_c = 0,04 + 0,192 \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (2.50)$$

для момента сопротивления при номинальной нагрузке

$$M_c = 0,04 + 0,386 \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2. \quad (2.51)$$

Энергетические характеристики. Электропривод сепараторов различного типа и назначения имеет специфические особенности, осложняющие выбор мощности приводного двигателя. Отличительной особенностью его является необходимость передачи большого количества кинетической энергии рабочей машине в период пуска. Это обусловлено с одной стороны, большими значениями приведенного момента инерции барабана, с другой – высокими частотами вращения их. В результате этого оказывается, что потребная мощность двигателя для обеспечения пуска двигателя в приемлемое время от 3 до 10 мин. в 2-3 раза превышает мощность, необходимую для самого процесса сепарирования. Следовательно, двигатель, естественно выбранный из условия обеспечения надежного пуска сепаратора, будет загружен в рабочем режиме лишь на 30-50 % и будет иметь значительно худшие энергетические показатели, чем в номинальном режиме работы.

Связь между мощностью двигателя P_∂ и производительностью Q_T устанавливается по выражению:

$$P_\partial = \left[M_0 + (M_N - M_0) \left(\frac{\omega_T}{\omega_N} \right)^2 \right] \omega_T 10^{-3} + p Q_T + P_{жN} \left(\frac{Q_T}{Q_N} \right) \left(\frac{\omega_T}{\omega_N} \right)^q, \text{ кВт} \quad (2.52)$$

где p – удельная мощность, необходимая для преодоления гидравлических сопротивлений жидкостью, кВт/м³/ч, принимают $p \cong 0,007$ кВт/м³/ч и это значение существенно зависит от расхода жидкости; $P_{жN}$ – мощность, необходимая для сообщения кинетической энергии жидкости при номинальной частоте вращения барабана, кВт; Q_T, Q_N – текущее и номинальное (паспортное) значения производительности, м³/ч; ω_T, ω_N – текущее и номинальное (паспортное) значения частоты вращения барабана, рад/с.

Формула (2.52) предполагает экспериментальное определение нагрузочной механической характеристики с целью определения момента нагруз-

ки при номинальной частоте вращения барабана, а также значение величины мощности $P_{жн}$.

Экспериментально установлено, что изменение мощности на преодоление потерь на трение, для сепаратора на 1000 л/ч, составляет 40...50% мощности потребляемой в режиме номинальной нагрузки.

Если пренебречь потерями мощности на преодоление гидравлических сопротивлений жидкости в барабане, то при сохранении эффекта сепарирования можно получить формулу для потребляемой мощности в относительных единицах в следующем виде:

$$p = A \cdot \omega_*^2 + B \cdot \omega_*^4, \quad (2.53)$$

где A - коэффициент, учитывающий изменение мощности холостого хода от частоты вращения; ω_* - относительное изменение угловой скорости; B - коэффициент, учитывающий, изменение мощности потерь на сообщение кинетической энергии жидкости.

Расчетная мощность электродвигателя может определяться также по упрощенной формуле:

$$P_{расч} = h \cdot M_c \cdot \omega, \quad (2.54)$$

где $h = 1,2...2$ - опытный коэффициент, учитывающий мощность, которая нужна для сообщения кинетической энергии, поступающей в барабан жидкости и преодоления гидродинамических потерь, а также потерь на трение в подшипниках и передаточном механизме.

Так как пуск электропривода сепараторов занимает несколько десятков секунд, то естественно за это время выделяется в нем большое количество энергии. Если производится прямой пуск электродвигателя, то потери энергии за этот период ΔW_n определяются по выражению:

$$\Delta W_n = \Delta W_{n1} + \Delta W_{n2} = J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2} + \int_0^{t_n} M_c (\omega_0 - \omega) dt, \quad (2.55)$$

где ΔW_{n1} и ΔW_{n2} - потери энергии, связанные соответственно с разгоном инерционных масс и преодолением сил сопротивления; J_{Σ} - суммарный приведенный момент инерции системы; ω_0 - синхронная угловая скорость электродвигателя; t_n - время пуска сепаратора.

Средняя мощность потерь при прямом пуске в электроприводе составит:

$$\Delta P_n = \frac{\Delta W_n}{t_n}. \quad (2.56)$$

Пусковая мощность значительно превышает мощность потерь в установленном режиме. Для снижения пусковых потерь мощности используют три типа электропривода: асинхронный, с центробежной муфтой скольжения; с многоскоростным электродвигателем; с использованием преобразователя частоты тока.

В случае использования центробежной муфты ее ставят между валом электродвигателя и рабочим валом центрифуги сепаратора (рис.2.28).

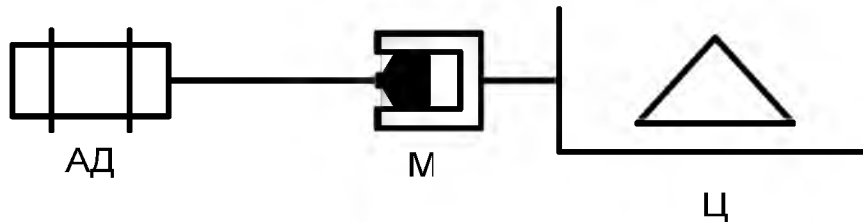


Рисунок 2.28 - Функциональная схема электропривода сепаратора с центробежной муфтой

При включении электродвигателя внутренняя часть муфты свободно вращаясь разгоняется до определенной скорости при которой начинается зацепление с ведомой частью (за счет центробежных сил). По мере увеличения скорости становится больше центробежная сила и увеличивается момент, передаваемый муфтой. Таким образом, центробежная муфта позволяет электродвигателю набрать скорость практически без нагрузки и разгонять рабочую машину, используя свой максимальный (критический) момент. В первый этап времени центрифуга разгоняется при моменте сопротивления равном нулю и поэтому потери энергии в электродвигателе в этот момент $\Delta W_{\text{нзл}}$ определяются следующим выражением:

$$\Delta W_{\text{нзл}} = \Delta P_{\text{р1}} \cdot t_1 = M_{\text{сц}} \cdot \omega_0 \cdot S_{\text{сц}} \cdot t_1, \quad (2.57)$$

где $\Delta P_{\text{р1}}$ - мощность потерь в обмотке ротора электродвигателя; $S_{\text{сц}}$ - скольжение при котором происходит сцепление ведущей и ведомой частей муфты.

Время первого этапа t_1 можно определить по формуле:

$$t_1 = J_{\text{ц}} \int_0^{\omega_{\text{сц}}} \frac{d\omega}{M_{\text{сц}}} = \frac{J_{\text{ц}} \cdot \omega_0}{M_{\text{сц}}} (1 - S_{\text{сц}}), \quad (2.58)$$

где $J_{\text{ц}}$ - приведенный момент инерции центрифуги, $J_{\text{ц}} \cong J_{\text{Э}}$

После соответствующей подстановки получим выражения для определения потерь энергии на первом этапе:

$$\Delta W_{\text{нзл}} = J_{\text{ц}} \cdot \omega_0^2 \cdot S_{\text{сц}} (1 - S_{\text{сц}}). \quad (2.59)$$

На втором этапе пуска электродвигатель разгоняется до номинальной скорости совместно с центрифугой. и потери энергии составят:

$$\Delta W_{м2} = \int_0^{t_2} \Delta P_{\rightarrow 2} dt = \int_0^{t_2} (M_{\rightarrow} - M_c)(\omega_0 - \omega) dt, \quad (2.60)$$

где M_{\rightarrow} и M_c - моменты соответственно электродвигателя и сопротивления.

В соответствии с уравнением движения электропривода на втором этапе можно записать:

$$M_{\rightarrow} - M_c = J_u \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.61)$$

Проведя соответствующие подстановки и заменяя пределы интегрирования получим следующие выражения:

$$\Delta W_{м2} = \int_{\omega_{сц}}^{\omega_n} J_u (\omega_0 - \omega) d\omega = J_u \cdot \omega_0 \int_{\omega_{сц}}^{\omega_n} d\omega - J_u \int_{\omega_{сц}}^{\omega_n} \omega d\omega = J_u \cdot \frac{\omega_0^2}{2} \cdot S_{сц}^2. \quad (2.62)$$

Данное выражение справедливо при условии высокой жесткости механической характеристики электродвигателя на рабочем участке ($\omega_0 = \omega_n$).

Суммарные потери в электродвигателе за весь пуск составят:

$$\Delta W_{м\Sigma} = \Delta W_{м1} + \Delta W_{м2} = J_u \cdot \frac{\omega_0^2}{2} (2S_{сц} - 2S_{сц}^2 + S_{сц}^2) = J_u \cdot \frac{\omega_0^2}{2} (2S_{сц} - S_{сц}^2). \quad (2.63)$$

Из последнего уравнения видно, что потери в роторе электродвигателя зависят от запаса кинетической энергии и значения скольжения зацепления.

Аналогично можно провести анализ потерь в муфте за период пуска. Так мощность потерь в муфте ΔP_m определяется:

$$\Delta P_m = P_1 - P_2 = M_m (\omega_{сц} - \omega), \quad (2.64)$$

где P_1 и P_2 - мощности соответственно подведенной со стороны двигателя и переданной на вал центрифуги.

Мощность потерь в муфте определится следующим образом:

$$\Delta W_m = \int_0^{t_1} \Delta P_m dt = \int_0^{t_1} M_m (\omega_{сц} - \omega) dt. \quad (2.65)$$

Так как $M_m = J_u \frac{d\omega}{dt}$, то:

$$\Delta W_m = J_u \int_0^{\omega_{сц}} (\omega_{сц} - \omega) d\omega = J_u \frac{\omega_0^2}{2} (1 - S_{сц})^2. \quad (2.66)$$

По данному выражению видно, что потери в муфте также определяются запасом кинетической энергии и скольжением, при котором происходит зацепление.

Суммарные потери в электроприводе (электродвигатель и муфта) составят:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\text{пэ}} + \Delta W_{\text{м}} = J_{\text{ц}} \cdot \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (2.67)$$

Таким образом, суммарные потери распределяются между муфтой и электрической машиной. Полученные уравнения показывают, что выбором скольжения сцепления можно добиться необходимого распределения потерь между муфтой и электродвигателем, чтобы не происходило перегрева каждой из этих частей.

Выразим потери энергии в двигателе и муфте через относительные единицы:

$$\begin{aligned} \Delta w_{\text{пэ}}^* &= 2S_{\text{сц}} - S_{\text{сц}}^2 \\ \Delta w_{\text{м}}^* &= (1 - S_{\text{сц}})^2 \end{aligned} \quad (2.68)$$

На графике (рис.2.29) изображена зависимость общих относительных потерь от величины скольжения сцепления. При проектировании или настройке муфты, необходимо знать – в какой, пропорции требуется разделить общие потери. Если принимается разделение в равной пропорции (по 0,5), то, как видно из графика, требуемое значение скольжения сцепления равно 0,3.

Необходимо также отметить, что с применением муфты общие потери энергии меньше, чем при прямом пуске, из-за уменьшения потерь еще и в статорной обмотке электродвигателя.

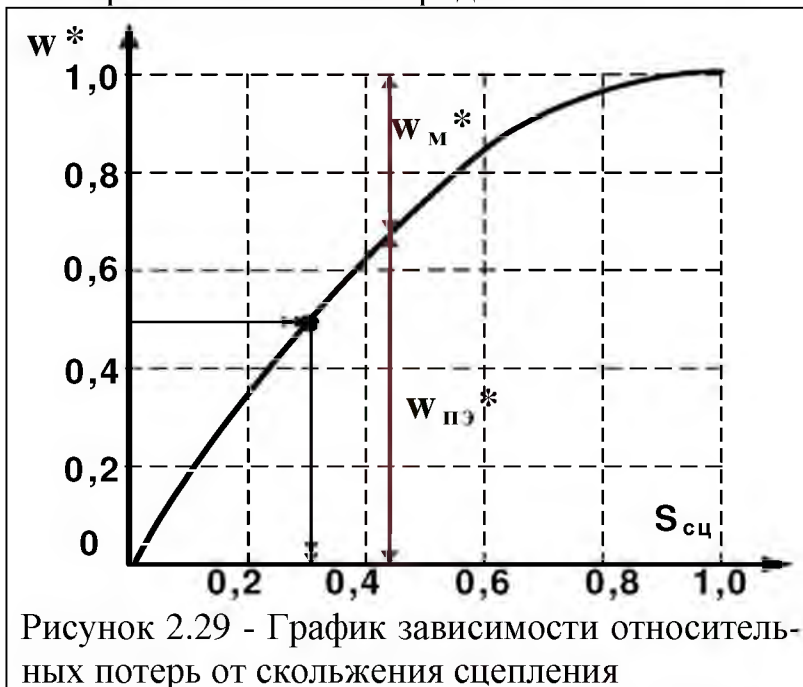


Рисунок 2.29 - График зависимости относительных потерь от скольжения сцепления

Применение **много-скоростного асинхронного электродвигателя** также позволяет сократить потери энергии при пуске. Рассмотрим пуск электропривода при установке двухскоростного электродвигателя. Первоначально производится пуск до половинной частоты вращения при увеличенном пусковом моменте (до точки 1) (рис.2.30). Затем производится переключение на

другое количество пар полюсов (точки 1-2-3) и двигатель разгоняется до номинальной скорости (точка 4).

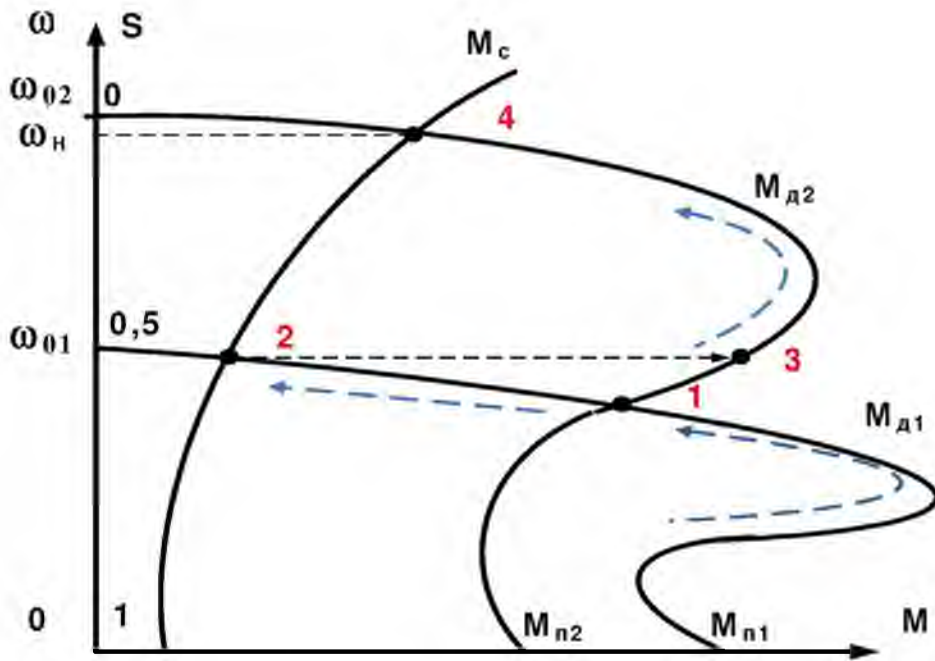


Рисунок 2.30 - Механические характеристики электродвигателя и момента сопротивления

Потери при пуске в одну ступень определяются следующим образом:

$$\Delta W_{\text{э}} = \int_{S_{\text{кон}}}^{S_{\text{нач}}} J_{\Sigma} \omega_0^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) S dS = J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right), \quad (2.69)$$

где R_1 и R_2' - активные сопротивления соответственно статора и приведенного ротора; $S_{\text{нач}}$; $S_{\text{кон}}$ - скольжения электродвигателя соответственно начальное и конечное.

При пуске двухскоростного электродвигателя на первой ступени от $\omega_{\text{нач}} = 0$; $S_{\text{нач}} = 1$ до $\omega_{\text{кон}} = \omega_{01} = \frac{\omega_{02}}{2}$; $S_{\text{кон}} = 0,5$ потери составят:

$$\Delta W_{\text{э}1} = J_{\Sigma} \omega_{01}^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \int_0^1 S dS = J_{\Sigma} \frac{\omega_{01}^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) = J_{\Sigma} \frac{\omega_{02}^2}{8} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right). \quad (2.70)$$

При переходе на вторую ступень происходит увеличение скорости от

$\omega_{\text{нач}} = \frac{\omega_{02}}{2}$; $S_{\text{нач}} = 0,5$ до $\omega_{\text{кон}} = \omega_{02}$; $S_{\text{кон}} = 0$ и потери определяются:

$$\Delta W_{\text{э}2} = J_{\Sigma} \omega_{02}^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \int_0^{0,5} S dS = J_{\Sigma} \frac{\omega_{02}^2}{8} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right). \quad (2.71)$$

Тогда общие потери за пуск составят:

$$\Delta W_{\text{э}\Sigma} = \Delta W_{\text{э}1} + \Delta W_{\text{э}2} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{02}^2}{4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right). \quad (2.72)$$

Таким образом, сравнивая значения потерь при одноступенчатом и двух ступенчатом пуске можно сделать вывод, что применение двухскоростного электродвигателя позволяет сократить потери в момент запуска в два раза.

Для определения потерь в двигателе при пуске на i -ой ступени можно воспользоваться формулой:

$$\Delta W_{эi} = J_{\Sigma} \frac{\Delta \omega_{0i}^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (2.73)$$

где $\Delta \omega_{0i}$ - разность синхронных скоростей.

Для удобства сравнения потерь лучше пользоваться относительными величинами. В качестве базисных потерь принимаем полный запас кинетической энергии на высшей синхронной скорости:

$$\Delta w_{эi}^* = \frac{\Delta W_{эi}}{\Delta W_{\delta}} = \frac{\Delta \omega_{0i}^2}{\Delta \omega_{0n}^2} = \Delta \omega_{0i}^{*2}, \quad (2.74)$$

где $\Delta \omega_{0i}^{*2}$ - относительная разность синхронных скоростей на соседних ступенях.

Суммарные относительные потери определим следующим образом:

$$\Delta w_{э\Sigma}^* = \sum_1^n \Delta w_{эi}^* = \sum_1^n \Delta \omega_{0i}^{*2}. \quad (2.75)$$

Из полученной формулы видно, что потери тем меньше, чем меньше разница синхронных скоростей.

Сравним потери при пуске двухскоростного двигателя с синхронными частотами вращения $1500/3000 \text{ мин}^{-1}$ и с трехскоростным с частотами вращения $500/1000/1500 \text{ мин}^{-1}$. В соответствии с формулой (2.74) относительные потери составят:

$$\Delta w_{э2}^* = \left(\frac{1500 - 0}{3000} \right)^2 + \left(\frac{3000 - 1500}{3000} \right)^2 = 0,5.$$

Аналогично определяем потери для трехскоростного электродвигателя:

$$\Delta w_{э3}^* = \left(\frac{500 - 0}{1500} \right)^2 + \left(\frac{1000 - 500}{1500} \right)^2 + \left(\frac{1500 - 1000}{1500} \right)^2 = 0,33.$$

Безредукторные сепараторы имеют значительно меньшие массогабаритные данные, меньшую установленную мощность приводного электродвигателя, а также шум и вибрации при работе. Основные технико-экономические показатели их приведены в таблице 2.8.

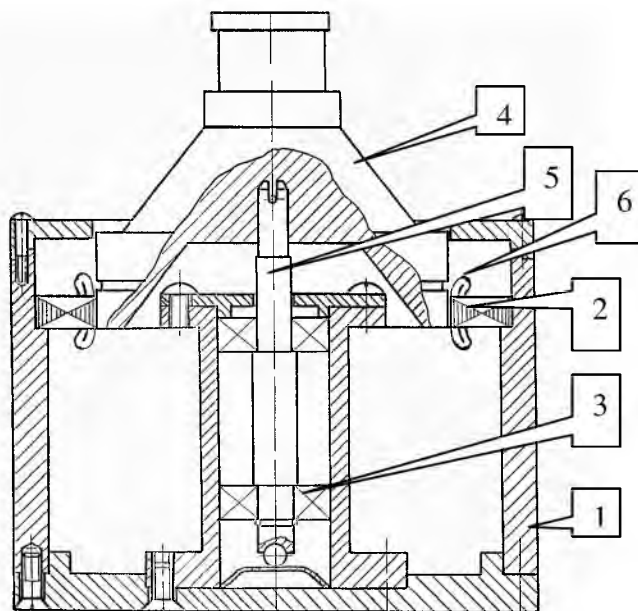
Таблица 2.8 - Основные технико-экономические показатели редукторных и безредукторных сепараторов

Показатели	СПМФ-2000		ОСП-3м	
	f=50 Гц редукторн.	f=400 Гц безредукторн.	f=50 Гц редукторн.	f=400 Гц безредукторн.
Производительность, м ³ /ч	2	2,25	3	4
Относительная стоимость, о.е.	1,00	0,89	1,00	0,84
Масса, кг	260	176,8	480	269,8
Удельный расход электроэнергии, кВтч/м ³ /ч	1,64	0,74	1,76	0,58
Удельный расход материала, кгч/м ³	130	77	160	67

Дальнейшее совершенствование электропривода сепараторов привело к построению так называемых двигателей-сепараторов (Д-С). Двигатели-сепараторы впервые разработаны и испытаны профессором Гайтовым Б. Х. Им предложено около 30 модификаций (на уровне изобретений) Д-С, позволяющих перевести процесс сепарирования на качественно новую, более прогрессивную основу. Следует отметить то, что с позиций электромеханики Д – С представляет собой асинхронный двигатель с массивным ротором (АДМР), в качестве которого используется барабан сепаратора. Как известно такой двигатель характеризуется существенно увеличенными (в сравнении с короткозамкнутым асинхронным двигателем) тепловыми потерями, вследствие чего они нуждаются в интенсивном, например жидкостном, охлаждении. Конструкция Д-С как раз сочетает в себе удачное решение этой двуединой задачи, согласно которой, сепарируемое молоко, проходя по многощелевому барабану интенсивно охлаждает ротор (барабан) приводного двигателя, с одной стороны, и одновременно само нагревается за счет отобранного тепла, с другой стороны. В результате такой утилизации тепла для подогрева молока существенно снижается мощность подогревающих устройств молока.

Аксиальный Д-С (рис.2.31) состоит из ротора (барабана) 5, консольно закрепленного на валу так, что его ось вращения совпадает с осью статора 2, а его нижняя торцовая поверхность и верхняя торцовая поверхность статора образуют рабочий воздушный зазор, предназначенный для проведения магнитного потока двигателя Д-С. Величина зазора такова, что при всех режимах работы Д-С исключается касание барабана о статор. Статор 2 имеет тороидальную форму и набран из листов электротехнической стали, поверхности которых образуют между собой концентрические окружности с центром, лежащим на оси статора. Такое расположение листов статора обес-

печивает возможность проведение магнитного потока в статоре с минимальным магнитным сопротивлением. Статор имеет радиальные пазы, в которых уложена обмотка 6, питаемая от источника переменного напряжения, частота которого определяется скоростью вращения барабана. Статор закреплен в станине, а барабан жестко связан с вертикальным валом 5, установленным в двух подшипниковых опорах: верхнем - упругом горловом и нижнем - опорном 3.



1 – корпус; 2 – статор с обмоткой 6; 3 – подшипник; 4 – барабан (ротор); 5 – вал;
Рисунок 2.31 - Вид Двигатель-Сепаратора в разрезе, разработанного на базе сепаратора «Плава»

Инерционная характеристика. Особенностью механизмов, содержащих центрифуги является наличие большого приведенного к валу электродвигателя момента инерции барабана. Этот приведенный момент инерции может превышать момент инерции электродвигателя на несколько порядков (2-3). Поэтому коэффициент инерции находится в пределе 200...300 и расчетная постоянная электропривода составляет 200...3000 с. В связи с этим пуск электропривода составляет 200-300 секунд, а остановка, без применения тормозных устройств, может происходить несколько десятков минут.



Рисунок 2.32 – Нагрузочные диаграммы сепаратора «Урал-6».

Нагрузочные диаграммы. Электропривод сепараторов работает в продолжительном режиме (S1). Изменение нагрузки идет только в период пуска (рис.2.32) и наблюдается всплеск потребляемой мощности при поступлении продукта.

2.4. Эффективность применения преобразователей частоты в насосных установках

Для оценки эффективности сравниваемых различных способов регулирования необходимо проводить тщательный анализ режимов работы как самого насосного агрегата так и остальных составляющих системы водоснабжения. Наиболее простой способ изменения производительности водоснабжающей установки это дросселирование (регулирование задвижками). Проанализируем энергетику такого способа регулирования.

Рассматривая энергетические характеристики технологического процесса водоснабжения объекта, необходимо отметить, что требуемая мощность для подачи воды может быть рассчитана по формуле:

$$P_c = H_c \cdot (Q_1 + Q_1 + \dots Q_i), \quad (2.76)$$

где H_c - напор в сети; Q_1 , Q_i - расходы соответственно первого и i -го потребителя.

Для нормальной работы сети чаще всего необходимо создание постоянного значения напора H_c . Величины расходов Q_1 - Q_i определяются потребителями и с течением времени могут меняться. Гидравлическая мощность, развиваемая насосным агрегатом, может быть получена:

$$P_c = H_c \cdot (Q_1 + Q_1 + \dots Q_i). \quad (2.77)$$

В данной формуле сумма расходов представляет собой общий сетевой расход воды Q_c . В идеальном варианте необходимо, чтобы сохранялось равенство P_c и P_r . На самом деле между насосным агрегатом и сетью установлены элементы со своими гидравлическими сопротивлениями, на которых теряется часть напора, развиваемого насосным агрегатом, ΔH_n . Таким образом, потери энергии (мощности) на технологическое обеспечение параметров перекачиваемой жидкости можно определить как

$$\Delta P_n = \Delta H_n \cdot Q_c. \quad (2.78)$$

Следовательно, для поддержания заданных технологических параметров сети насос должен развивать гидравлическую мощность, равную

$$P_c = H_c \cdot (Q_1 + Q_1 + \dots Q_i) + \Delta H_n \cdot (Q_1 + Q_1 + \dots Q_i). \quad (2.79)$$

Последнее выражение показывает, что потери энергии зависят от расхода сети, определяемого потребителем, и потерь напора на оборудовании насосной станции ΔH_n , которые определяются гидравлическим сопротивлением элементов схемы. Для организации технологического процесса с минимальными энергетическими потерями необходимо, в первую очередь, снизить потери напора между трубопроводом насосного агрегата и сетью потребителей — ΔH_n . Далее воспользуемся известными **QH**-характеристиками для насосных агрегатов и сети (рис. 2.33). Кривая 1 соответствует напорной характеристике насосного агрегата, а кривая 2 — гидравлической характеристике сети, где H_0 — требуемый статический напор сети. Точка пересечения этих характеристик является идеальной расчетной точкой совместной работы насосного агрегата и сети ($Q_{ном}$). При изменении расхода в сети меняется и её

гидравлическая характеристика — линии 3-5. С уменьшением расхода увеличивается давление в сети. Кроме того, в зависимости от режимов работы системы может меняться давление перед насосом, создаваемое источником водоснабжения. Изменения этого давления отражаются на величине давления в сети потребителей. Такой характер взаимосвязи параметров требует установки в системе дроссельных элементов — регулирующих клапанов (напорные задвижки). Эти элементы создают дополнительное гидравлическое сопротивление и позволяют обеспечить стабильное давление в сетевом трубопроводе. При использовании дроссельных элементов происходит распределение напора на элементах системы (рис. 2.34), где ΔH_d — падение напора на дроссельном элементе. Для поддержания заданного давления в сетевом трубопроводе при изменении расхода жидкости приходится изменять гидравлическое сопротивление регулирующего элемента. При этом общая гидравлическая характеристика будет иметь более крутой вид. Величина ΔH_d с таким регулированием неуклонно увеличивается. Таким образом, чем глубже производится дросселирование регулирующим элементом, тем больше энергетических потерь имеет весь технологический процесс.

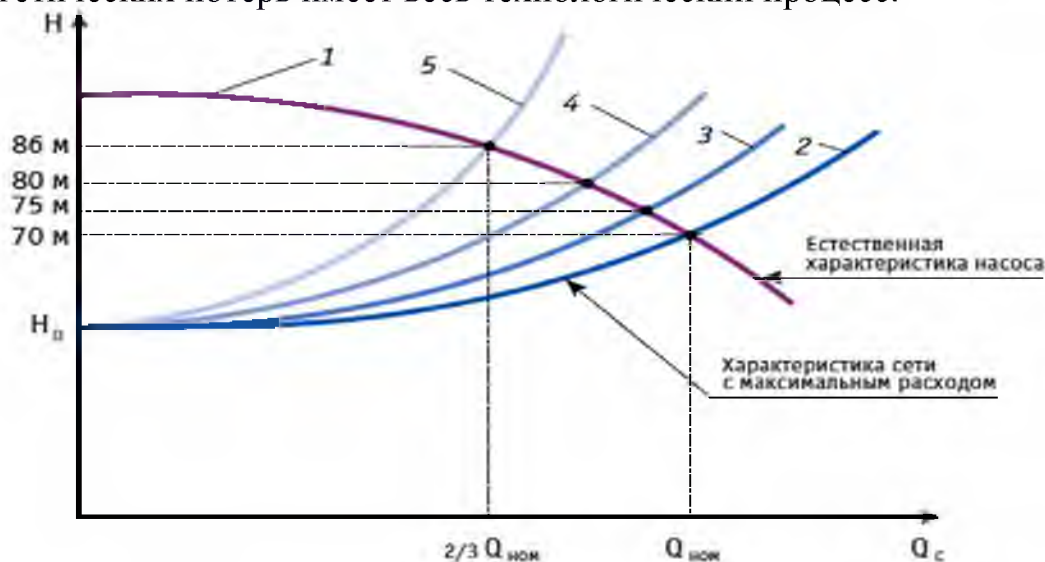


Рисунок 2. 33 - Характеристики насосного агрегата и сети без регулирования



Рисунок 2.34 - Характеристики агрегата и сети с дросселированием

При регулировании подачи задвижкой (дресселированием) эффективность регулирования можно оценить при помощи КПД установки:

$$\eta_y = \frac{H_M \cdot Q_{\text{вых}}}{(H_M + \Delta H_D) \cdot Q_{\text{вых}}} = \frac{H_M}{H_M + \Delta H_D} = \frac{H_c + \Delta H_M}{H_c + \Delta H_M + \Delta H_D} = \frac{H_c}{H_c} + \frac{\Delta H_M}{H_c}, \quad (2.80)$$

где H_M - напор в магистрали после регулирующего органа – задвижки; H_c - напор перед задвижкой; ΔH_M - потери напора в магистрали; $Q_{\text{вых}}$ - выходная производительность с учетом регулирующего органа; H_c - напор перед органом регулирования.

В соответствии с полученным выражением можно сделать вывод, что КПД зависит от величины статического напора, а вернее от отношения статического напора к напору создаваемого насосом перед регулирующим органом, и от отношения потерь напора в магистрали к напору перед органом регулирования. Данную зависимость можно проиллюстрировать соответствующими графиками (рис.2.35).

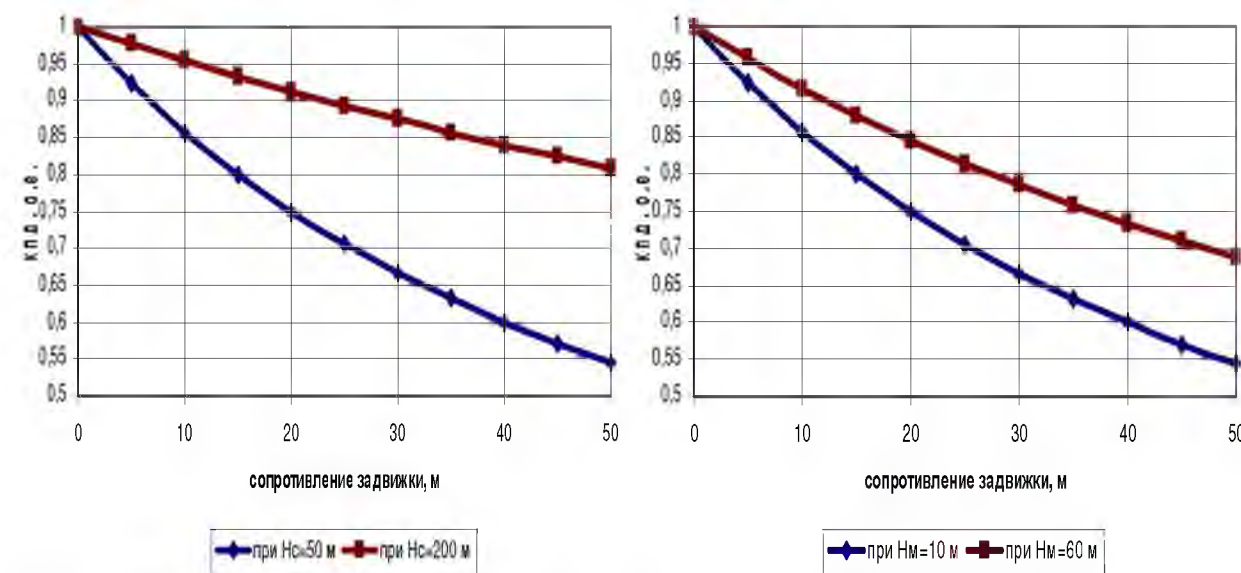


Рисунок 2.35 - Зависимость КПД от сопротивления задвижки при изменении статического напора и сопротивления магистрали

Как видно из рисунка 2.35, чем больше статический напор, тем меньше влияние сопротивления задвижки и чем больше сопротивлением магистрали, тем также меньше влияние задвижки.

Следует проанализировать полученные зависимости при отсутствии статического напора. В этом случае выражение 2.80 приобретает вид:

$$\eta_y = \frac{\Delta H_M}{\Delta H_M + \Delta H_D}. \quad (2.81)$$

Разделим числитель и знаменатель на ΔH_M и обозначим $\frac{\Delta H_D}{\Delta H_M} = K_p$ -

коэффициент регулирования (кратность регулирования задвижкой). Данный коэффициент показывает отношение сопротивления задвижки к сопротивлению магистрали. Получим следующий вид формулы 2.81:

$$\eta_y = \frac{1}{1 + K_p} \quad (2.82)$$

Данную зависимость можно представить графически на рисунке 2.36. Как видно из данного рисунка при кратности более 4-х, КПД изменяется медленней, и он имеет низкое значение. Таким образом, лучше всего держать кратность регулировки до 4-х. Более точное значение по ограничению степени регулирования дроссельным элементом можно получить следующим образом. Исходя из рисунка видно, что скорость изменения КПД на графике не постоянна. Для определения степени уменьшения скорости изменения КПД возьмем вторую производную функции (2.82):

$$(\eta_y)' = \left(\frac{1}{1 + K_p} \right)' = -\frac{1}{(1 + K_p)^2}, \quad (2.83)$$

$$(\eta_y)'' = \left(-\frac{1}{(1 + K_p)^2} \right)' = \frac{2}{(1 + K_p)^3}. \quad (2.84)$$



Рисунок 2.36 – Зависимость КПД от кратности регулирования задвижкой

Вторая производная показывает ускорение (замедление) изменения данного графика функции. Задаваясь значениями замедления можно получить предел регулирования K_p . Для нашего случая, имеет смысл, остановится на замедлении от 0,1 до 0,01. Подставляя данные значения в формулу (2.84) и

решая ее относительно K_p , получим: для $(\eta_y)'' = 0,1$ $K_p = 1,87$; для $(\eta_y)'' = 0,01$ $K_p = 4,94$. Таким образом, регулировку лучше производить не превышая значения коэффициента регулирования выше 2 - 5.

Как отмечается в литературе, КПД при малом статическом напоре пропорционален квадрату диапазона регулирования по производительности:

$$\eta_y = \frac{\Delta H_M}{\Delta H_M + \Delta H_D} = \frac{1}{1 + K_p} \equiv \left(\frac{Q_{\text{ВЫХ}}}{Q_H} \right)^2 = q^2 \equiv D^2. \quad (2.85)$$

Подставив два полученных значения K_p , получим два значения диапазона регулирования по производительности – 0,41 и 0,59. Следовательно, не нужно допускать регулировку производительности дросселирующим элементом ниже диапазона 0,41-0,59. Из анализа потерь мощности при регулировании задвижкой, формула (2.23) установлено, что максимум потерь приходится, на $q = 0,576$, что попадает в установленный диапазон данным способом. Следовательно, не нужно регулировать задвижкой до значения $q=0,576$, при котором будет наблюдаться максимальное значение потерь мощности.

Для решения задачи минимизации потерь, связанных с регулированием давления в сети, необходимо исключить дополнительные гидравлические сопротивления на участке от насосного агрегата до сетевого трубопровода, то есть необходимо полностью открыть всю запорно-регулирующую арматуру. Это можно сделать, если процесс регулирования давления передать насосному агрегату. Теория работы нагнетателей (насосов и вентиляторов) доказывает, что изменение частоты вращения привода нагнетателя изменяет его напорные характеристики. Кроме того, напор, создаваемый нагнетателем, пропорционален квадрату частоты вращения агрегата.

Изменение напорных характеристик насосного агрегата при изменении частоты вращения иллюстрирует рисунок 2.37, на котором кривая 1 соответствует номинальной (при номинальной частоте вращения привода)напорной характеристике, а кривые 2-4 — напорным характеристикам при пониженной частоте вращения. Если настроить работу привода насосного агрегата таким образом, чтобы он при изменении параметров технологического процесса (расхода в сети и давления на входе агрегата) изменял частоту вращения, то в итоге можно без существенных потерь энергии стабилизировать давление в сети потребителей. При таком способе регулирования исключаются потери напора (нет дроссельных элементов), а значит, и потери гидравлической энергии.

Способ регулирования давления в сети путем изменения частоты вращения привода насосного агрегата снижает энергопотребление ещё и по другой причине. Собственно насос как устройство преобразования энергии имеет свой коэффициент полезного действия. Характер изменения коэффициента полезного действия насоса η_n в зависимости от расхода жидкости Q при различных частотах вращения представлен на рисунке 2.38. В соответствии с

теорией подобия максимум коэффициента полезного действия с уменьшением частоты вращения несколько снижается и смещается влево.

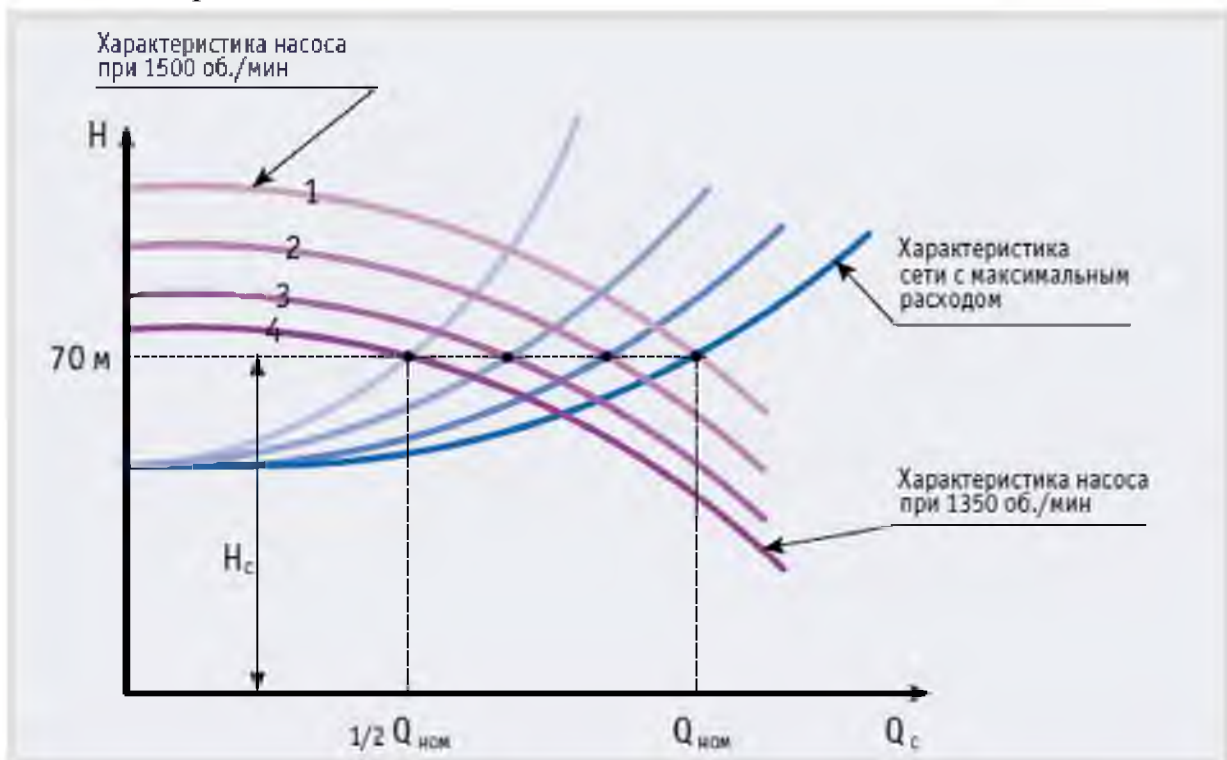


Рисунок 2.37 - Характеристики насосного агрегата и сети с частотным регулированием

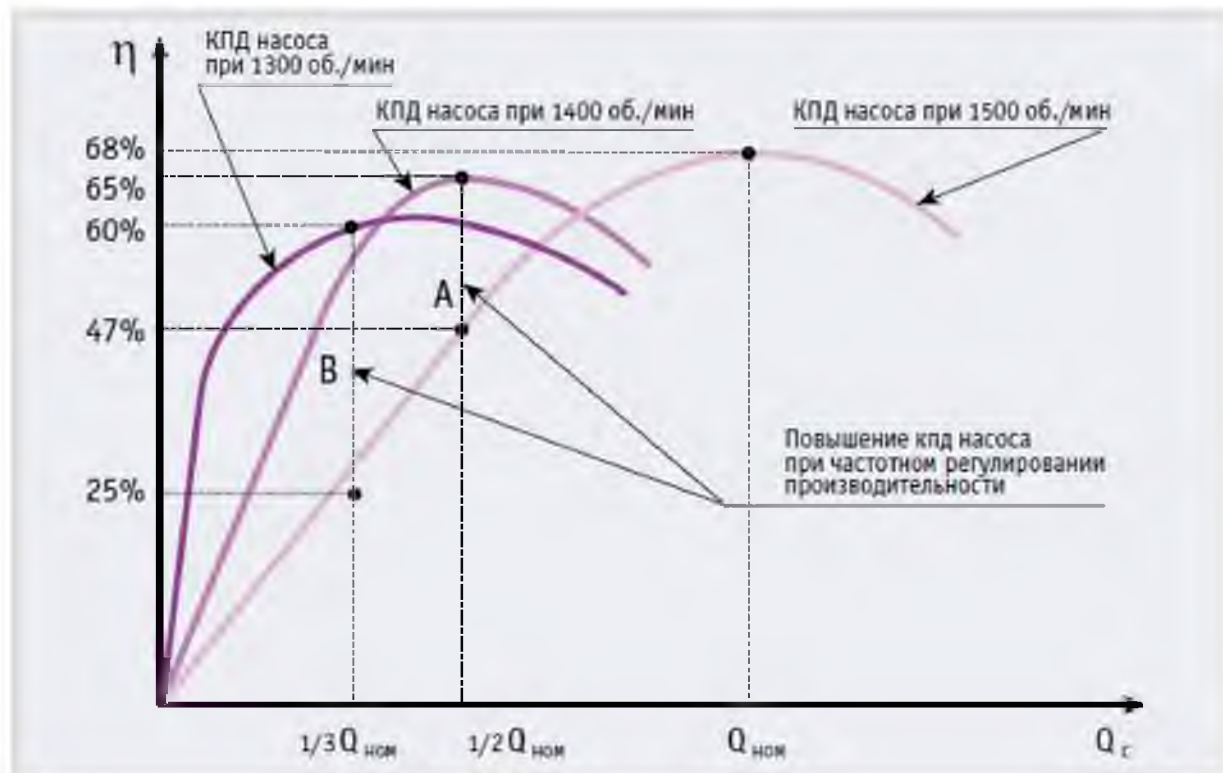


Рисунок 2.38. Изменение кпд насосного агрегата с частотным регулированием при изменении производительности

Анализ требуемого изменения частоты насосного агрегата при изменении расхода в сети показывает, что с уменьшением расхода требуется снижение частоты вращения. Если рассмотреть работу агрегата для расхода меньше номинального (вертикальные линии А и В), то для этих режимов рационально работать на пониженной частоте вращения. В этом случае КПД насоса выше, чем при работе на номинальной частоте вращения. Таким образом, снижение частоты вращения в соответствии с технологической нагрузкой позволяет не только экономить потребляемую энергию на исключении гидравлических потерь, но и получить экономический эффект за счет повышения коэффициента полезного действия самого насоса — преобразования механической энергии в гидравлическую. Снижению перепада давления между всасывающим и напорным патрубками насосного агрегата увеличивает срок службы трубопроводов, сальниковых уплотнений, практически исключает гидроудары и обеспечивает стабильность давлений в трубопроводах сетей.

2.5. Эффективность электропривода насосных установок

Еще одним способом регулирования производительности насосных установок является дискретное включение насоса в зависимости от уровня воды в водонапорном баке или от давления в промежуточной емкости. Произведем сравнение дискретного режима работы и параметрического регулирования в насосных системах.

Полезную энергию поднятой воды (рис. 2.39) за определённое время T можно определить как произведение массы воды на сумму геодезической высоты башни и динамического уровня воды в ней:

$$W_{\text{пол}} = (H_{\text{сп}} + H_{\text{динб}}) \cdot Q_{\text{ж}} \cdot g \cdot T \quad (2.86)$$

где $H_{\text{сп}}$ - геодезическая высота башни (высота от среднего уровня воды в потребителе до нижнего уровня воды в башне); $H_{\text{динб}}$ - динамический уровень воды в башне; $Q_{\text{ж}}$ - расход жидкости из башни.

Расход жидкости носит переменный характер и зависит от многих факторов: времени года, дня недели, времени суток, технологических процессов. Производительность насосного агрегата рассчитывается на максимальный расход.

В общем случае затрачиваемую энергию для подачи жидкости в башню можно определить следующим образом:

$$W_{\text{под}} = H_{\text{н}} \cdot Q_{\text{н}} \cdot g \cdot \text{ПВ} \cdot T = (H_{\text{г}} + H_{\text{динб}} + H_{\text{динв}} - H_{\text{ен}}) \cdot Q_{\text{н}} \cdot g \cdot \text{ПВ} \cdot T, \quad (2.87)$$

где H_n - напор развиваемый насосом; Q_n - производительность насоса; $PВ$ - относительная продолжительность включения; H_r - геодезическая высота подъема воды, измеряемой от статического уровня воды в скважине до нижнего уровня воды в резервуаре; $H_{дин\ б}$ - динамический уровень воды в башне; $H_{дин\ в}$ - динамические потери в водопроводной сети до башни; $H_{вн}$ - уровень воды над насосом.

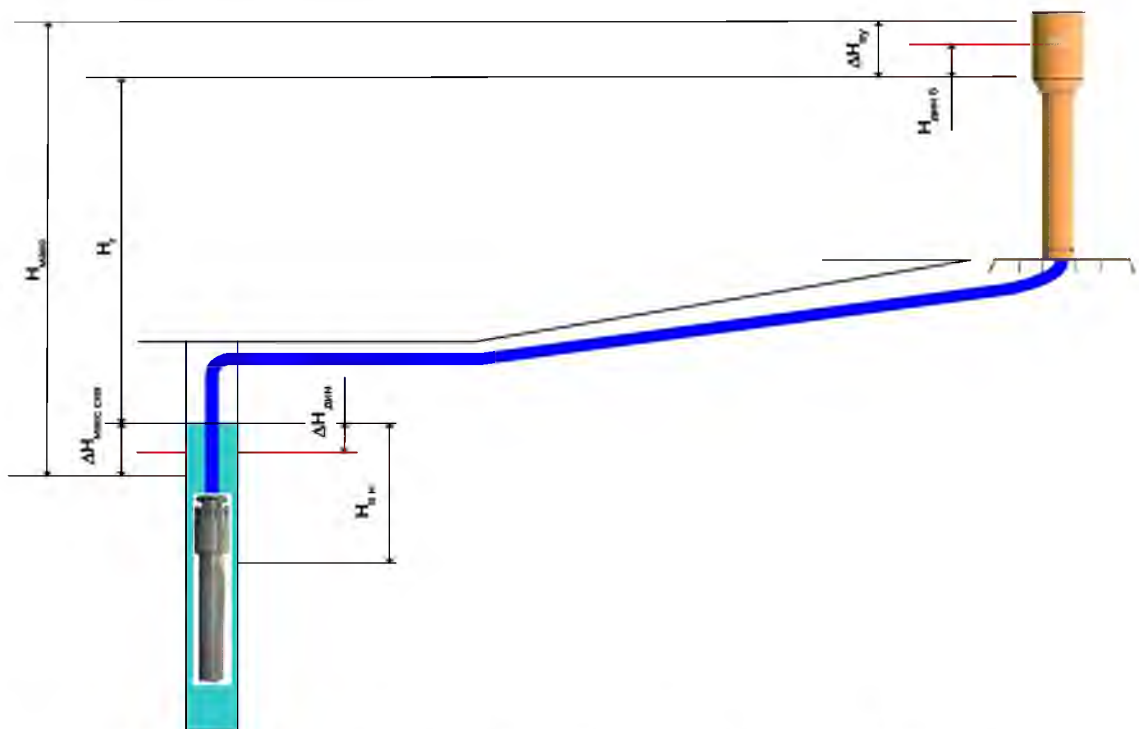


Рисунок 2.39 - Технологическая схема водоснабжающей установки

При работе насосного агрегата уровень в приёмном резервуаре изменяется от ВУ (верхнего уровня) в момент выключения до НУ (нижнего уровня) в момент включения. Динамика изменения уровня в приёмном резервуаре при работающем насосе также зависит от расхода воды. Следует отметить, что независимо от гидравлических параметров сети энергия, затрачиваемая насосным агрегатом для перекачивания одного и того же объёма воды, в повторно-кратковременном режиме при НУ ниже, чем при ВУ. Также энергия зависит от уровня воды в скважине (дебет скважины), чем он выше, тем меньше затраты потребляемой энергии.

Динамические потери пропорциональны квадрату производительности насоса Q_n . Очевидно, что при равенстве $Q_n = Q_{ж}$ динамические потери будут минимально возможными. При снижении производительности насоса (путем регулирования частоты вращения) его развиваемый напор H_n уменьшается. Таким образом, необходимую энергию для перекачивания жидкости можно снизить за счёт снижения производительности насоса Q_n до величины расхода жидкости из резервуара $Q_{ж}$. Насосный агрегат при этом

будет работать постоянно с регулируемой производительностью $Q^p_n = Q_{ж}$, уровень в приёмной ёмкости будет постоянным, равным $H_{пост\ б}$. При этом развиваемый напор насоса будет меньше на величину разницы динамических потерь при производительности Q^p_n и Q_n . В качестве регулятора частоты вращения насоса применяют частотные преобразователи.

Затрачиваемую энергию для перекачивания воды при частотном регулировании можно определить:

$$W^p_{под} = H^p_n \cdot Q^p_n \cdot g \cdot T = (H_{г} + H^p_{динб} + H^p_{динв} - H^p_{ен}) \cdot Q^p_n \cdot g \cdot T. (2.88)$$

При оценке эффективности частотного регулирования необходимо учитывать гидравлические характеристики сети и расход жидкости. Сравним выражения затрачиваемых энергий на перекачивание воды при повторно-кратковременном и частотном режимах, то есть выражения (2.87) и (2.88), соответственно. Запишем отношение затрачиваемых энергий на подачу воды, соответствующих обоим режимам:

$$\begin{aligned} \frac{W_{под}}{W^p_{под}} &= \frac{H_n \cdot Q_n \cdot g \cdot ПВ \cdot T}{H^p_n \cdot Q^p_n \cdot g \cdot T} = \frac{(H_{г} + H_{динб} + H_{динв} - H_{ен}) \cdot Q_n \cdot g \cdot ПВ}{(H_{г} + H^p_{динб} + H^p_{динв} - H^p_{ен}) \cdot Q^p_n \cdot g} = \\ &= \frac{H_{г} + H_{динб} + H_{динв} - H_{ен}}{H_{г} + H^p_{динб} + H^p_{динв} - H^p_{ен}} \end{aligned} \quad (2.89)$$

Выражение (2.89) показывает, во сколько раз применение частотного регулирования будет выгодней повторно-кратковременного режима работы. Разница между динамическими составляющими потерь давления является квадратичной функцией от расхода. Следовательно, экономия энергии будет тем больше, чем меньше будет подача насоса при частотном регулировании,

то есть чем меньше отношение $\frac{Q^p_n}{Q_{ж}}$. Кроме того, при частотном управлении

подача насоса меньше чем при максимальном режиме (без регулирования) и при ограниченном дебете скважины уровень воды в ней будет выше и потребление энергии меньше. В башне при частотном регулировании может поддерживаться любой уровень от НУ до ВУ, и, как видно из (2.89), наиболее экономичный режим если $H_{динб}$ будет минимальным, то есть при НУ. Конечно при больших глубинах погружения насоса составляющие $H_{динб}$ и $H_{ен}$ очень малы по сравнению с геодезической составляющей $H_{г}$ и динамическими потерями в сети $H_{динв}$. Поэтому основная экономия энергии будет определяться динамическими потерями в сети.

Общее давление, которое создается в сети в двух вариантах работы системы можно представить следующим образом:

$$H_{\text{общ}} = H_n + H_{\text{вн}}, \quad (2.90)$$

$$H^P_{\text{общ}} = H^P_n + H^P_{\text{вн}}. \quad (2.91)$$

Рассмотрим работу насоса совместно с гидравлической сетью (рис.2.40). Рабочая точка А соответствует повторно-кратковременному режиму работы насоса и одновременно представляет собой частный случай частотного режима при номинальной производительности. При снижении производительности насоса до значения Q^P_n рабочая точка смещается влево и вниз по характеристике сети. Как видно из графика, смещение рабочей точки по вертикали связано с динамическими потерями.

С учётом кпд насоса полную энергию насосного агрегата в повторно-кратковременном режиме и в режиме частотного регулирования можно представить как:

$$W_{\text{под}} = \frac{H_n \cdot Q_n \cdot g \cdot ПВ \cdot T}{\eta_n}, \quad (2.92)$$

$$W^P_{\text{под}} = \frac{H^P_n \cdot Q^P_n \cdot g \cdot T}{\eta^P_n}. \quad (2.93)$$

где η_n — кпд насоса в повторно-кратковременном режиме при подаче Q_n частоте вращения $n_{\text{вых}}$; η^P_n — кпд насоса в режиме частотного регулирования при подаче Q^P_n частоте вращения $n'_{\text{вых}}$.

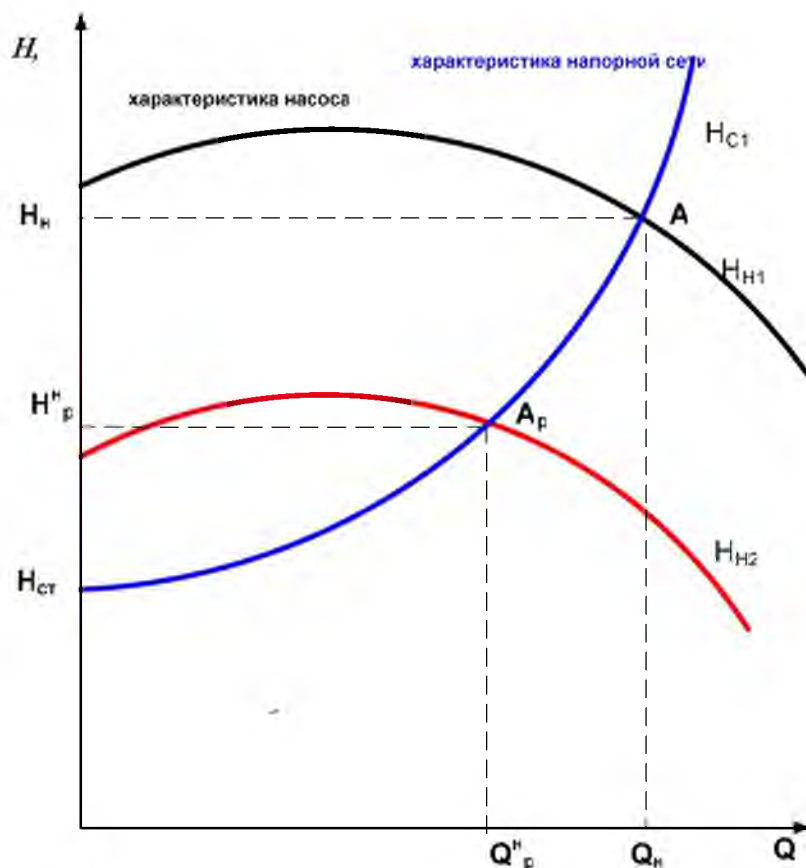


Рисунок 2.40 - QH характеристики насоса и гидравлической сети

Для оценки экономии энергии возьмем отношение полученных выражений (2.92) и (2.93):

$$\frac{W_{\text{под}}}{W_{\text{под}}^p} = \frac{H_n \cdot Q_n \cdot g \cdot ПВ \cdot T}{H_n^p \cdot Q_n^p \cdot g \cdot T} \cdot \frac{\eta_n^p}{\eta_n} = \frac{H_n}{H_n^p} \cdot \frac{\eta_n^p}{\eta_n} \quad (2.94)$$

Как видно из выражения (2.94), экономия энергии зависит от отношения напоров и значений кпд насоса в различных режимах. Отношение напоров, развиваемых насосом, характеризует экономию, достигаемую за счёт снижения гидравлических потерь.

Как видно из графика (рис.2.41), при снижении подачи уменьшается напор насоса, а рабочая точка смещается по характеристике сети из точки A_1 в точку A_2 (для подачи Q_2) и в точку A_3 (для подачи Q_3). При этом коэффициент полезного действия насоса снижается.

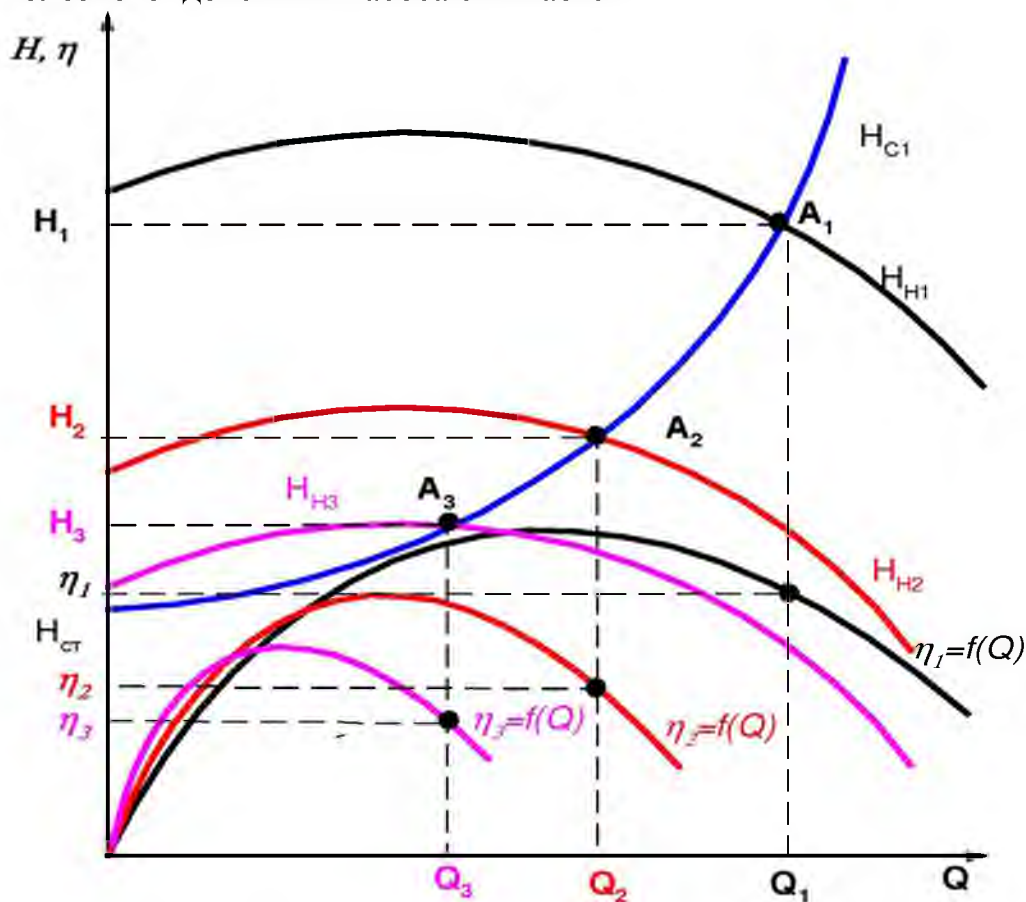
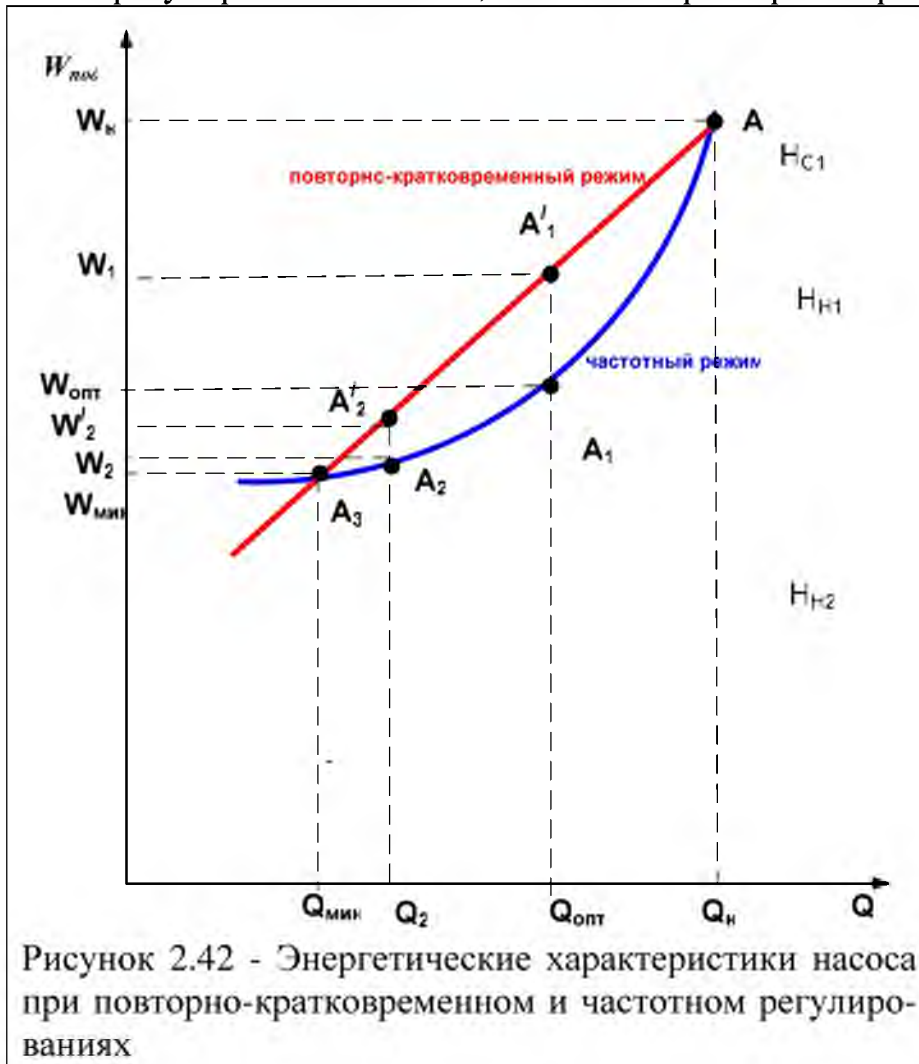


Рисунок 2.41 - QH характеристики насоса, гидравлической сети и зависимость $\eta=f(Q)$.

Рассмотрим, как изменяется соотношение затрачиваемых энергий при изменении подачи насоса с учётом снижения кпд насосного агрегата в режиме частотного регулирования (рис. 2.42). Рабочая точка A на графике соответствует ситуации, когда расход из башни равен производительности насоса при повторно-кратковременном режиме (насос работает постоянно). При частотном регулировании затрачиваемая энергия изменяется нелинейно: с одной стороны, при снижении расхода $Q_{жс}$ и понижении подачи на-

соса снижаются динамические потери сети, с другой стороны – увеличиваются потери в насосе, то есть падает его коэффициент полезного действия. При определённом расходе и подачи насоса $Q_{мин}$ значения затрачиваемой энергии для обоих режимов становятся равными (точка A_3). При подаче насоса меньше $Q_{мин}$, затрачиваемая энергия в режиме частотного регулирования больше, чем в повторно-кратковременном режиме.



Следовательно, применение частотного регулирования эффективно в интервале от Q_n до $Q_{мин}$. Максимальная экономия энергии при частотном регулировании, по сравнению с повторно-кратковременным режимом, будет при некотором расходе и соответствующей подаче $Q_{опт}$. Снижение экономии энергии наблюдается при подаче меньше, чем $Q_{опт}$, за счёт уменьшения коэффициента полезного действия

насоса и при подаче больше, чем $Q_{опт}$, за счёт изменения динамических потерь. В то же время расход воды из башни изменяется во времени и не соответствует оптимальной подаче насоса $Q_{опт}$. Если подача насоса больше оптимальной (при соответствующем расходе из башни) необходимо поддерживать режим $Q_n = Q_{жк}$, и держать уровень воды в башне на нижней отметке. В случае если подача насоса меньше оптимальной, то более экономичным режимом будет частотное регулирование при $Q_n \geq Q_{жк}$ и при этом насос будет также работать в повторно-кратковременном режиме. Таким образом, при установке частотного преобразователя в состав электропривода насосного агрегата башенного типа нерационально, с энергетической точки зрения, полностью отказываться от башни.

Можно получить более точную картину рисунка 2.42. Выразим значение энергетической характеристики насоса в произвольном режиме через относительные единицы:

$$W_i = W_n \cdot w_i, \quad (2.95)$$

где W_n - значение затраченной энергии в номинальном режиме в именованных единицах; w_i - значение затраченной энергии в произвольном режиме в относительных единицах.

В свою очередь затраченную энергию в относительных единицах можно выразить через относительные значения подачи насоса, напора и кпд;

$$w_i = \frac{h_i \cdot q_i}{\eta_i^*}. \quad (2.96)$$

Известно, что напор пропорционален квадрату подачи и частоты вращения ротора насоса. Также в литературе есть аппроксимированная кривая зависимости кпд насоса от частоты вращения. Учитывая линейную зависимость частоты вращения и производительности можно получить следующее выражение:

$$w = \frac{q^2 \cdot q}{0,4q + 0,6}. \quad (2.97)$$

Теперь можно построить графики зависимости относительного значения потребляемой энергии в различных режимах (повторно-кратковременном и частотном) от относительного значения производительности насоса (рис.2.43).

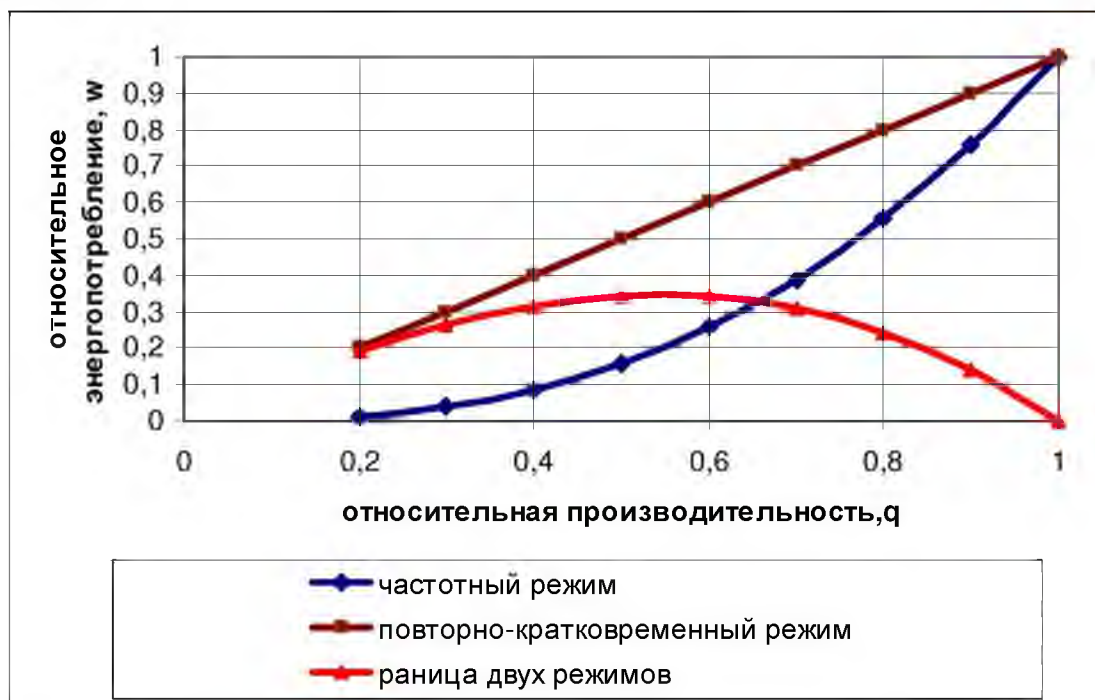


Рисунок 2.43– Графики относительного энергопотребления для различных режимов работы насосной установки

Вычтем из графика повторно-кратковременного режима частотный график (рис.2.43). Как видно он имеет максимум. Для определения оптимума возьмем первую производную по уравнению полученной функции и приравняем ее к нулю:

$$y = \left[q - \frac{q^2 \cdot q}{0,4q + 0,6} \right]' = \left[\frac{0,4q^2 + 0,6q - q^3}{0,4q + 0,6} \right]' =$$

$$= -0,8q^3 - 1,64q^2 + 0,48q + 0,36 = 0 \quad (2.98)$$

Решение кубического уравнения имеет три корня: -2,23; 0,55; -0,37. Так как отрицательные значения корней для нас не имеют смысла, то принимаем единственное значение $q_{opt} = 0,55$. Эту точку можно увидеть и на графике (рис.2.43). Таким образом, при снижении частоты вращения и соответственно производительности насоса до 0,55 номинального значения будет наблюдаться максимальный эффект в энергосбережении. Это подтверждается условием выбора насоса для башенных систем – рекомендуется двукратное значения производительности насоса по сравнению с максимальным расходом. Следовательно, при снижении производительности насоса вдвое, будет наблюдаться равенство подачи и расхода, а это, как и отмечалось ранее, приводит к наиболее рациональному режиму.

Кроме насоса в состав установки входит преобразователь частоты и электродвигатель и тогда более полную формулу относительного энергопотребления можно представить в виде:

$$w = \frac{h \cdot q}{\eta_n^* \cdot \eta_{пч}^* \cdot \eta_{элд}^*} \quad (2.99)$$

где η_n^* - относительный КПД насоса; $\eta_{пч}^*$ - относительный КПД преобразователя частоты; $\eta_{элд}^*$ - относительный КПД электродвигателя.

В литературе имеются аппроксимирующие кривые для преобразователя частоты:

$$\eta_{пч}^* = -0,8q^2 + 1,4q + 0,4, \quad (2.100)$$

и электродвигателя

$$\eta_{элд}^* = -0,46q^2 + 0,75q + 0,71. \quad (2.101)$$

Подставим полученные выражения в формулу (2.99)

$$w = \frac{q^3}{(0,4q + 0,6) \cdot (-0,8q^2 + 1,4q + 0,4) \cdot (-0,46q^2 + 0,75q + 0,71)}. \quad (2.102)$$

По аналогии с выражением (2.98) можно получить уравнение графика разности выражений для повторно-кратковременного и частотного режима работы:

$$y = q - \frac{q^3}{(0,4q + 0,6) \cdot (-0,8q^2 + 1,4q + 0,4) \cdot (-0,46q^2 + 0,75q + 0,71)}. \quad (2.103)$$

Для определения точки максимума необходимо взять первую производную данного выражения, что сделать затруднительно. Однако построенные графики (рис.2.44) показывают, что оптимум практически сместился только до значения равного 0,5. Однако, близкое к оптимальному значения q расширяется от 0,4 до 0,6.

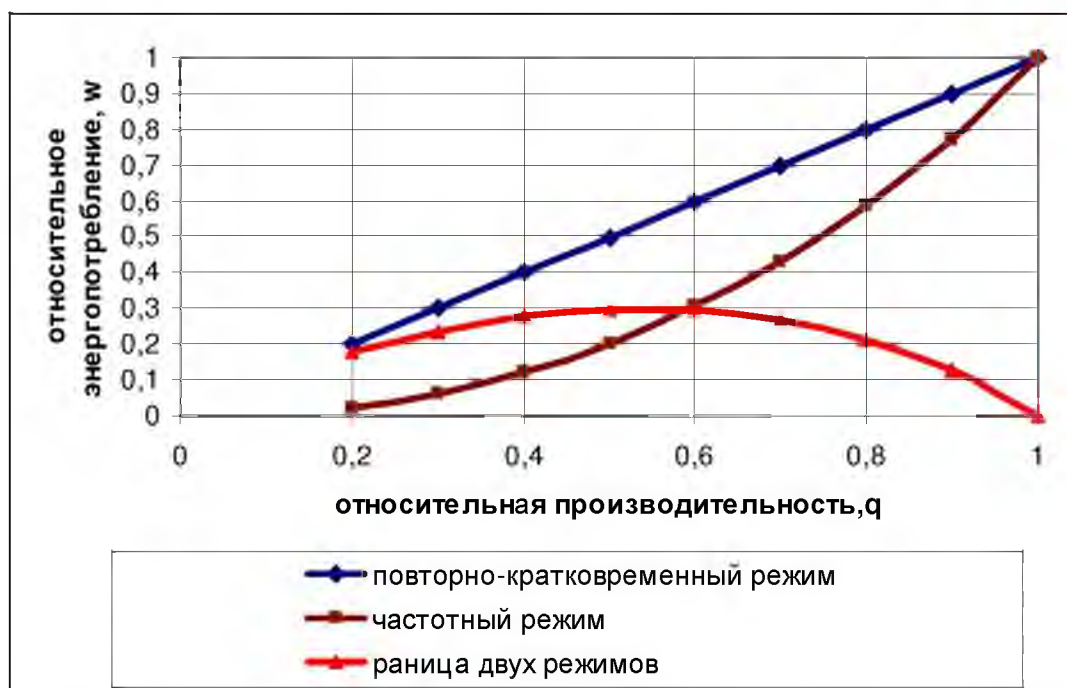


Рисунок 2.44 – Графики относительного энергопотребления для различных режимов работы насосной установки с учетом КПД преобразователя частоты и электродвигателя

Таким образом, наиболее оптимальный режим создается при снижении производительности насоса путем уменьшения частоты вращения, до 0,5 от номинального значения.

Гришин А.П. дает несколько другое уравнение зависимости КПД насоса от частоты вращения:

$$\eta_n = 2q^2 - q. \quad (2.104)$$

Можно получить и другое выражение формулы (2.103);

$$y = q - \frac{q^3}{(2q^2 - q) \cdot (-0,8q^2 + 1,4q + 0,4) \cdot (-0,46q^2 + 0,75q + 0,71)}. \quad (2.105)$$

Соответствующие графики представлены на рисунке 2.45

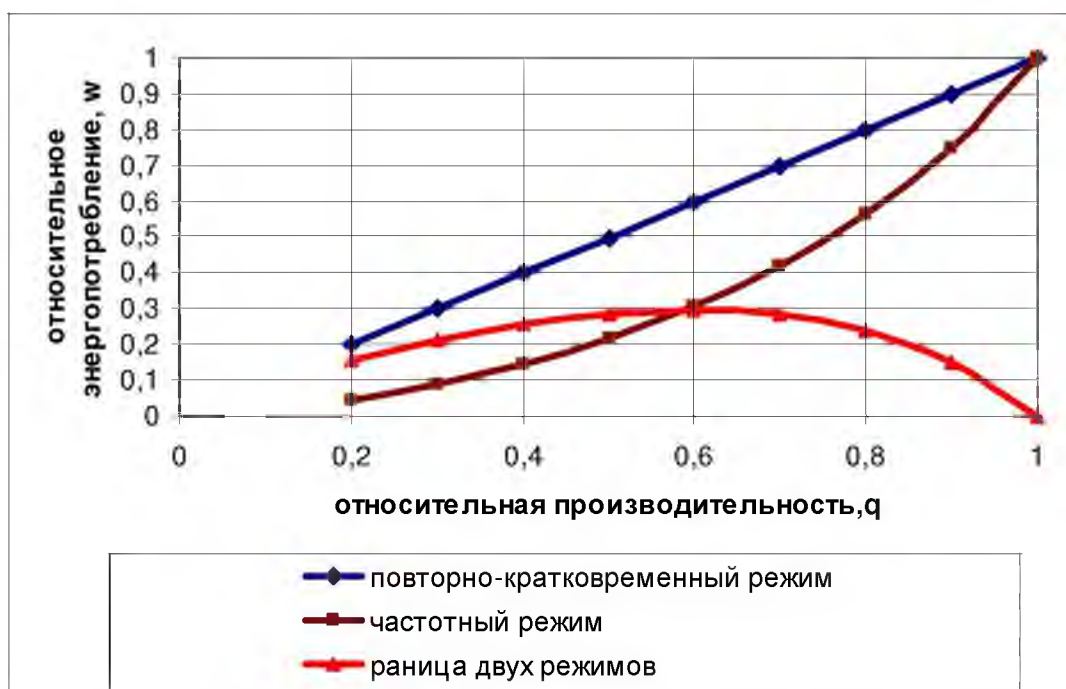


Рисунок 2.45 - Графики относительного энергопотребления для различных режимов работы насосной установки

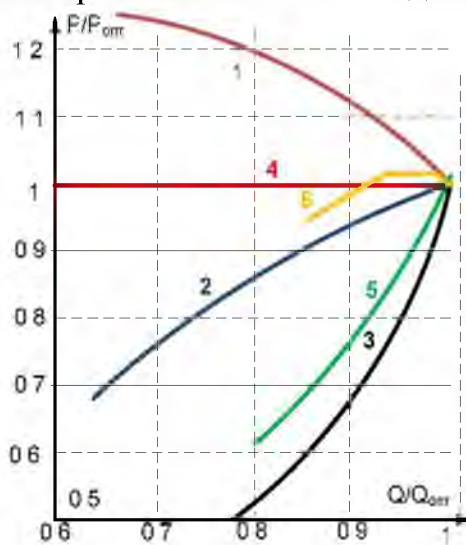
Из графиков (рис.2.45) видно, что оптимальное значение соответствует относительной производительности равной 0,6. В тоже время интервал близких значений к оптимуму находится от 0,45 до 0,7. Следовательно, в этом интервале и будет находиться наиболее эффективный режим работы насоса при управлении от преобразователя частоты.

В связи со значительной потребляемой мощностью системами орошения и мелиорации (мощность электродвигателей достигает единиц мегаватт) вопрос сокращения энергопотребления является очень актуальным. В себестоимости каждого кубического метра перекаченной воды 74% приходится на электроэнергию, 9% - на подготовку насосных станций к поливному режиму, 16% - на уплату НДС и 1% - на зарплату машинистам насосных станций. Режим работы мелиоративных насосных станций диктуется графиком водоподдачи, имеющим значительные колебания во времени и течение поливного сезона, а иногда и в течение суток. Этим вызывается необходимость регулирования подачи насосной станции. В связи с тем, что рабочая точка системы определяется характеристиками как насоса, так и сети, то регулировать подачу можно за счет изменения характеристики сети (количественный метод) или за счет изменения характеристики насоса (качественный метод). К количественным способам регулирования лопастных насосов относятся: дросселирование напорной стороны насоса; дросселирование всасывающей стороны насоса; перепуск (байпасирование); сброс части поднятого количества воды в нижний бьеф; впуск воздуха во всасывающую трубу насоса; авторегулирование (изменение статической составляющей напора); комбинацией включения параллельно/последовательно работающих ступеней в многосекционных насосах; применение баков – гидроаккумуляторов. На крупных насосных станциях применяют способы регулиро-

вания, которые также можно отнести к количественным способам: применение ячеистого успокоителя в аванкамере насосной станции; использование перепускного трубопровода, соединяющего нитки напорных коммуникаций крупных насосных станций; изменение числа параллельно работающих насосов (применение разменных агрегатов).

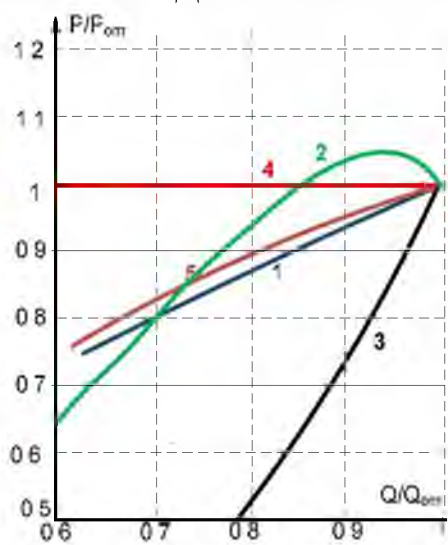
К качественным способам регулирования относятся: изменение частоты вращения рабочего колеса; изменение угла установки лопастей направляющего аппарата на входе в рабочее колесо насоса; регулировка угла установки лопастей направляющего аппарата на выходе из рабочего колеса насоса; изменение ширины рабочего колеса; изменение степени открытия поперечного сечения каналов рабочего колеса; изменение угла установки лопастей рабочего колеса; саморегулирование; обточка рабочего колеса. К комбинированным способам регулирования относятся: саморегулирование с перепуском; перепуск по малому контуру с закруткой потока перед рабочим колесом; дросселирование с перепуском; перепуск с подкруткой; дросселирование и изменение частоты вращения рабочего колеса; комбинация лопастного и водоструйного насосов.

На рисунке 2.46 приводятся зависимости мощности от подачи для осевого жестколопастного насоса ОГ 8-25, регулируемого различными способами. На рисунках 2.47, 2.48 приведены аналогичные зависимости соответственно для центробежного К90-35 и диагонального Д60-42 насосов.



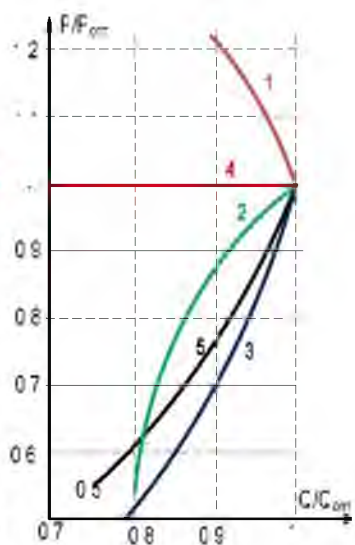
1 – дросселированием; 2 – перепуском с подкруткой; 3 – изменением частоты вращения рабочего колеса; 4 – сброса; 5 – поворота лопастей рабочего колеса; 6 – впуска воздуха

Рисунок 2.46- Зависимость мощности, потребляемой из сети, от подачи насоса ОГ 8-25 при регулировании



1 – дросселированием; 2 – перепуском с подкруткой; 3 – изменением частоты вращения рабочего колеса; 4 – сброса; 5 – направляющим аппаратом на входе в рабочее колесо.

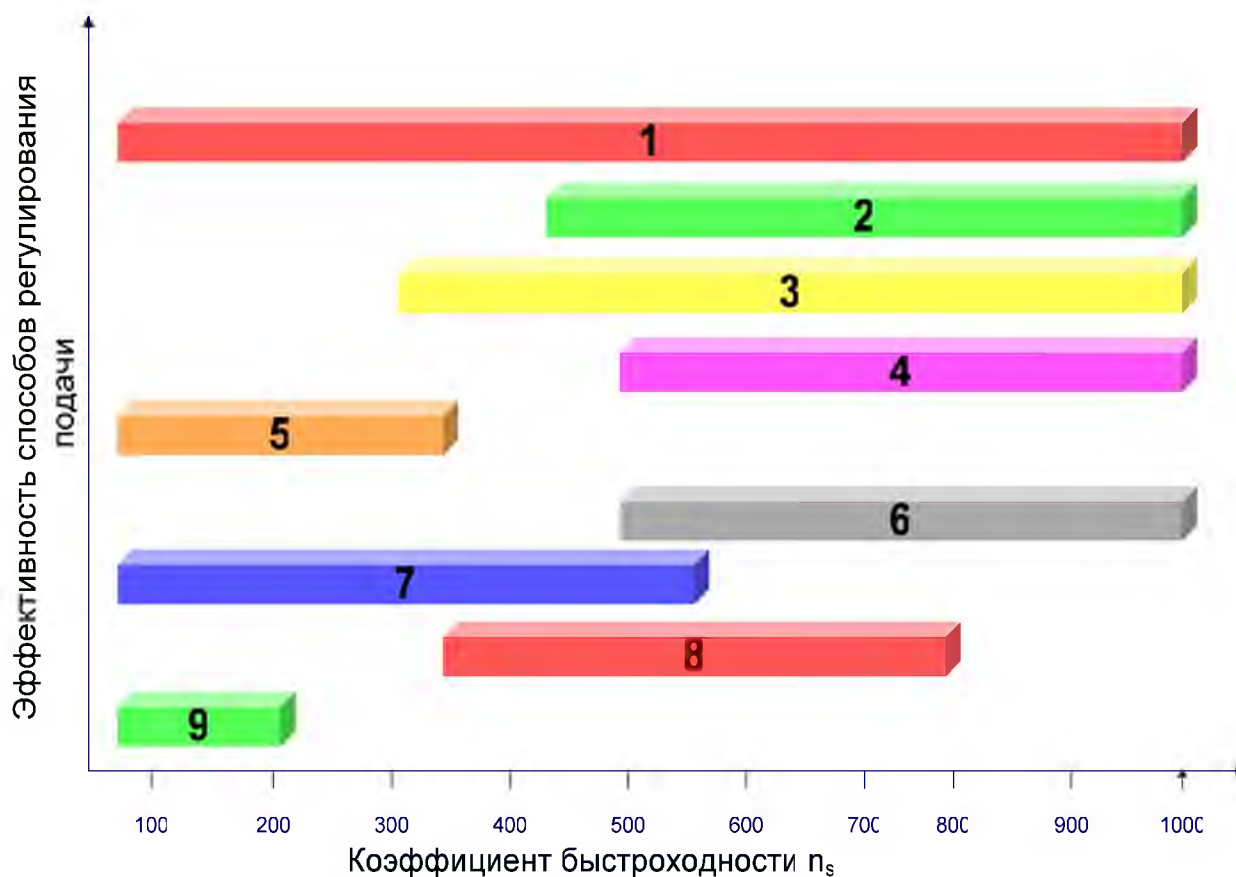
Рисунок 2.47 - Зависимость мощности, потребляемой из энергосети, от подачи насоса К90-35 при регулировании



1 – дросселированием; 2 – перепуском с подкруткой; 3 – изменением частоты вращения рабочего колеса; 4 – сброса; 5 – поворота лопастей рабочего колеса

Рисунок 2.48 - Зависимость потребляемой мощности от подачи насоса Д60-42 при регулировании

Применение того или иного способа регулирования основано на многих факторах: капиталовложения, уровень квалификации персонала, эксплуатационные расходы, необходимость реконструкции существующей системы и т.д. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо произвести оценку эффективности предлагаемых мероприятий. На рисунке 2.49 показаны области рационального использования различных способов регулирования подачи лопастных насосов.



1 – изменение частоты вращения рабочего колеса; 2 – поворот лопастей рабочего колеса; 3 – перепуск с подкруткой; 4 – перепуск с эжектированием; 5 – дросселирование; 6 – сброс в нижний бьеф; 7 – направляющий аппарат на входе в рабочее колесо; 8 – впуск воздуха; 9 – изменение ширины рабочего колеса

Рисунок 2.49 - Области рационального использования способов регулирования подачи лопастных насосов

Из рисунка 2.49 видно, что частотный способ можно использовать на всем диапазоне коэффициента быстроходности. Однако необходимо учитывать, что мощности электрических машин значительные и часто эти электродвигатели имеют повышенное напряжение питания. При таких признаках стоимость частотного преобразователя будет иметь очень большое значение. Поэтому необходимо делать в каждом случае технико-экономическую оценку, проводимой модернизации. Кроме того, могут быть экономически выгодными комбинированные варианты регулирования. Также нужно обращать внимание на тенденцию снижения цены на частотные преобразователи и быстрое развитие электроники и цифровой техники.

2.6. Способы автоматизации насосных установок

Кроме аппаратуры общего назначения – контакторов, пускателей, промежуточных реле, универсальных переключателей и т. д. в системах автоматизации насосных установок используют специальные аппараты управления и контроля: реле контроля уровня жидкости, струйные реле, реле давления, реле контроля заливки центробежных насосов. В качестве реле контроля уровня применяют поплавковые реле, электродные реле уровня, манометры различных типов, датчики емкостного и индуктивного типов (рис.2.50, 2.51).

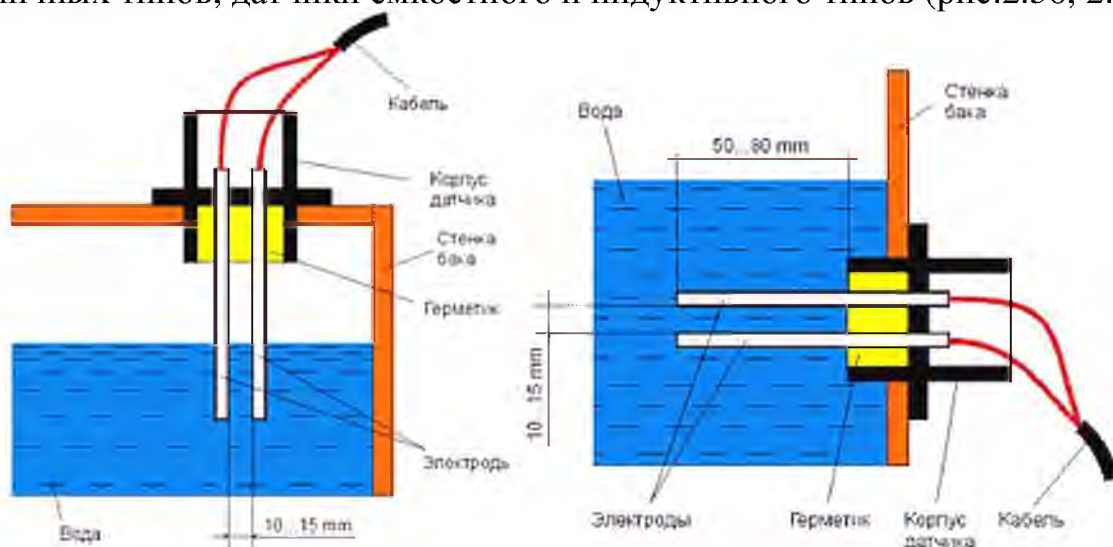


Рисунок 2.50 – Структурная схема установки электродных датчиков уровня
Датчик верхнего уровня

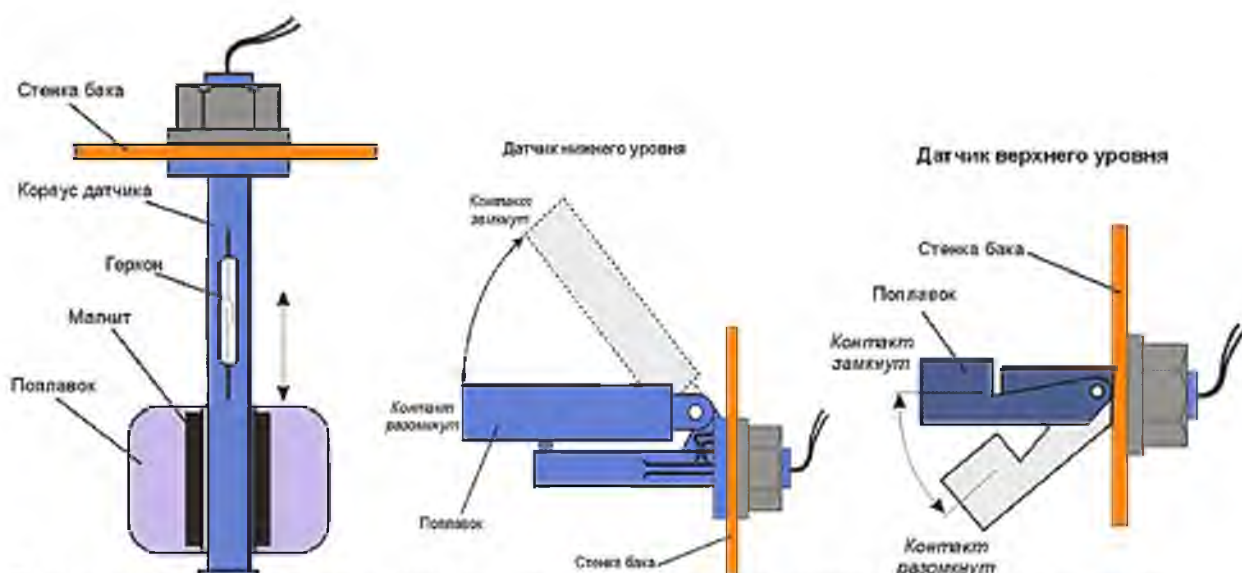


Рисунок 2.51 - Структурная схема установки датчиков поплавкового типа

Станции управления насосами могут использоваться и для откачки дренажных вод. На рисунке 2.52 приведена схема автоматического управления насосным агрегатом,

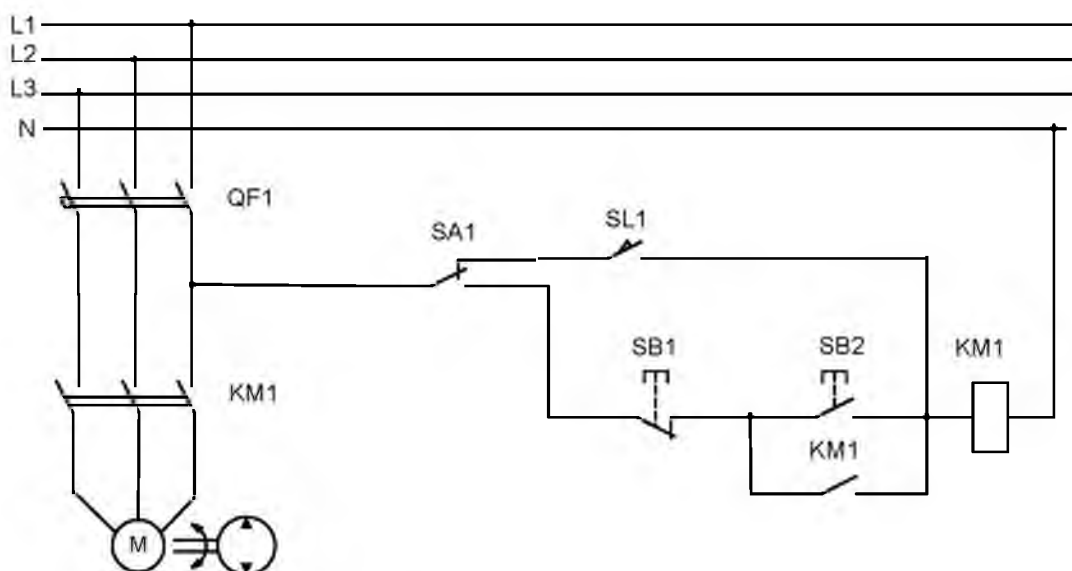


Рисунок 2.52 - Схема автоматического управления откачивающим насосом

Работа схемы основана на принципе пуска и остановки насосов в зависимости от уровня жидкости в контролируемом резервуаре, из которого производится откачка. Для контроля заполнения бака жидкостью применяется электродный или поплавковый датчики уровня (рис.2.53).



Рисунок 2.53– Установка датчиков при откачке дренажных вод.

На рисунке 2.54 приведена схема автоматизации управления погружным насосом по уровню воды в баке водонапорной башни. Режим работы схемы автоматизации насосом задается переключателем SA1. При установке его в положение «А» и включении автоматического выключателя QF подается напряжение на электрическую схему управления. Если уровень воды в напорном баке находится ниже электрода нижнего уровня датчика ДУ, то контакты SL1 и SL2 в схеме разомкнуты, реле KV1 обесточено и его контакты в цепи катушки магнитного пускателя KM замкнуты. В этом случае магнитный пускатель включит электродвигатель насоса, одновременно погаснет сигнальная лампа HL1 и загорится лампа HL2. Насос будет подавать воду в напорный бак. Когда вода заполнит пространство между электродом нижнего уровня SL2 и корпусом датчика, подключенным к нулевому проводу, цепь SL2 замкнется, но реле KV1 не включится, так как его контакты, включенные последовательно с SL2, разомкнуты. Когда вода достигнет электрода

верхнего уровня, цепь SL1 замкнется, реле KV1 включится и, разомкнув свои контакты в цепи катушки магнитного пускателя KM, отключит последний, а замкнув замыкающие контакты, станет на самоудержание через цепь датчика SL2. Электродвигатель насоса отключится, погаснет сигнальная лампа HL2 и загорится лампа HL1. Повторное включение электродвигателя насоса произойдет при понижении уровня воды до положения, когда разомкнется цепь SL2 и реле KV1 будет отключено. Включение насоса в любом режиме возможно только в том случае, если замкнута цепь датчика «сухого хода» ДСХ (SL3), контролирующего уровень воды в скважине.

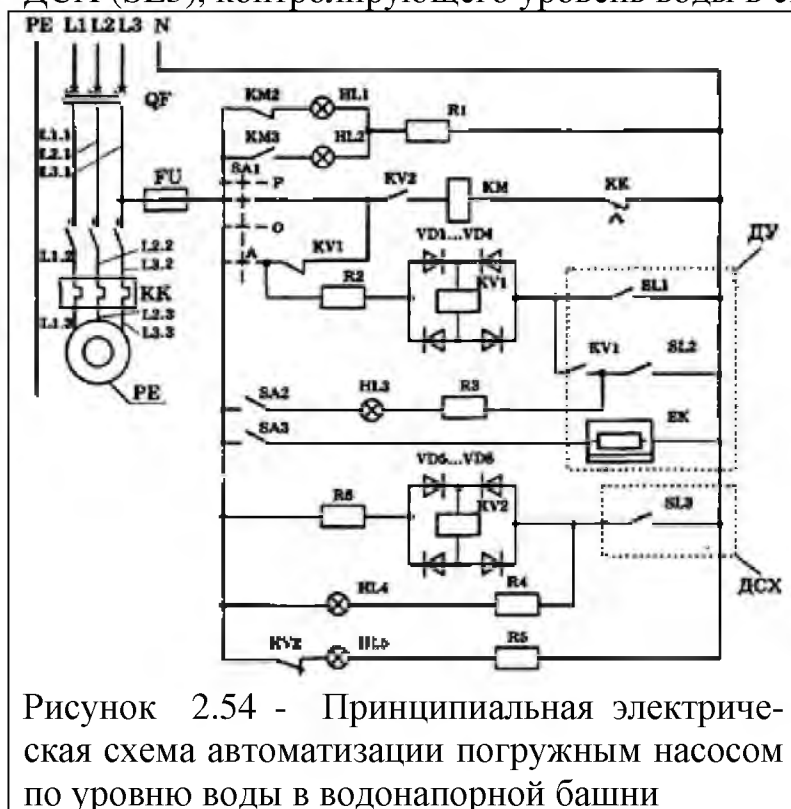


Рисунок 2.54 - Принципиальная электрическая схема автоматизации погружным насосом по уровню воды в водонапорной башни

Станция управления "Высота" - комплектное устройство защиты управления центробежными погружными электронасосами типа ЭЦВ с двигателем мощностью от 5,5 и до 90 кВт (рис.2.55). В комплект поставки станций управления «Высота» входят датчик уровня (ДУ) и датчик сухого хода (ДСХ). Станция управления выполняет следующие функции: автоматический пуск и остановка электронасоса в зависимости от уровня воды в резервуаре; пуск и остановка электронасоса в ручном режиме; дистанционный пуск и остановка насоса; отключение электронасоса при коротких замыканиях, длительных перегрузках, а также при перегрузках, возникающих при обрыве одной из фаз или асимметрии питающего напряжения; запрет автоматического включения электронасоса при исчезновении питающего напряжения одной из фаз и снятие запрета на включение при восстановлении напряжения; автоматическое отключение электронасоса при понижении уровня воды в скважине ниже контролируемого уровня (защита от «сухого хода»); световую сигнализацию; контроль нагрузки в одной из фаз.

Для управления работой насосной установкой и защитой электродвигателей от аварийных режимов работы выпускаются и другие станции управления. На сегодня в эксплуатации находятся как станции прошлых лет выпуска, так и новые, разработанные в последние годы. До недавнего времени самой распространенной системой управления погружными насосами была серии САУНА, принципиальная схема этой системы показана на рисунке 2.56, которая хорошо зарекомендовала себя при работе в условиях сельскохозяйственного производства.

Для управления работой насосной установкой и защитой электродвигателей от аварийных режимов работы выпускаются и другие станции управления. На сегодня в эксплуатации находятся как станции прошлых лет выпуска, так и новые, разработанные в последние годы. До недавнего времени самой распространенной системой управления погружными насосами была серии САУНА, принципиальная схема этой системы показана на рисунке 2.56, которая хорошо зарекомендовала себя при работе в условиях сельскохозяйственного производства.

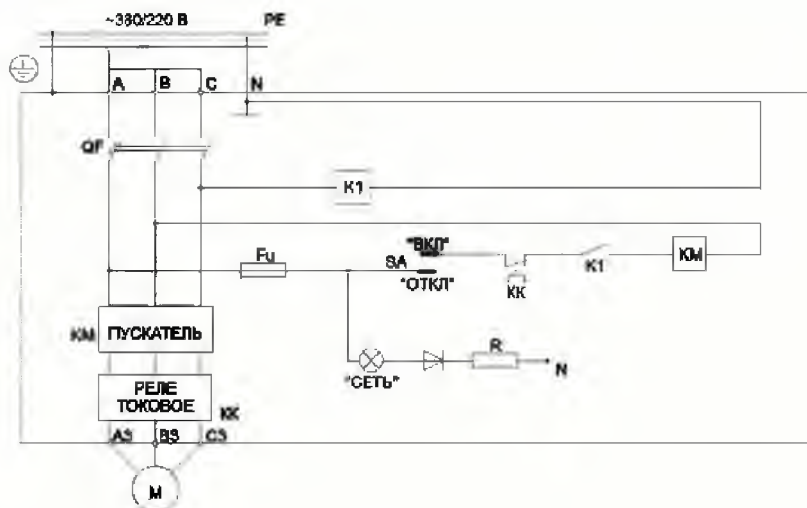


Рисунок 2.55– Внешний вид и электрическая схема станции «Высота»

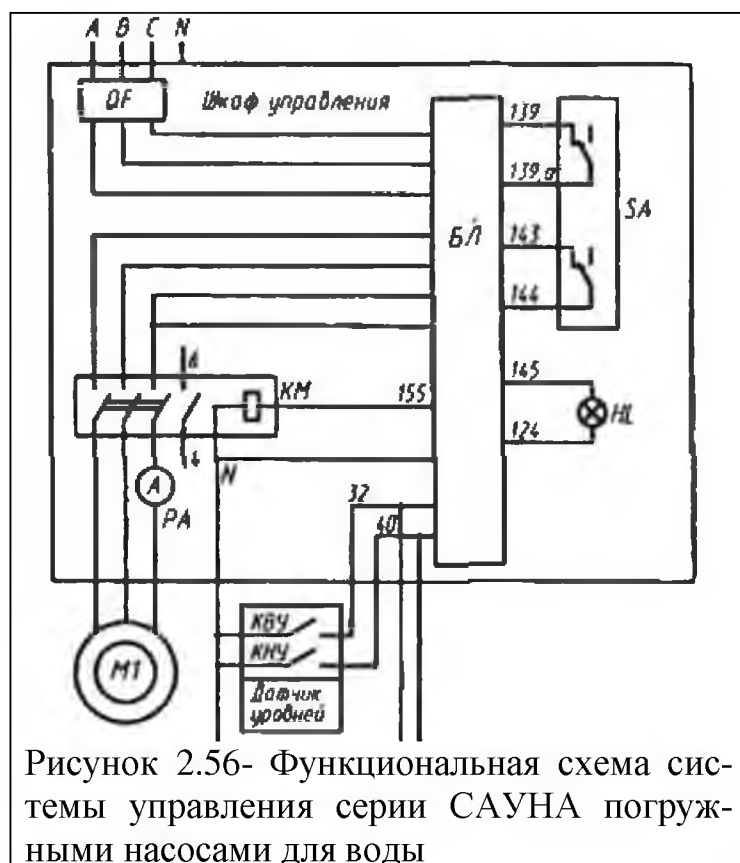


Рисунок 2.56- Функциональная схема системы управления серии САУНА погружными насосами для воды

Изображенный схеме блок логики БЛ осуществляет защиту от перегрузок по току и защиту от несимметрии напряжений, в том числе от обрыва фазы. Одним из недостатков блока контроля несимметричных режимов является сложение сигналов поступающих с трансформаторов тока. В случае работы станции при несимметрии напряжений и обрыве одной из фаз происходит пропадание тока в одной контролируемой линии и повышение в другой, что может привести к несотклучению электродвигателя.

Станции управления СУЗ предназначены для автоматического, дистанционного и местного управления трехфазными электродвигателями погружных насосов и защиты их от перегрузок по току и неполнофазного режима работы (рис.2.57).

Во всех режимах станция обеспечивает: отключение электродвигателя при обрыве любой из 3-х фаз; отключение электродвигателя при перегрузке по току (в одной или в трех фазах); световую сигнализацию перегрузки по току, неполнофазного режима работы и выключенного состояний; восстановление режима работы при подаче напряжения после его аварийного отключения; индикацию потребляемого тока в одной из фаз электродвигателя. Внутри ящика смонтированы автоматический выключатель, магнитный

пускатель, блок трансформаторов, блок логической обработки сигналов с элементами индикации и управления. Функциональная схема станции представлена на рисунке 2.58. Вся логика работы станции заключена в плате управления «Слог 3», основу которой составляет однокристалльный программный микроконтроллер. Одной из модификаций этого оборудования является станция «Лощман».

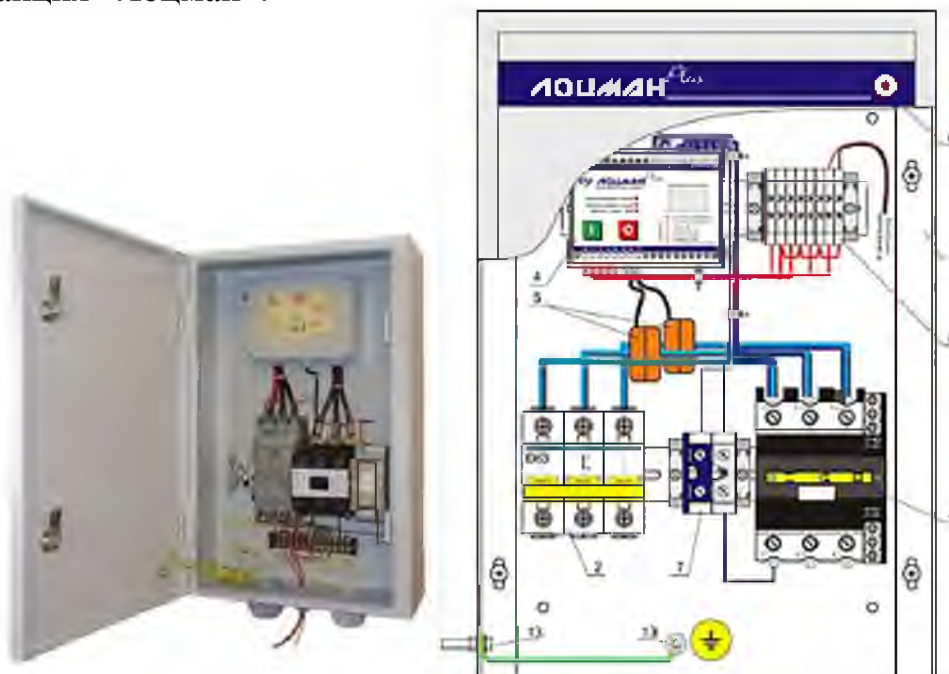


Рисунок 2.57 - Внешний вид станции управления СУЗ

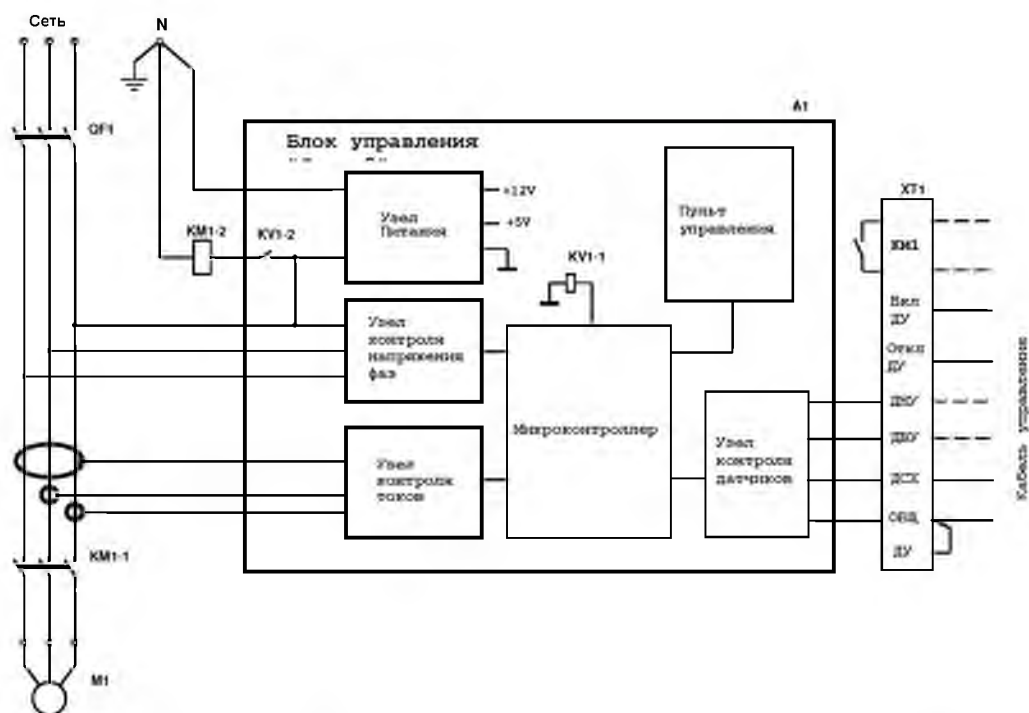


Рисунок 2.58. Функциональная схема станции СУЗ

В данной станции уже предусмотрено автоматическое восстановление работы после аварии, но контроль фазных напряжений осуществляется до подключения магнитного пускателя. Если судить по функциональной схеме,

то также будут наблюдаться несрабатывания системы в случае работы при несимметрии напряжений и недогрузке электродвигателя. Если возникнет обрыв фазы в результате пропадания контакта в силовой части магнитного пускателя, то необходимо запоминать такой аварийный режим и не включать электродвигатель.

Промышленность предлагает станцию САУ (рис.2.59). Станция автоматического управления САУ управляет работой и защищает от аварий погружной насос. САУ поддерживает заданный уровень жидкости, опираясь на анализ состояния датчика уровня закрепленного хомутом на корпусе насоса или на стенке ёмкости. В качестве датчика уровня используется поплавковый датчик с переключающим контактом. Станция автоматического управления САУ реализует следующие функции: автоматическое управление насосом; включение и отключение насоса при повышении или понижении уровня перекачиваемой жидкости; защиту насоса от работы в режиме «сухой» ход; защиту насоса при обрыве одной из фаз; защиту питающей сети от короткого замыкания в обмотке электродвигателя; защиту насоса при заклинивании рабочего колеса. Датчик обрыва фаз основан на фильтре напряжений.



Рисунок 2.59 - Внешний вид станции САУ

Основным недостатком управления по уровню является подверженность обмерзанию электродов датчиков уровня в зимнее время, из-за чего насос не выключается и происходит переливание воды из бака. Бывают случаи разрушения водонапорных башен из-за намерзания большой массы льда на их поверхности (рис.2.60).

Другой способ управления – по давлению. При управлении работой насоса по давлению электроконтактный манометр или реле давления можно смонтировать на напорном трубопроводе в помещении насосной. Это облегчает обслуживание датчиков и исключает воздействие низких температур.



Рисунок 2.60– Обмерзание датчиков и образование наледи на башне

На рисунке 2.61 приведена принципиальная электрическая схема управления башенной водоснабжающей (насосной) установкой по сигналам электроконтактного манометра.

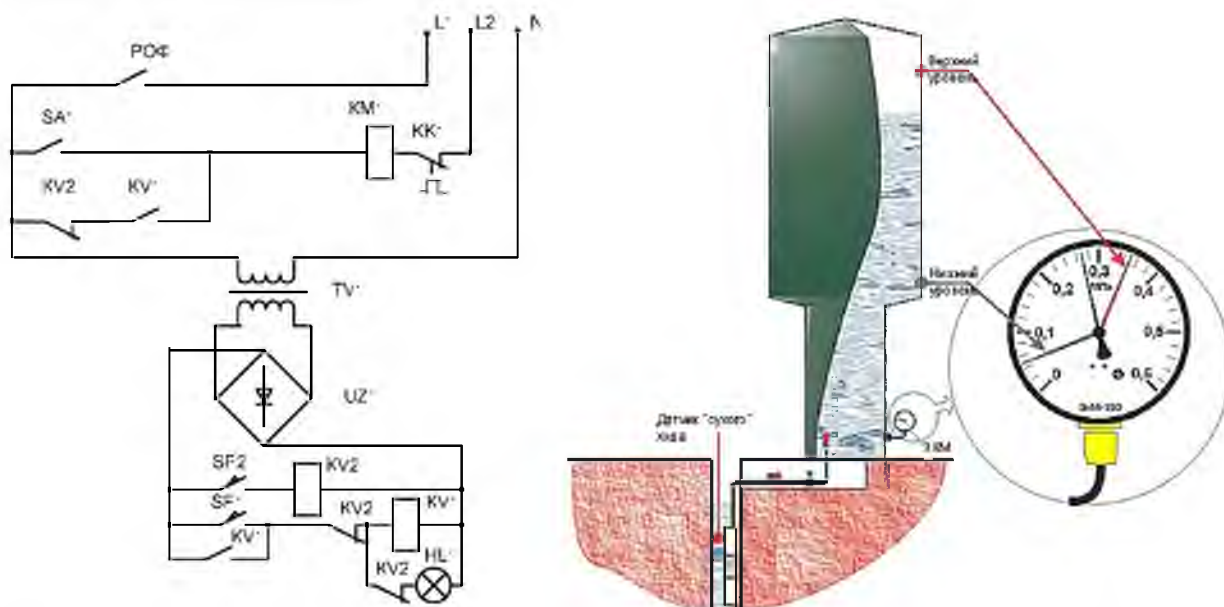


Рисунок 2.61 - Принципиальная электрическая схема управления башенной водоснабжающей установкой с электроконтактным манометром

При отсутствии воды в баке контакт манометра SP1 (нижний уровень) замкнут, а контакт SP2 (верхний уровень) разомкнут. Реле KV1 срабатывает, замыкая контакты KV1.1 и KV1.2, в результате чего включается магнитный пускатель KM, который подключает электронасос к трехфазной сети (на схеме силовые цепи не показаны). Насос подает воду в бак, давление растет до замыкания контакта манометра SP2, настроенного на верхний уровень воды. После замыкания контакта SP2 срабатывает реле KV2, которое размыкает контакты KV2.2 в цепи катушки реле KV1 и KV2.1 в цепи катушки магнитного пускателя KM; электродвигатель насоса отключается. При расходе воды из бака давление снижается, SP2 размыкается, отключая KV2, но включение насоса не происходит, так как контакт манометра SP1 разомкнут и катушка реле KV1 обесточена. Таким образом, включение насоса происходит, когда уровень воды в баке снизится до замыкания контакта манометра SP1. Питание цепей управления производится через понижающий трансформатор напряжением 12 В, что повышает безопасность обслуживания схемы управления и электроконтактного манометра. Для обеспечения работы насоса при неисправности электроконтактного манометра или схемы управления предназначен тумблер SA1. При его включении шунтируются управляющие контакты KV1.2, KV2.1 и катушка магнитного пускателя KM непосредственно подключается к сети напряжением 380 В. В разрыв фазы L1 в цепь управления включен контакт РОФ (реле обрыва фазы), который размыкается при неполнофазном или несимметричном режиме питающей сети. В этом случае цепь катушки KM разрывается и насос автоматически отключается до уст-

нения повреждения. Защита силовых цепей в данной схеме от перегрузок и коротких замыканий осуществляется автоматическим выключателем.

На рисунке 2.62 приведена схема автоматизации водонасосной установки, которая содержит электронасосный агрегат 7 погружного типа, размещенный в скважине 6. В напорном трубопроводе установлены обратный клапан 5 и расходомер 4. Насосная установка имеет напорный бак 1 (водонапорная башня или воздушно-водяной котел) и датчики давления (или уровня) 2, 3, причем датчик 2 реагирует на верхнее давление (уровень) в баке, а датчик 3 — на нижнее давление (уровень) в баке. Управление насосной станцией обеспечивает блок управления 8.

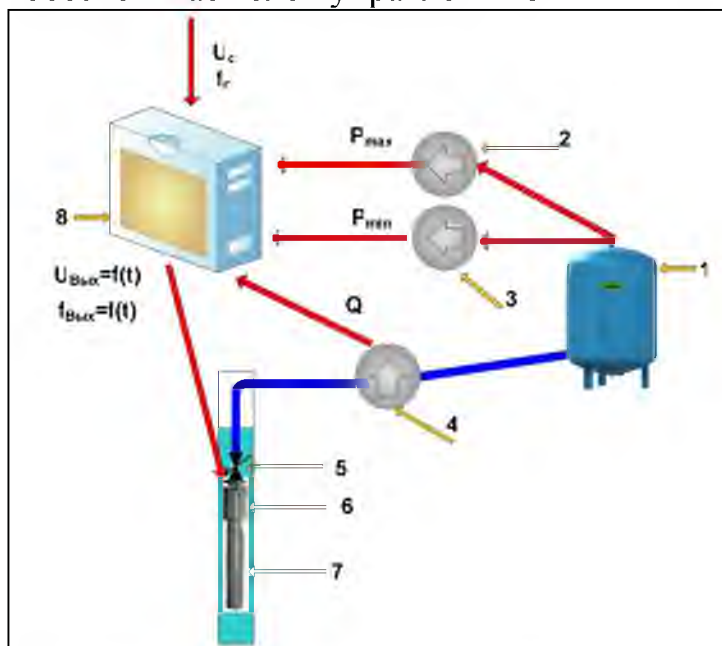


Рисунок 2.62 - Схема автоматизации водонасосной установки с частотно-регулируемым электроприводом

Управление насосной установкой происходит следующим образом. Предположим, что насосный агрегат отключен, а давление в напорном баке уменьшается и становится ниже P_{min} . В этом случае от датчика поступает сигнал на включение электронасосного агрегата. Происходит его запуск путем плавного увеличения частоты тока f , питающего электродвигатель насосного агрегата. Когда частота вращения насосного агрегата достигнет заданного значения, насос выйдет на рабочий режим. Программированием режима работы частотного преобразователя

можно обеспечить нужную интенсивность разбега насоса, его плавный пуск и остановку.

Станция управления (рис. 2.63), обеспечивающая плавный пуск и останов электронасоса, автоматическое поддержание давления в трубопроводе, содержит преобразователь частоты $A1$, датчик давления BPI , электронное реле $A2$, схему управления и вспомогательные элементы, повышающие надежность работы электронного оборудования. Электродвигатель погружного насоса подключается к выводам U , V и W преобразователя частоты. При нажатии кнопки $SB2$ «Пуск» срабатывает реле $K1$, контакт которого $K1$ соединяет входы STF и PC преобразователя частоты, обеспечивая плавный пуск электронасоса по программе, заданной при настройке частотного преобразователя. При аварии частотного преобразователя или цепей электродвигателя насоса замыкается цепь $A-C$ преобразователя, обеспечивая срабатывание реле $K2$. После срабатывания $K2$ размыкаются его контакты в цепи $K1$. Происходит отключение выхода частотного преобразователя и реле $K2$. Повторное включение схемы возможно только после устранения аварии и сброса защи-

ты кнопкой *SB3.1*. Датчик давления *BPI* с аналоговым выходом 4...20 мА подключен к аналоговому входу частотного преобразователя (контакты 4, 5), обеспечивая отрицательную обратную связь в системе стабилизации давления. Функционирование системы стабилизации обеспечивается ПИД-регулятором преобразователя частоты. Требуемое давление задается потенциометром *R1* или с пульта управления частотного преобразователя. При «сухом ходе» насоса в цепи катушки реле *K3* замыкается контакт 7-8 электронного реле сопротивления *A2*, к контактам которого 3-4 подключен датчик «сухого хода» *ДСХ*. После срабатывания реле *K3* замыкаются его контакты, в результате чего срабатывает реле защиты *K2*, обеспечивая отключение электродвигателя насоса. Реле *K3* при этом становится на самоудержание через контакт *K3*. При всех аварийных режимах зажигается лампа *HL3*; лампа *HL4* зажигается при недопустимом снижении уровня воды (при «сухом ходе» насоса).



Подогрев шкафа управления в холодное время года осуществляется с помощью электронагревателей *EK1...EK4*, которые включаются контактором *KM1* при срабатывании терконтакта *SK1*. Защита входных цепей преобразователя частоты от коротких замыканий и перегрузок осуществляется автоматическим выключателем *QF1*.

Серийно выпускаемая станция управления КАСКАД-ПП изготовлена на базе устройства плавного пуска VLT Danfoss (рис.2.64). Предназначена для автоматического управления насосными агрегатами по сигналу от датчиков уровня с обеспечением режима плавного пуска, а также для комплексной защиты трехфазного электродвигателя насосного агрегата. Применяется в системах водоснабжения и отвода сточных (дренажных) вод. Автоматическое управление обеспечивает: плавный пуск и останов электропривода; автоматический режим работы по сигналу датчиков уровня (датчики уровня и сухого хода входят в комплект поставки); резервное управление прямым пуском.

Защитные функции обеспечивают: контроль и индикацию рабочего тока электродвигателя; контроль и индикацию аварийного состояния, (отображение кода аварии); оперативную настройку защиты электропривода; автоматический сброс аварии и повторный пуск, с выдержкой по времени; защиту по сухому ходу; защиту от перегрева двигателя; защиту от низкого дебета скважины (по датчику сухого хода - Дсх); комплексную защиту электродвигателя от перекоса фаз, перегрузки по току, холостого хода, обрыва фазы, короткого замыкания в цепи электродвигателя; быстродействующую защиту устройства плавного пуска от перенапряжений.



Рисунок 2.64 - Внешний вид станции КАСКАД-ПП

Станция может работать как в режиме подачи воды так и в режиме откачки дренажных вод (рис.2.65).

Серийно выпускаемая станция управления КАСКАД-ППЧ изготовлена на базе преобразователя частоты VLT Danfoss. Предназначена для автоматического управления насосными агрегатами с обеспечением частотного регулирования оборотов по сигналу от датчика давления 4-20 мА (автоматическое поддержание заданного давления в трубопроводе), а также для комплексной защиты трехфазного электродвигателя насосного агрегата.

Применяется в системах водоснабжения из артезианских скважин, повышения давления в водопроводной сети (рис.2.66).

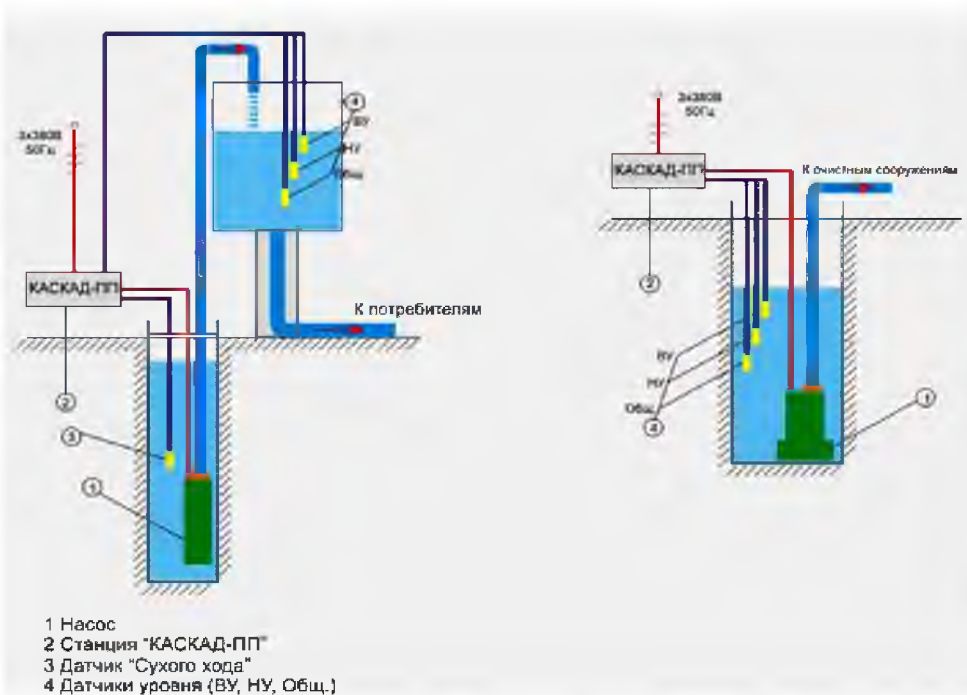


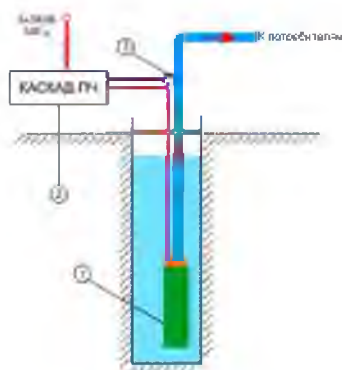
Рисунок 2.65 - Технологические схемы подключения станции КАСКАД в режимах подачи и дренажа

Автоматическое управление станции КАСКАД-ПЧ обеспечивает:

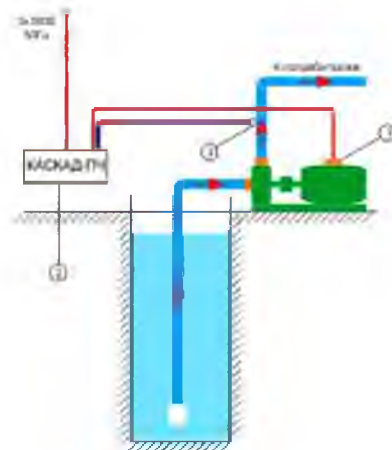
- автоматическое частотное регулирование оборотов электродвигателя по сигналу датчика давления (уровня);
- плавный пуск и останов электропривода;
- резервное управление прямым пуском;
- автоматическое включение/отключение в заданное время.

Защитные функции обеспечивают: защиту по сухому ходу; диагностику неисправностей как электродвигателя, так и преобразователя частоты; комплексную защиту электродвигателя от перекоса фаз, перегрузки по току, холостого хода, обрыва фазы, перегрева (при комплектации датчиком температуры), короткого замыкания в цепи электродвигателя; комплексную защиту преобразователя частоты от перенапряжений, короткого замыкания, перегрузки по току и температуре.

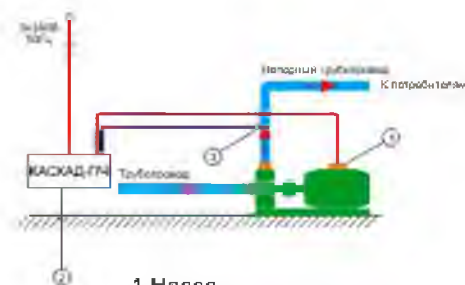
Автоматическое управление водоснабжением из артезианских скважин по датчику давления (1-й уровень водоподъема)



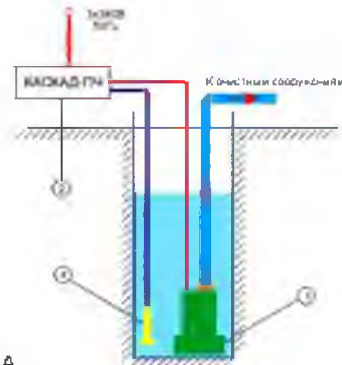
Автоматическое управление водоснабжением из резервуара (2-й уровень водоподъема)



Автоматическое управление водоснабжением, повышение давления



Автоматическое управление дренажным (фекальным) насосом



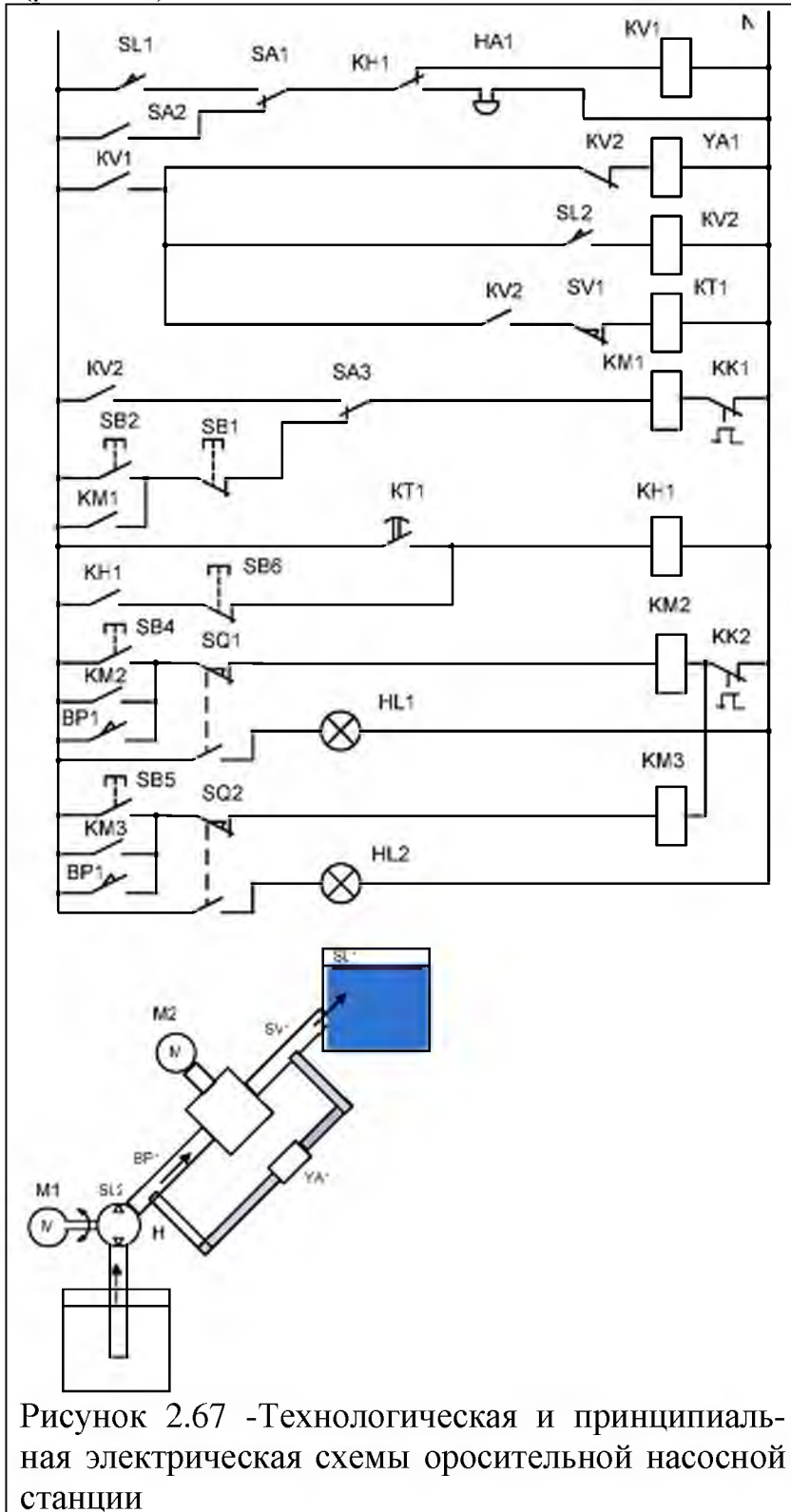
- 1 Насос
- 2 Станция "КАСКАД-ПЧ"
- 3 Датчик давления 4-20 мА
- 4 Гидростатический датчик уровня 4-20 мА

Рисунок 2.66 - Схемы применения КАСКАД-ПЧ

Имеют свои особенности схемы управления насосными агрегатами установок осушения и орошения. Так при разработке схем автоматизации рабо-

ты таких насосных агрегатов необходимо учитывать следующие технологические процессы и осуществлять их контроль: пуск и остановку электродвигателей, заливка и пуск насосов, управление задвижками, предохранение напорных трубопроводов от гидроударов, измерение расхода, напора, горизонтов воды, потребляемой мощности.

В качестве примера рассмотрим работу технологической схемы насосной установки совместно с принципиальной электрической схемой (рис.2.67).



Перевод в автоматический режим работы производится переключателями *SA1* и *SA3*. При понижении уровня воды в напорном бассейне ниже допустимого замыкаются контакты датчика уровня *SL1*, при этом срабатывает промежуточное реле *KV1*. Через контакты реле *KV1* получает питание катушка электромагнитного клапана *YA1*, управляющего заливкой насоса. Через открытый клапан вода поступает во всасывающую магистраль и насос, при этом вытесняется воздух и срабатывает датчик залива *SL2*, что приводит к включению реле *KV2*. Через контакты реле *KV2* получает питание катушка магнитного пускателя *KM1* и реле времени *KT1*. После достижения двигателя номинальной частоты вращения давление в напорном трубопроводе достигает значения срабатывания датчика давления *BP1*, что приводит к включению катушки

магнитного пускателя **КМ2** и при этом запускается электродвигатель **М2**, привода задвижки. При полностью открытой задвижке срабатывает конечный выключатель **SQ1** и отключается электродвигатель **М2**. Вода начинает поступать в напорный водоем. Датчик движения воды **SV1** срабатывает и размыкает контакты в цепи катушки реле времени **KT1**. Идет нагнетание воды, пока уровень не достигнет максимального, что контролируется датчиком уровня **SL1**. При размыкании контактов **SL1** обесточиваются реле **KV1** и **KV2**, а следовательно и магнитный пускатель **КМ1**. Основной электродвигатель останавливается и давление в напорном трубопроводе уменьшается до статического. Контакты датчика **BP1** возвращаются в исходное состояние, получает питание магнитный пускатель **КМ3**. Начинается процесс закрытия задвижки, который контролируется конечным выключателем **SQ2**. При достижении крайнего положения электродвигатель задвижки отключается. Если после пуска основного электродвигателя вода не поступает в напорный водоем, контакты датчика движения воды **SV1** останутся замкнутыми, что приведет к срабатыванию реле времени **KT1** и включится реле аварии **KN1**. Контакты **KN1** отключат катушку промежуточного реле **KV1** и подадут напряжение на цепь аварийной сигнализации. Реле **KN1** будет находиться под напряжением до тех пор пока не будет нажата кнопка деблокировки **SB6**.

Технологический процесс мелиоративной насосной станции максимально механизирован и автоматизирован. Предусмотрен дистанционный контроль за режимом работы и управление насосными агрегатами и вспомогательными технологическими устройствами. Вода из водоема, проходя через мусоросборные решётки попадает в аванкамеру. При уровне воды в аванкамере выше отметки, заданной диспетчером, при работе в автоматическом режиме включится первый насосный агрегат. Агрегат включается на минимальном развороте лопастей и при дальнейшем повышении уровня воды, устройство разворота лопастей увеличит подачу насоса. При максимальной подаче первого насоса и дальнейшем увеличении уровня воды в аванкамере, запустится второй насосный агрегат, с последующим увеличением подачи. Так поочередно запустятся все насосы, а при дальнейшем повышении уровня, включится аварийная сигнализация. При падении уровня воды и достижении заданной отметки произойдет уменьшение подачи с отключением агрегатов в последовательности, обратной пуску.

Конструктивно насосный агрегат состоит из асинхронного электродвигателя (обычно на напряжение 6 кВ), приводимого насоса и устройства разворота лопастей (рис. 2.68). В двигателе в качестве нижней и верхней опоры используются упорно-радиальные баббитовые подшипники в масляной ванне. Масло, проходя через теплообменник, охлаждается водой. Смазка подшипников основного насоса и опоры вала агрегата производится чистой водой под напором.

Для охлаждения верхнего и нижнего подшипника двигателя и смазки подшипников основного насоса используется насос технического водоснабжения.

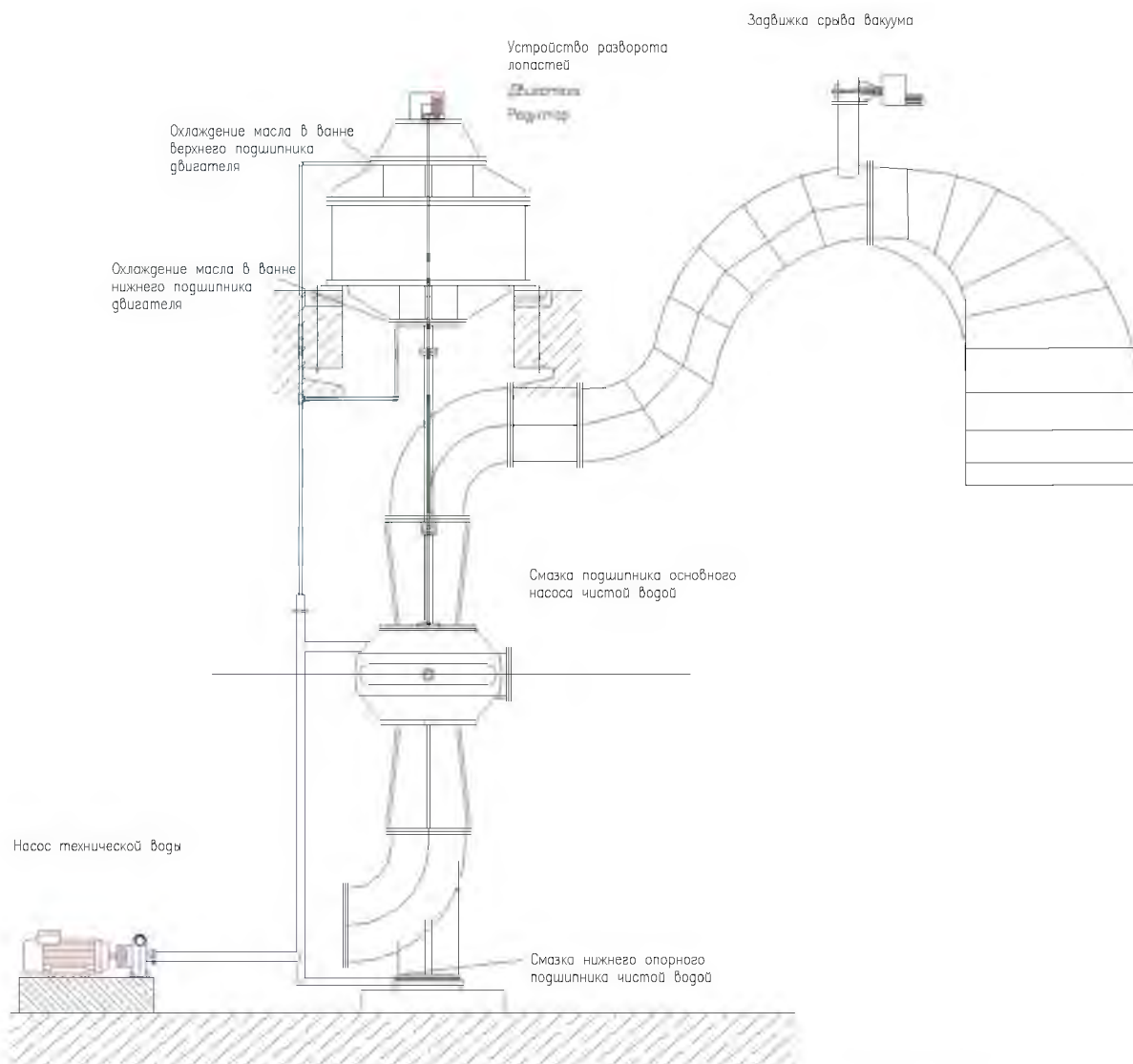


Рисунок 2.68 - Насосный агрегат и его отдельные составляющие

Для плавного регулирования подачи воды и уменьшения пускового тока в агрегате используется устройство разворота лопастей. Оно состоит из неподвижного вала, который проходит через весь полый вал агрегата, электропривода с редуктором и редуктора с сателлитами внутри рабочего колеса насоса (рис.2.69). При проворачивании малого вала по часовой стрелке, лопасти разворачиваются в сторону увеличения подачи, против часовой – уменьшения подачи. Пуск двигателя агрегата должен производиться при минимальной подаче, т.е. при минимальном положении устройства разворота лопастей.

При неработающем агрегате может возникать обратное движение воды, что приведет к обратному вращению крыльчатки насоса и вала двигателя. В этом случае при пуске двигатель будет испытывать дополнительные нагрузки, преодолевая отрицательный вращательный момент. Для предотвращения обратного вращения предусмотрена специальная конструкции напорного трубопровода с задвижкой срыва вакуума. При остановке агрегата эта задвижка открывается, наполняя воздухом изгиб напорного трубопровода, не давая засасывать воду из напорного колодца. При пуске агрегата воздух в напорном трубопроводе может вызвать гидроудар, поэтому в момент пуска за-

движка должна быть открыта. При нормальной работе в установившемся режиме задвижка должна быть закрыта. При этом изгиб напорного трубопровода создаёт эффект сифона и часть воды перетекает без помощи насоса, который лишь подаёт воду на уровень напорного бассейна. При функционировании агрегата должны учитываться следующие технологические процессы: пуск агрегата на минимальном развороте лопастей насоса; пуск агрегата с открытой заслонкой срыва вакуума; работа агрегата с закрытой заслонкой срыва вакуума; пуск и работа агрегата. При работе агрегата должны фиксироваться следующие технологические моменты: работа при протекании воды в контурах технологического водоснабжения; уровень воды в аванкамере; температура масла в ваннах подшипников; вибрации вала. Кроме того, должен отслеживаться уровень дренажной воды в паттерне мокрой камеры. Удаление дренажной воды осуществляется специальными дренажными насосами.

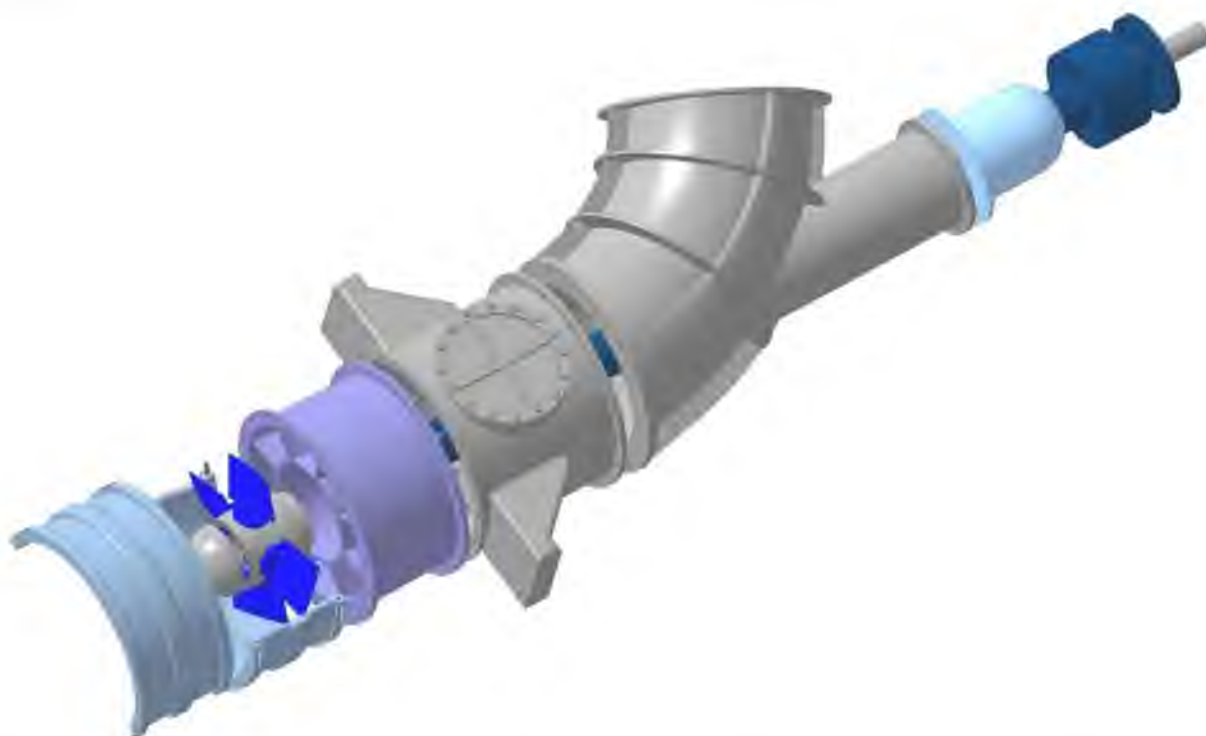


Рисунок 2.69 - Внешний вид насоса ОПВ-145Э с устройством разворота лопастей.

В связи с наличием сложной конструкции системы разворота лопастей и низкой ее надежности наиболее эффективным является применение преобразователей частоты. Основой указанных электроприводов является трех-пяти-уровневый преобразователь частоты (ПЧ), выполненный на высоковольтных полностью управляемых полупроводниковых тиристорных приборах. Тиристорные высоковольтные преобразователи частоты состоят из входного понижающего трансформатора, обеспечивающего преобразование входного трехфазного напряжения 6 – 10 кВ в 2-3 группы трехфазного напряжения 1-3 кВ (зависит от числа вторичных обмоток) со сдвигом фаз напряжения в обмотках относительно друг друга для повышения коэффициента мощности

преобразователя. Эти напряжения выпрямляются на диодных выпрямителях и сглаживающих конденсаторах в звене постоянного тока преобразователя частоты. Для снижения уровня высших гармоник и улучшения электромагнитной совместимости используют многопульсные схемы диодных выпрямителей. Для повышения рабочего напряжения преобразователя частоты электронные ключи тиристорного инвертора соединяют последовательно. Число элементов в каждом плече определяется величиной рабочего напряжения и типом силового элемента. Основная проблема для такой схемы состоит в строгом согласовании работы электронных ключей, поскольку полупроводниковые элементы имеют разброс параметров, поэтому очень остро стоит задача согласования их работы по времени. Преобразователи имеют одни из лучших удельные массогабаритные показатели, диапазон изменения выходной частоты от 0 до 250-300 Гц, КПД преобразователей достигает 97,5%. Недостатком данных моделей, является обязательное наличие синус-фильтра на выходе преобразователя, обусловленное весьма далекой от синуса формой выходного напряжения тиристорных инверторов.

Высоковольтный преобразователь частоты на IGBT-транзисторах для уровня напряжений в 6 кВ с концепцией «чистой синусоиды» состоит из входного многообмоточного трансформатора и транзисторных инверторных ячеек. Схема построения транзисторных высоковольтных преобразователей частоты такая же как и тиристорного преобразователя, за исключением замены элементов последовательно включенных силовых ячеек на IGBT – транзисторы. Практически идеальная форма синусоиды выходного тока основной гармоники делает возможным подключение к преобразователю частоты электродвигателей без дополнительных защитных схем (синус-фильтров). Таким образом, увеличение потерь в электродвигателе из-за присутствия высших частот тока практически не происходит, так как их амплитуды сведены к минимуму, в отличие от преобразователей предыдущих поколений. Отсутствие на выходе преобразователя частоты повышающего трансформатора и синус – фильтра позволяет ему работать в режиме векторного управления двигателем как без датчика скорости, так и с датчиком скорости (по энкодеру или таходатчику). Преобразователи показывают сохранение коэффициента полезного действия и коэффициента мощности на номинальном уровне при регулировании частоты выходного напряжения до 30% от номинальной частоты. КПД преобразователя частоты составляет около 98%, а диапазон регулирования выходной частоты 1 : 50.

Следует также учитывать, необходимость диспетчеризации работы насосных установок, что связано с потребностью контроля как работы насосных агрегатов, так и контролю технологических характеристик процесса орошения. Создаются системы мониторинга за работой таких установок, при этом информация может передаваться с применением современных методов передачи данных (Интернет и т.д.) и архивироваться их для дальнейшего анализа.

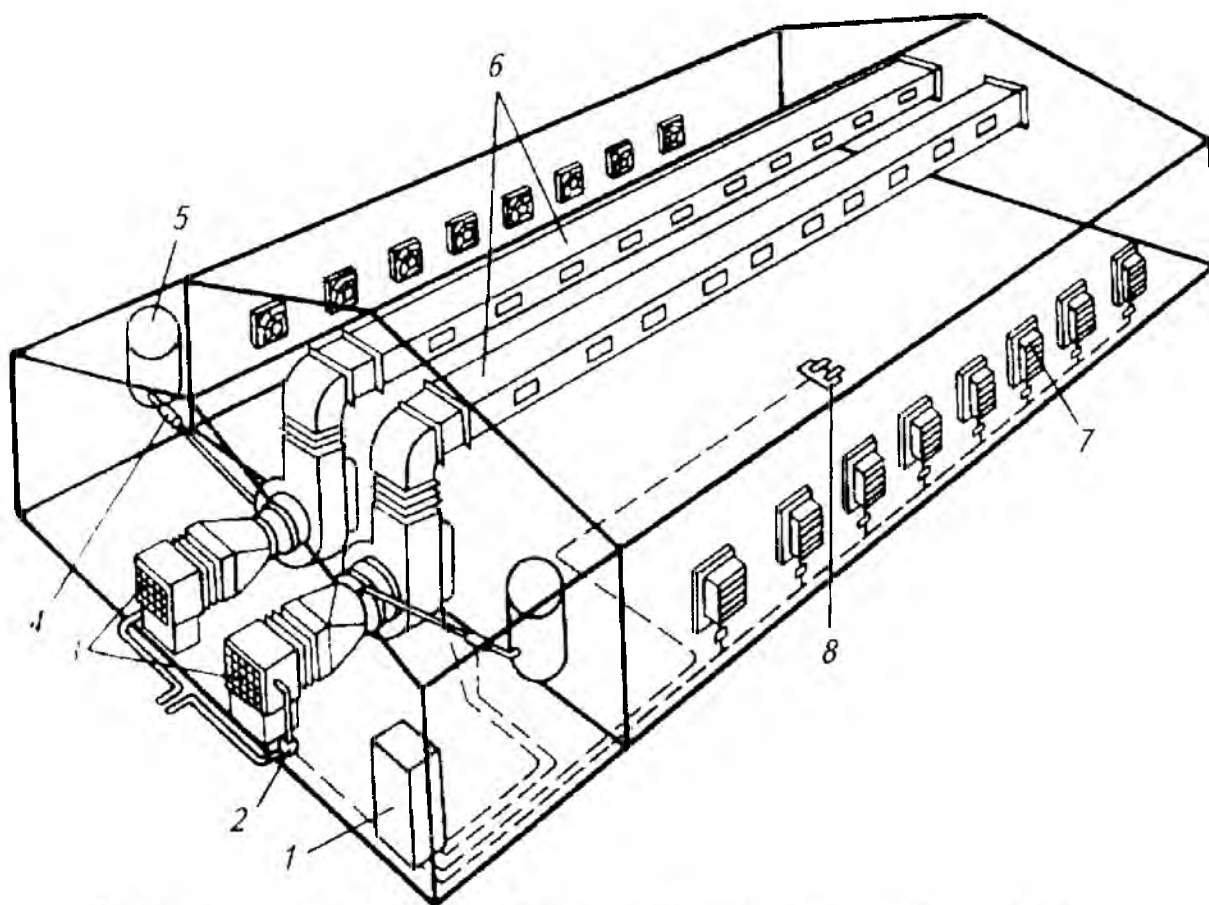
2.7. Автоматизация работы вентиляционных установок

Температура, влажность и скорость движения воздуха в помещениях для содержания животных и птицы являются определяющими факторами микроклимата, непосредственно влияющими на продуктивность. Поэтому комплекс применяемого для этих целей оборудования должен обеспечивать данные параметры строго в соответствии с зооветеринарными требованиями.

Эффективность вентиляции также определяют вентиляционно-гигиенической характеристикой системы – зависимость концентрации газов от удельного воздухообмена ($\text{м}^3/\text{ч}$ на единицу массы животного). Исследования и практика показывают, что даже кратковременные (2...4 ч) отключения или выход из строя системы вентиляции вызывают значительный экономический ущерб из-за резкого снижения продуктивности или даже гибели животных. Поэтому оборудование системы вентиляции должно иметь высокую надежность, что достигается, например, применением многовентиляторных систем. Из-за большой ширины здания и значительной величины сопротивления аэродинамического тракта, а также ограничений скорости движения воздуха применять только приточную или вытяжную вентиляции нельзя. Используется обычно приточно-вытяжная система вентиляции. По характеру создаваемого в помещении давления летние системы вентиляции подразделяются на две группы: с избыточным давлением и с разряжением – системы вакуумного типа. По месторасположению осевых вентиляторов системы могут быть двух типов: с размещением вентиляторных агрегатов на крыше и расположением в стенах или оконных проемах. Избыточное давление в помещении препятствует свободному проникновению в него наружного воздуха через различные неплотности и щели. Однако при этом конденсируются водяные пары на окнах, а в периоды похолоданий – на перекрытиях. Схемы с избыточным давлением можно применять в строениях, где используется мобильная раздача кормов и имеется большое количество щелей вблизи птицы. В помещениях, находящихся под разряжением за счет вытяжной вентиляции, происходит инфильтрация воздуха. Проходя через ограждения, воздух частично нагревается за счет встречного теплового потока и таким образом происходит частичная утилизация теплоты. Инфильтрационный воздух препятствует попаданию внутрь ограждений влажного воздуха помещений, то есть уменьшается образование конденсата на стенах, окнах.

Для создания микроклимата применяют комплекты отопительного, вентиляционного, увлажнительного оборудования, а также приборы, обеспечивающие автоматическое поддержание заданных параметров. Для вентиляции и кондиционирования воздуха выпускались и выпускаются оборудование типа «Климат». Комплект оборудования «Климат—3» состоит из двух приточных вентиляционно-отопительных агрегатов 3 (рис. 2.70), системы увлажнения воздуха, приточных воздухопроводов 6, комплекта вытяжных вентиляторов 7, станции управления 1 с панелью датчиков 8. Вентиляционно-отопительный агрегат 3 нагревает и подает атмосферный воздух, при необ-

ходимости его увлажняет. Система увлажнения воздуха включает напорный бак 5 и электромагнитный клапан, который автоматически регулирует степень и увлажнение воздуха. Подача горячей воды в калориферы регулируется клапаном 2.



1—станция управления; 2—регулирующий клапан; 3 — вентиляционно-отопительные агрегаты; 4 — электромагнитный клапан; 5—напорный бак для воды; 6 — воздуховоды; 7—вытяжной вентилятор; 8 – датчик температуры

Рисунок 2.70 - Технологическая схема комплекта оборудования «Климат»

Также выпускаются комплекты приточно-вытяжных установок ПВУ-4М, которые предназначены для поддержания температуры воздуха и его циркуляции в заданных пределах в холодный и переходный периоды года. В комплекты выше указанного оборудования обычно входит от 8 до 24 осевых вентиляторов (ОВ). Осевые вентиляторы укомплектованы специальными трехфазными асинхронными электродвигателями с повышенным скольжением (АИРП 80А6.). В таких электродвигателях изменяется частота вращения в зависимости от подаваемого напряжения (от 70 до 380 В). Характеристики таких вентиляторов приведены на рисунке 2.71. и в таблице 2.9, а внешний вид на рисунке 2.72. В комплект универсального оборудования «Климат» входит устройство автоматического регулирования напряжения на зажимах электродвигателей вентиляторов контактного типа с автотрансформатором и станцией ШАП или бесконтактного типа со станцией «Климатика-1».

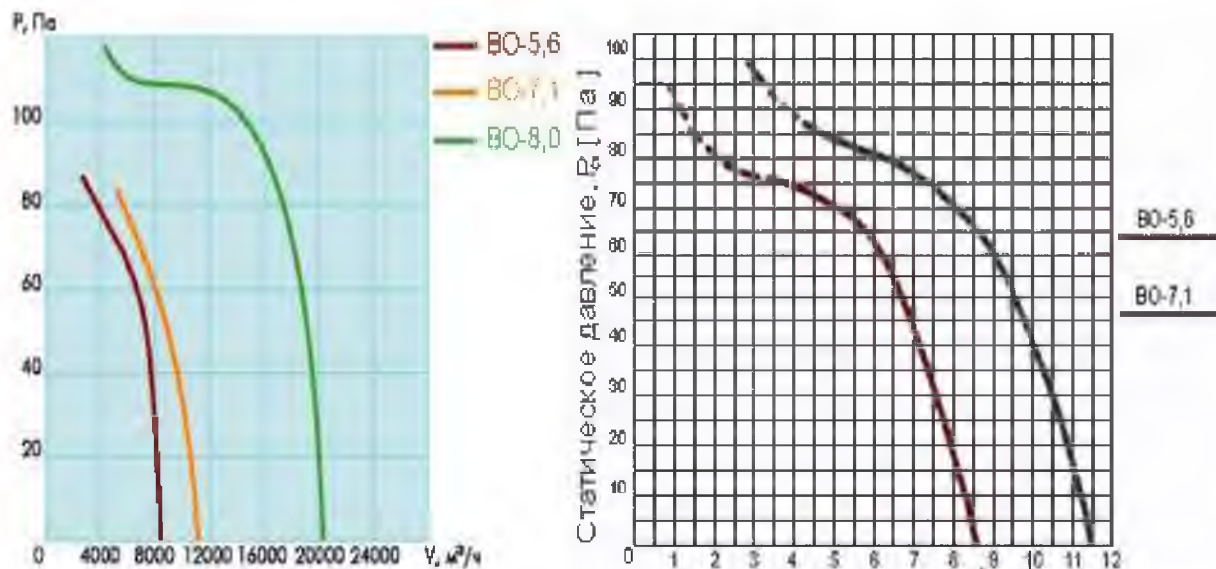


Рисунок 2.71 – Характеристики вентиляторов системы «Климат».

Таблица 2.9. – Основные характеристики вентиляторов ВО.

Марка	Производ. тыс.м3/час	Полное давл., Па	Мощность, кВт	Частота вращ., об/мин.	Напряжение, В	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ВО-2,5	900	30	0,06	1500	380	360x360x360	6
ВО-3,15	1500	50	0,12	1500	380	410x410x380	9
ВО-4	4500	70	0,18	1500	380	420x420x380	12
ВО-5,6	6500	60	0,37	1000	380	730x750x650	25
ВО-7,1	10000	60	0,37	1000	380	940x940x660	36



Рисунок 2.72– Внешний вид вентиляторов системы «Климат».

На рисунке 2.73 приведена силовая часть схемы системы «Климат» со станцией управления типа ШАП. На схеме изображен автотрансформатор TV1 (АТ-10), который имеет отдельные выводы для подключения десяти электродвигателей в виде трех групп.

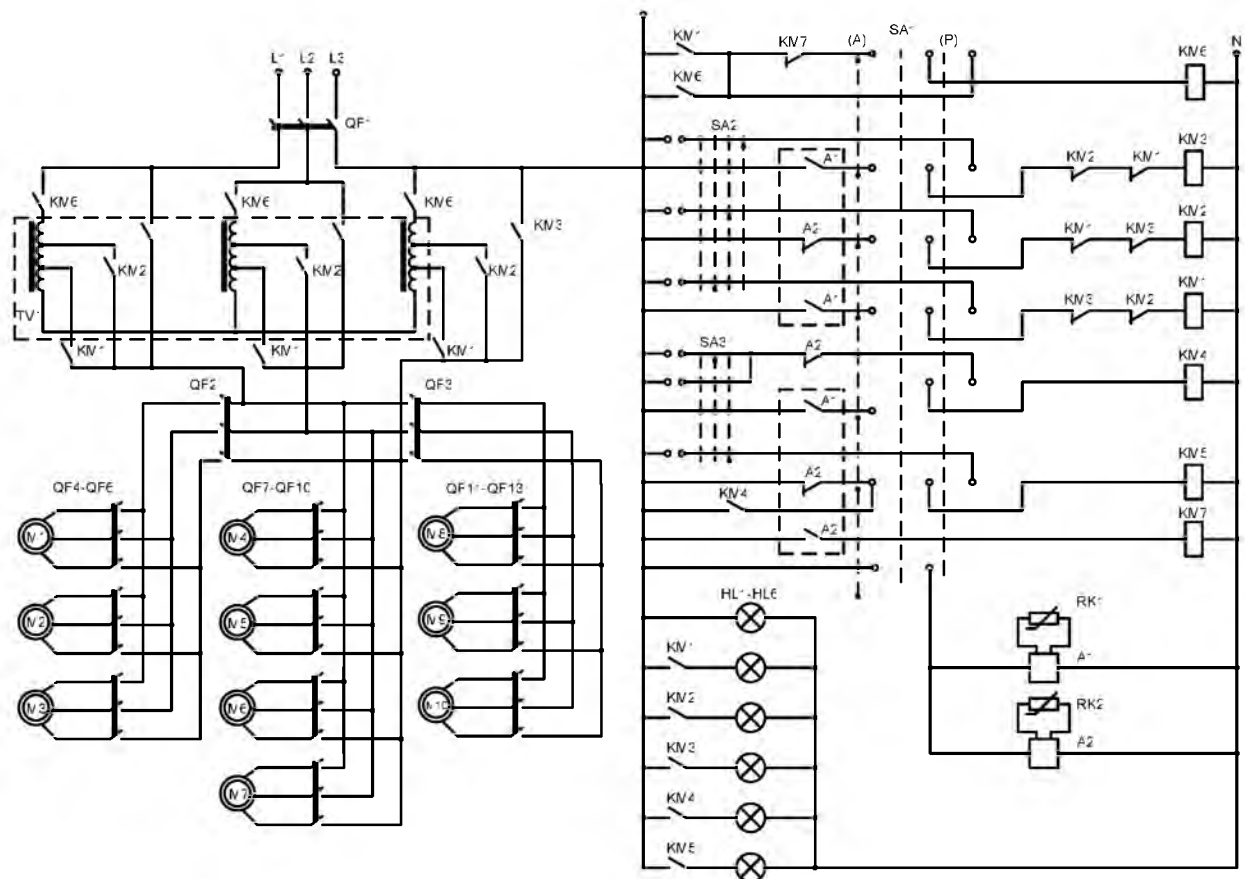


Рисунок 2.73– Принципиальная электрическая схема системы «Климат-47»

Приводные электродвигатели имеют возможность регулирования скорости от 5:1 до 10:1 за счет изменения подводимого напряжения. Ступенчатое регулирование скорости позволяет изменять производительность вентиляторов в необходимом диапазоне. В схеме имеются три универсальных переключателя SA1, SA2, SA3 и семь промежуточных реле KM1 - KM7, которые позволяют устанавливать режим микроклимата. Переключение на автоматический или ручной режим производится переключателем SA1. Переключатель SA2 предназначен для подключения цепи, питающей электродвигатели вентиляторов, к разным отпайкам автотрансформатора TV1. Этот переключатель имеет четыре положения: 1 – все отключено, 2 – электродвигатели подключаются к отпайкам с низшим напряжением для работы с наименьшей скоростью, составляющей 30% от номинальной; 3 – электродвигатели подключаются к отпайкам с более высоким напряжением для работы со скоростью, составляющей 60% от номинальной; 4 – электродвигатели подключаются к номинальному напряжению для работы на максимальной скорости. Переключатель SA3 предназначен для подключения или отключения отдельных групп электродвигателей. При работе в автоматизированном режиме подключены терморегуляторы A1 и A2, которые, в зависимости от установленной температуры, через промежуточные реле подключают электродвигатели на различное напряжение и контролируют количество групп включенных вентиляторов. Преимуществом данной системы управления является синусоидальная форма напряжений подаваемых на электродвигатели

вентиляторов. В качестве недостатка следует отметить низкую надежность силовой части схемы управления, так как имеется большое количество контактов магнитных пускателей, которые работают на индуктивную нагрузку и часто включаются. При такой работе возникает высокая вероятность отказа силовых контактов магнитных пускателей («заваривание» контактов или пропадание одной из фаз из-за износа контактов).

Бесконтактная станция управления типа «Климатика-1» плавно регулирует частоту вращения вентиляторов в ручном и автоматическом режиме в зависимости от температуры в помещении. Регулировка частоты вращения производится путем изменения действующего значения подводимого напряжения к электродвигателям. Регулирование напряжения производится тиристорами, имеющими систему импульсно-фазового управления. Блок-схема станции управления приведена на рисунке 2.74. Принцип работы заключается в следующем. Сигнал с датчика температуры ДТ поступает на мост сравнения МС. На этот же мост поступает сигнал от задатчика температуры ЗДТ. Далее через усилитель-демодулятор УД сигнал подается на узел сравнения УС, к которому также подключены резистор-задатчик базового напряжения ЗБН, задатчик дифференциала на допустимое снижение напряжения ЗД, задатчик минимального напряжения ЗМН. Вся схема управления получает необходимый уровень напряжения от блока питания БП, который также выдает сигналы синхронизации с сетью. Полученные сигналы проходят процесс формирования в блоках системы импульсно-фазового управления СИФУ и передаются на управляющие переходы фазных блоков тиристорных БТ.

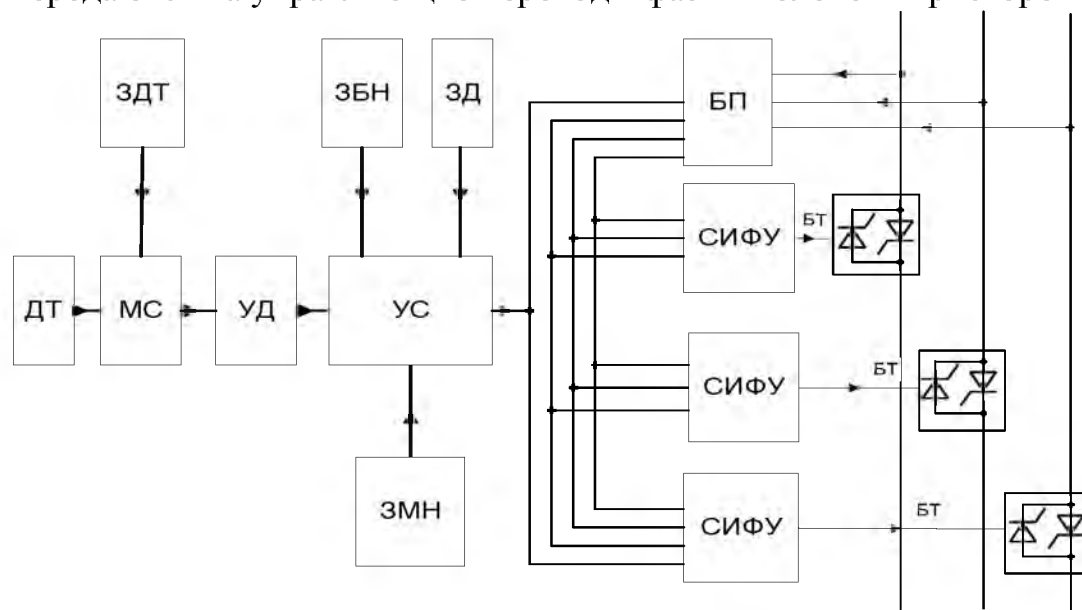


Рисунок 2.74– Блок-схема станции управления «Климатика-1»

В настоящее время имеется в продаже современная станция управления вентиляционными установками, которая имеет еще и микропроцессорный блок. Станция автоматического управления вентиляцией "Климат-Т-МП-5" (рис.2.75) предназначена для управления системами вентиляторов путем регулирования скорости вращения асинхронных электродвигателей вытяжных

и приточных вентиляторов с целью автоматического поддержания в производственном помещении необходимого объема свежего воздуха, скорости его потока, и температуры, в зависимости от возраста птицы, ее живой массы, времени года (температуры наружного воздуха). Станция автоматического управления вентиляцией (САУВ) "Климат-Т-МП-5" обладает возможностью автоматизированной подачи свежего воздуха и регулирования скорости его потока в зависимости от возраста птицы. При необходимости, в соответствии с технологией содержания, задается программа увеличения подачи воздуха при увеличении живой массы птицы. САУВ "Климат-Т-МП-5" имеет возможность автоматически поддерживать температуру в помещении на заданном уровне или по заданной программе с учетом изменения возраста птицы. Система представляет собой симисторный регулятор мощности с микропроцессорным управлением, обеспечивающий фазовое регулирование выходного напряжения. Система обеспечивает "мягкий пуск" вентиляционного оборудования. Вся введенная информация сохраняется в энергонезависимой памяти устройства.



Рисунок 2.75 – Внешний вид станции автоматического управления вентиляцией "Климат-Т-МП-5"

Недостатком способа регулирования скорости вращения электродвигателей вентиляторов с помощью тиристоров является искажение формы напряжения, подаваемого на статор, особенно при глубоком регулировании. Такое искажение приводит к увеличению потерь мощности в электрической машине и возникновению аварийных режимов электродвигателей. Отмечено также, что в зимний период может происходить примерзание крыльчаток вентиляторов и при сильном снижении напряжения (угол открытия тиристоров настолько большой, что из-за искажений формы напряжения высшие гармоники снижают пусковой момент электрической машины), электродвигатели не могут запуститься, что приводит к перегоранию обмоток статора. Также отмечается повышенный уровень гармоник в сети из-за их генерирования станцией управления «Климатика». Повышенный состав гармоник в сети приводит к снижению срока службы люминесцентных ламп и перегреву других электрических машин, работающих в помещениях. Преимуществом станции «Климатика-1» является исключение из общей схемы управления автотрансформатора, гораздо меньше коммутационных аппаратов, по сравнению с «Климат-47», а, следовательно, более высокая надежность. Также преимуществом является высокая плавность регулирования. Однако, перечисленные недостатки перекрывают преимущества, особенно в последнее время. При работе от станций типа «Климатика» идет увеличения выхода из строя электродвигателей, а цены на цветные металлы и сами электродвигатели неуклонно растут. При работе электродвигателей на искаженной форме напряжения уменьшается коэффициент мощности и КПД электрических машин, а значит, увеличивается

расход электроэнергии. Таким образом увеличивается доля затрат на производство продукции, что сегодня является очень актуальным.

Для автоматизации работы установок управления микроклиматом выпускаются различного рода микроконтроллеры. Так, например, контроллеры Stienen CBA-2006 предназначены для управления микроклиматом помещений таким образом, что всегда будет гарантировано правильное соотношение между отоплением и вентиляцией (рис.2.76). Они позволяют заранее задать график работы системы вентиляции, обеспечивающий изменение климатических условий в помещении по мере роста животных. Контроллеры климата CBI регулируют положение приточных форточек в зависимости от потребности вентиляции, что постоянно обеспечивает поступление свежего воздуха к птице. Кроме того, возможно независимое регулирование нескольких групп вентиляторов (например, оконных и крышных). Если потребность в вентиляции достигает определенного уровня, автоматически включается вторая группа вентиляторов. Как видно из приведенных характеристик одним из основных способов регулирования воздухообмена является изменение положения заслонок через сервопривод или соответствующие клапаны.

В последнее время контроль и управление вентиляционными установками производится дистанционно через радиомодем или другие приборы для беспроводных каналов связи (рис.2.77). Это позволяет эксплуатационным службам в режиме «онлайн» контролировать параметры микроклимата, архивировать данные и осуществлять бесперебойное управление установками.

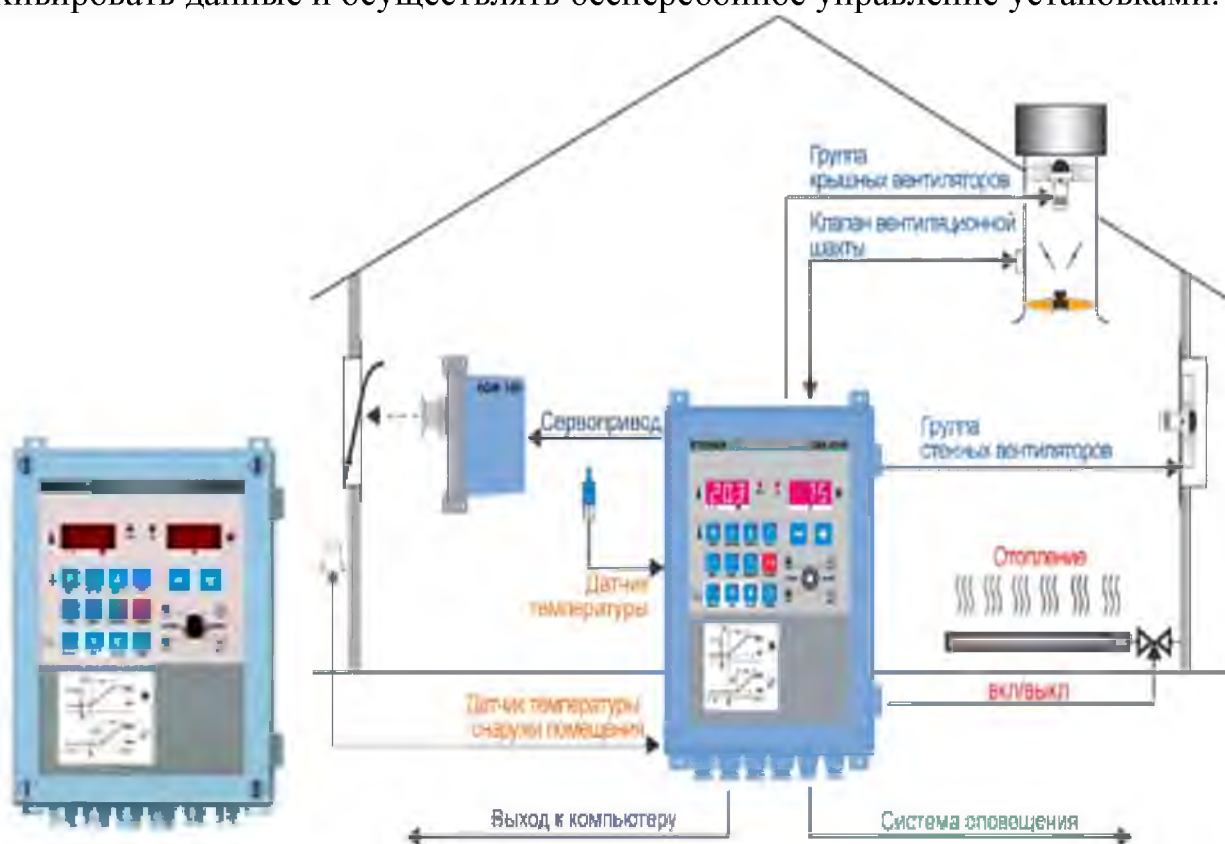


Рисунок 2.76 – Внешний вид контроллера Stienen CBA-2006 и функциональная схема его подключения к периферийным устройствам



Рисунок 2.77– Структура управления параметрами микроклимата по радиоканалу.

В вентиляционных системах применяются также и многоскоростные электродвигатели. В этом случае регулирование производительности происходит за счет переключения

электродвигателей на разное количество пар полюсов. Этот способ регулирования является энергосберегающим. Переключение происходит ступенчато и с большим количеством коммутационных аппаратов. Так, например, схема управления трехскоростным электродвигателем приведена на рисунке 2.78.

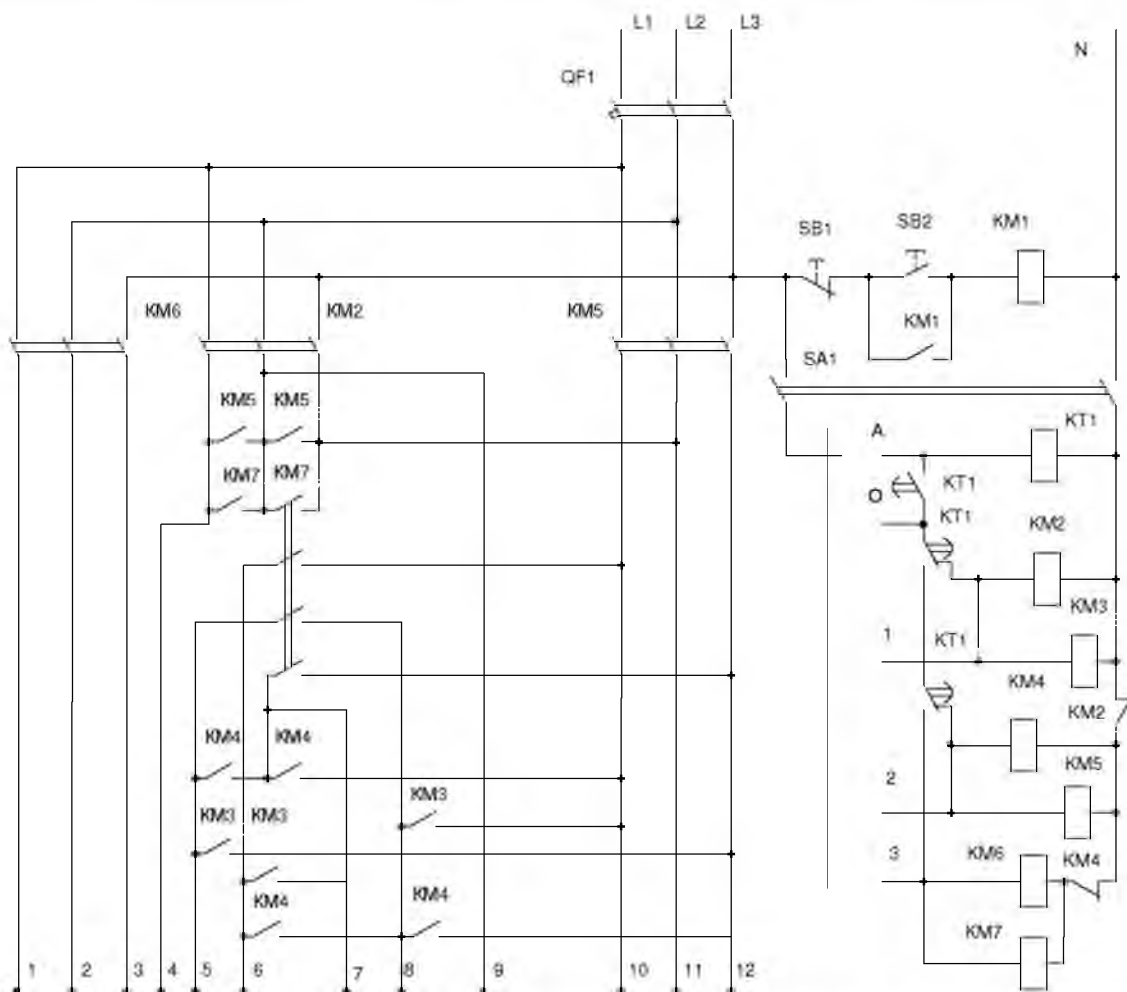


Рисунок 2.78– Принципиальная электрическая схема управления трехскоростным электродвигателем.

Как видно из этой схемы для переключения необходимо семь магнитных пускателей, что усложняет систему управления и снижет надежность работы. Все эти пускатели необходимо ставить на каждый электродвигатель и если размещать их в отдельном шкафу управления, то придется прокладывать дополнительную проводку из 12-ти жил кабеля. Такие материальные затраты и снижение общей надежности не приведут к экономической эффективности массового внедрения таких систем управления. Несколько оригинальных схемных решений статорных обмоток электродвигателей для привода вентиляторов предложили ученики научной школы профессора Ванурина В.Н. Дальнейшие разработки по поиску схем, имеющих меньшее количество выводов, продолжаются.

В последние годы наблюдается широкое внедрение преобразователей частоты тока. Необходимо рассмотреть возможность их использования в данной технологии сельскохозяйственного производства. Так как мощность приводных электродвигателей рассматриваемых вентиляционных установок до 0,4 кВт, то имеет смысл только установка одного преобразователя на все электродвигатели. В этом случае необходимо использовать преобразователь частоты только со скалярным управлением, что ухудшает качество регулирования. Установленная мощность автотрансформатора в системе «Климат» - 10 кВА, следовательно, мощность преобразователя будет в этом же пределе. Типовая схема включения преобразователя будет иметь вид представленный на рисунке 2.79. Из приведенной схемы видно, что кроме преобразователя частоты необходима также установка двух трехфазных дросселей и фильтра электромагнитной совместимости, для сглаживания тока и уменьшения уровня помех, отправляемых в сеть. Все это приведет к значительным экономическим затратам.

Необходимо пояснить принципы работы преобразователей частоты. Реализовать возможность управления асинхронным электродвигателем изменением частоты тока удалось лишь с появлением силовых полупроводниковых приборов - сначала тиристоров, а позднее транзисторов IGBT. В настоящее время во всём мире широко реализуется способ управления асинхронной машиной, которая сегодня рассматривается не только с точки зрения экономии энергии, но и с точки зрения совершенствования управления технологическим процессом. Структурная схема преобразователя частоты представлена на (рис. 2.80). Преобразователь состоит из следующих основных частей: звена постоянного тока ЗПТ, содержащего неуправляемый выпрямитель с фильтром (рис. 2.80); мостового трехфазного инвертора, выполненного на IGBT-приборах (рис. 2.81); системы управления; блока питания БП; датчиков тока ДТ. Выпрямитель осуществляет преобразование трехфазного переменного напряжения сети питания в выпрямленное напряжение постоянной амплитуды 540 В. Инвертор посредством широтно-импульсного модулирования управления транзисторными ключами преобразует постоянное напряжение в переменное квазисинусоидальное регулируемой частоты f и амплитуды U . Через цепь постоянного тока передается активная мощность из сети к двигателю. Для циркуляции реактивной мощности, которая необходи-

ма для создания электромагнитного поля асинхронного двигателя, образуется цепь: обмотки статора двигателя — обратные диоды, шунтирующие транзисторные ключи — конденсаторы фильтра. При запираии ключей индуктивные токи замыкаются через диоды на конденсатор фильтра, не вызывая пере-напряжений. Транзисторные ключи управляются драйверами, которые осу-ществляют гальваническую развязку силовых цепей от цепей управления и защиту транзисторов.

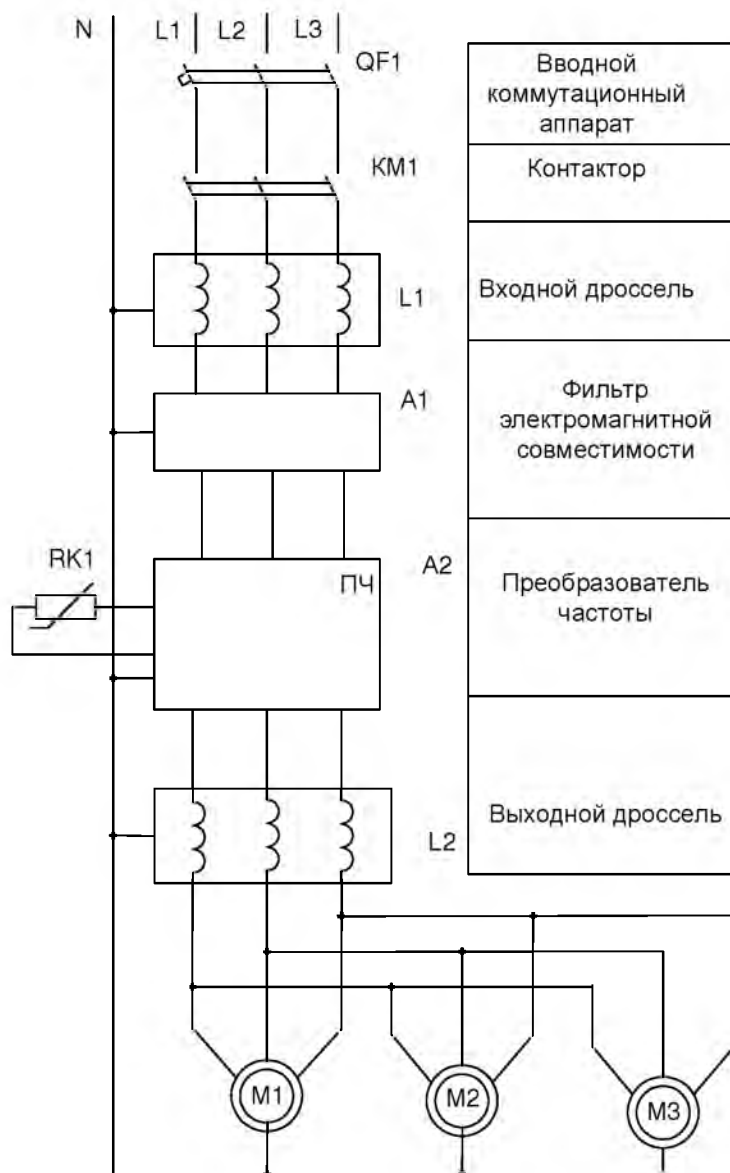


Рисунок 2.79– Структурная электрическая схема типового шкафа управления асинхронными электродвигателями с преобразователем частоты.

Блок микропроцессорного управления включает в себя (рис. 2.82) программируемый контроллер (ПК), аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи и пульт управления. Контроллер осуществляет широтно-импульсную модуляцию выходного напряжения преобразователя, у которого амплитуда напряжения зависит от частоты:

$$U = A + Bf , \tag{2.106}$$

где U, f — соответственно напряжение и частота тока преобразователя.

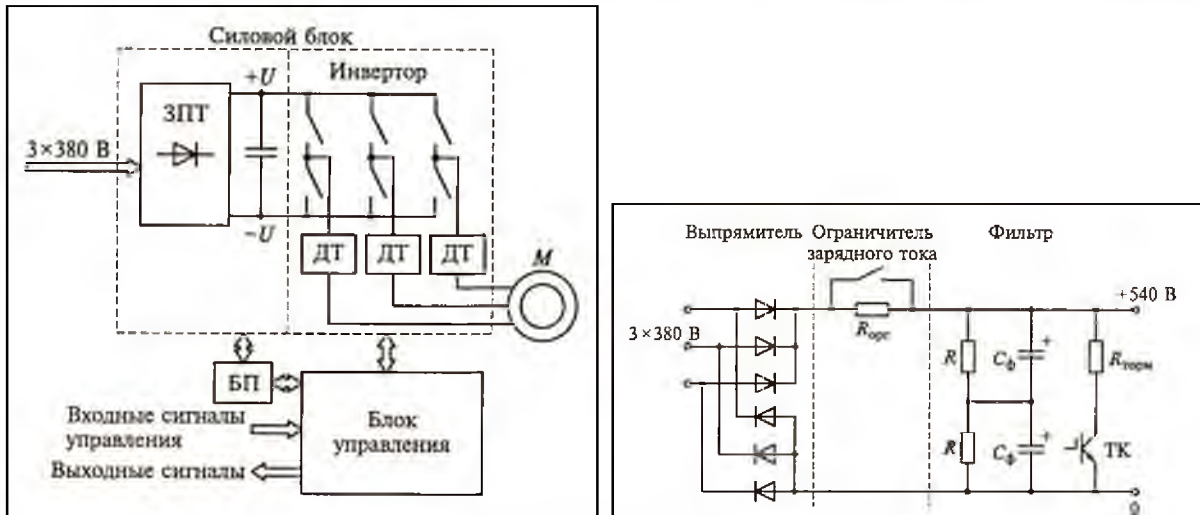


Рисунок 2.80. Структурная и принципиальная схемы преобразователей частоты

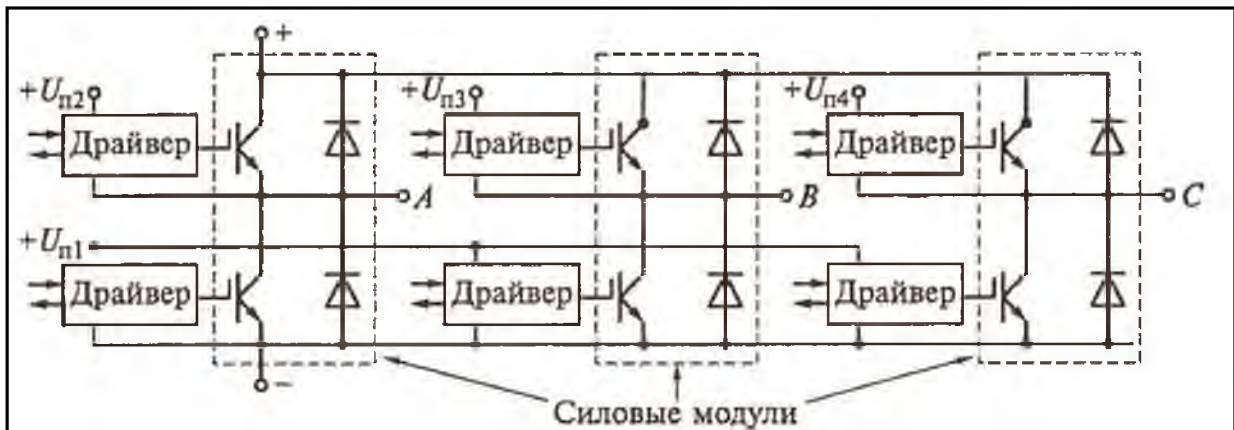


Рисунок 2. 81. Принципиальная схема мостового трехфазного инвертора на IGBT-транзисторах:

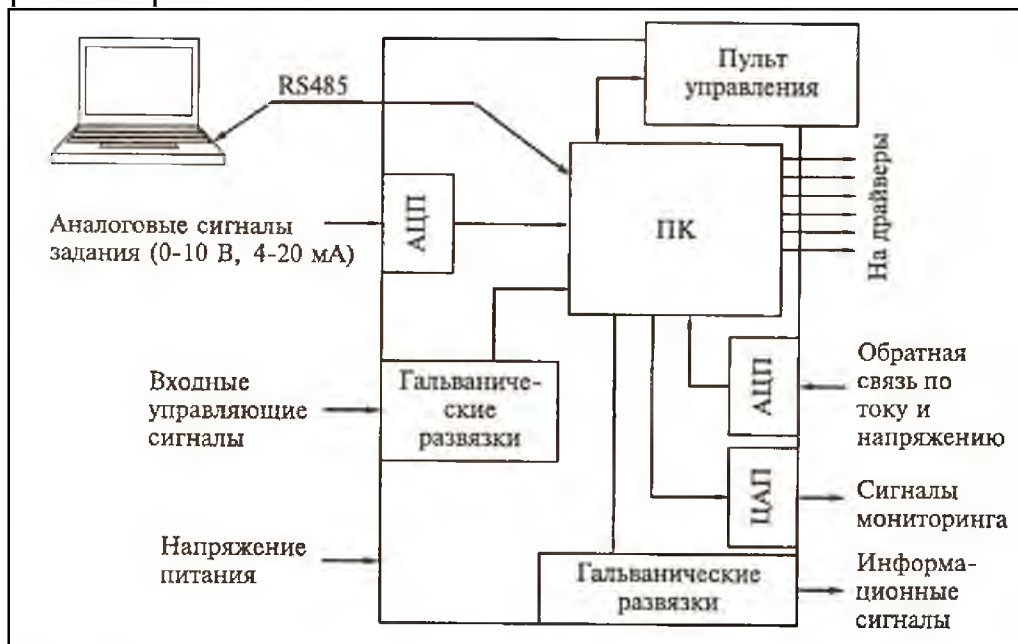


Рисунок 2.82 - Функциональная схема блока управления электропривода

При необходимости преобразователь может обеспечить тормозной режим работы электропривода. Для этого в цепи постоянного тока предусмотрены транзисторный ключ и тормозной разрядный резистор. Преобразователи частоты имеют различные виды защиты от влияния следующих факторов: перенапряжений по питанию; повышения напряжения питания; понижения напряжения питания; короткого замыкания в нагрузке; замыкания фазы на землю; перегрева двигателя; «опрокидывания» двигателя; перегрузки; ошибок управления.

В настоящее время большинство преобразователей изготавливают по схеме автономного инвертора напряжения. Это связано с появлением полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов: IGBT-транзисторов и запираемых тиристоров. Типичная схема электропривода с инвертором напряжения на полностью управляемых приборах дана на рисунке 2.83.

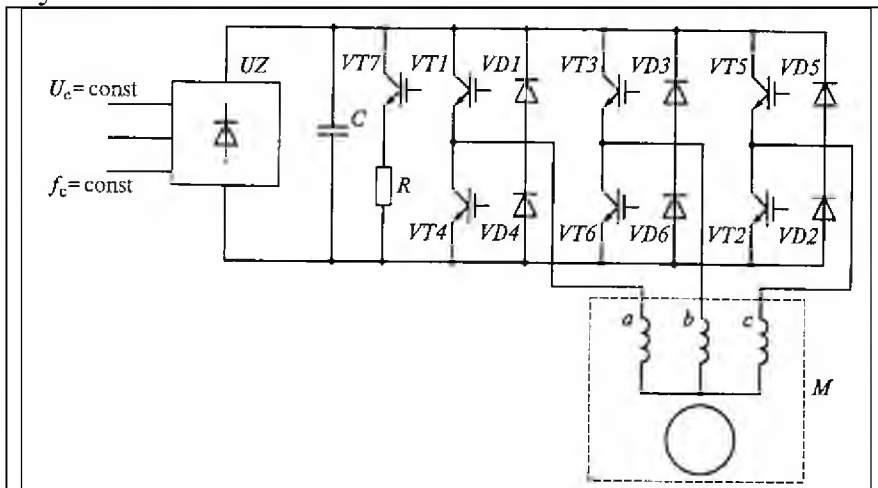


Рисунок 2.83 - Схема частотного асинхронного электропривода с транзисторным инвертором напряжения

Схемной особенностью инвертора напряжения является наличие обратных диодов $VD1... VD6$ и фильтрового конденсатора C . В отличие от инверторов тока, для которых характерным является работа в каждый момент времени по одному вентилю в анодной и катодной группах, в инверторах

напряжения более целесообразна одновременная работа двух вентилях в одной группе и , одного вентиля в другой группе. При этом продолжительность работы каждого вентиля составляет n . Допустим, что в некоторый момент времени работают транзисторные ключи $VT1, VT2$ и $VT6$. Тогда ток протекает по всем трем фазным обмоткам двигателя, причем $2/3$ напряжения U_d прикладывается к фазе a и к двум параллельно включенным фазам b и c (рис. 2.83). При заперении транзисторного ключа $VT6$ (рис. 2.83) и включении транзисторного ключа $VT3$ ток в фазе b не может мгновенно измениться и замыкается через диод $VD3$ на конденсатор C , чем обеспечивается циркуляция реактивной мощности между обмотками двигателя и конденсатором C . После включения транзисторного ключа $VT4$ ток будет протекать по параллельно включенным фазам a и c и по фазе b и т.д. Линейное U_{av} и фазное U_a напряжения, прикладываемые к обмоткам двигателя, будут иметь форму, показанную на рисунке 2.84. Требуемая выходная частота определяется частотой переключения вентилях инвертора и задается каналом регулиро-

вания частоты. Регулирование выходного напряжения может выполняться двумя способами: 1) посредством управляемого выпрямителя на входе инвертора, с помощью которого регулируется U_d , 2) использованием способа широтно-импульсного регулирования, осуществляемого вентилями инвертора; в этом случае входной выпрямитель может быть неуправляемым. Первый способ характеризуется двумя недостатками: ступенчатой формой выходного напряжения (рис. 2.84) и низким коэффициентом мощности преобразователя. Более эффективным является второй способ. При широтно-импульсном способе регулирования (рис. 2.85) возможно не только регулирование среднего напряжения за период, но и коррекция формы выходного напряжения U_I .

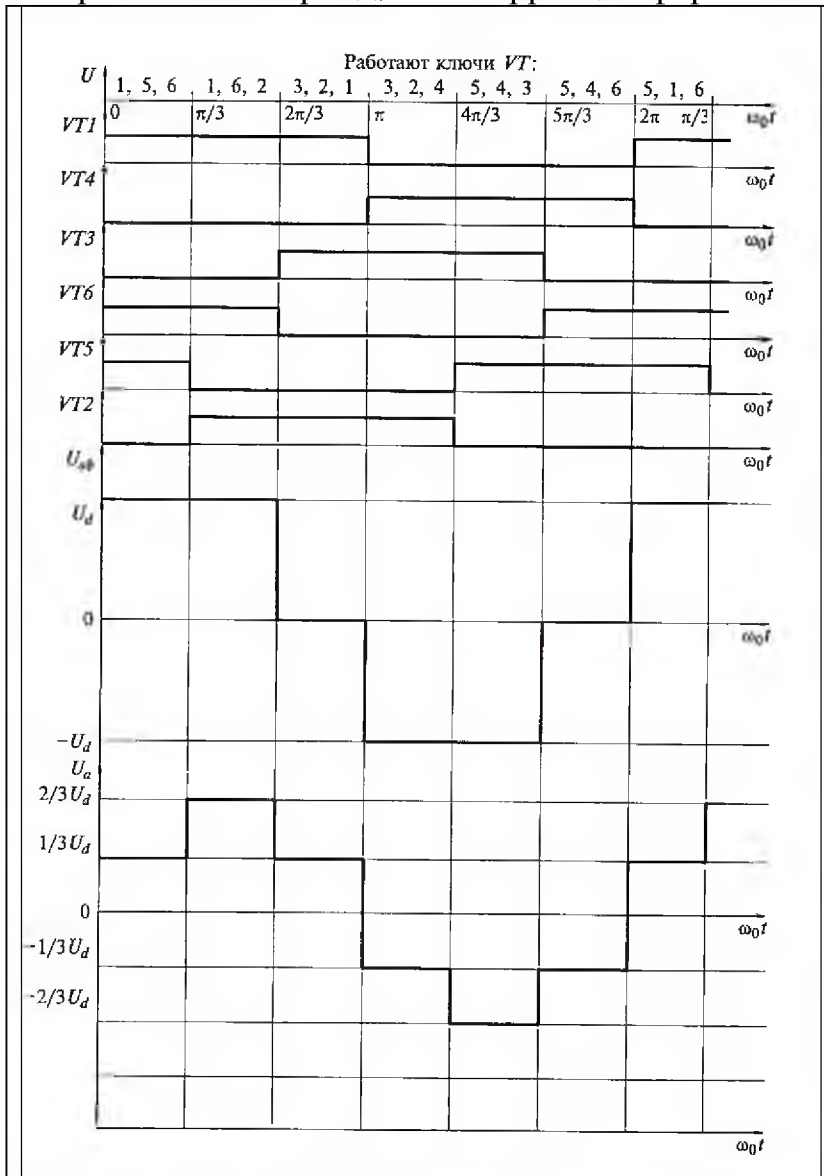


Рисунок 2.84 - Диаграмма работы ключей VT1... VT6 и эюры линейного и фазного напряжений

Такое регулирование называют широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Она основана на принципе широтно-импульсного регулирования. Так как при двухполярной коммутации выходное напряжение преобразователя $U_{нч}$:

$$U_{нч} = \frac{U_d}{2} (2\gamma - 1), \quad (2.107)$$

где U_d - напряжение питания, γ - скважность импульсов.

Скважность импульсов регулируют по синусоидальному закону:

$$\gamma = 0,5 \cdot U_1 (\sin 2\pi f_1 t + 1), \quad (2.108)$$

где U_1 - фазное напряжение на обмотке статора.

Изменяя с помощью системы управления амплитуду U_1 можно регулировать выходное напряжение преобразователя.

При использовании инверторов напряжения для реализации режима рекуперативного торможения асинхронного двигателя необходимо на входе устанавливать реверсивный преобразователь с двумя группами вентиляей, что усложняет схему преобразователя и снижает ее на-

дежность. Поэтому в инверторах напряжения обычно предусматривают разрядный резистор R (рис. 2.83), который подключается в режиме торможения транзисторным ключом $VT7$ и в котором рассеивается энергия торможения.

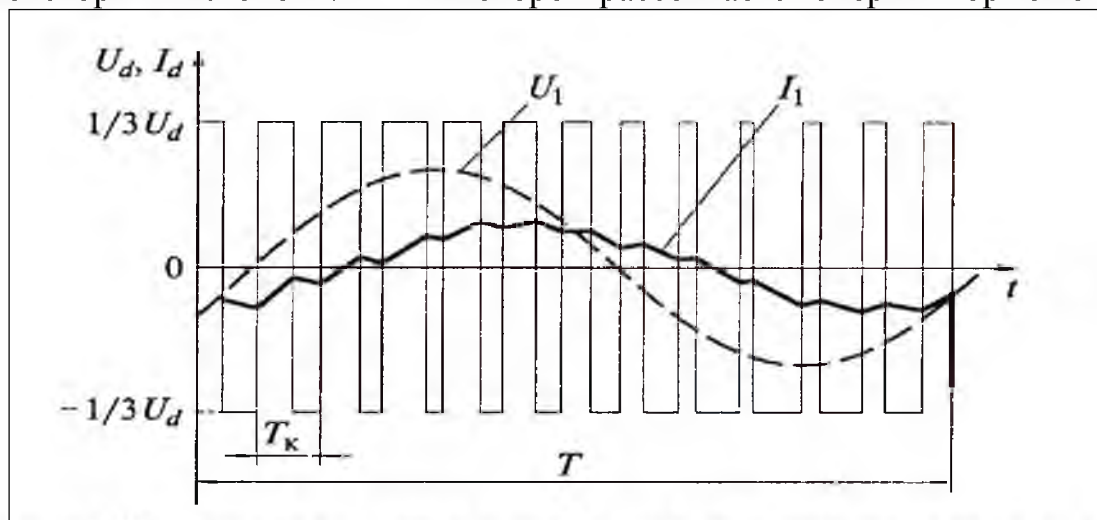


Рисунок 2.85 - Диаграммы напряжений и тока при широтно-импульсной модуляции

Предприятий по выпуску частотных преобразователей много и ассортимент таких устройств широк (рис.2.86). Службам эксплуатации необходимо только знать основные требования технологического процесса и характеристики электрических машин, чтобы правильно выбрать закон управления и тип преобразователя частоты.



Рисунок 2.86 - Внешний вид преобразователей частоты

2.8. Способы автоматизации работы сепараторов

Автоматизация работы сепараторов в основном заключается в автоматизации процесса пуска электродвигателя. Так, например, запуск многоскоростного электродвигателя можно производить в функции времени, скорости или тока. На рисунке 2.87 приведена принципиальная схема управления электродвигателем сепаратора в функции времени. Схема работает следующим образом. При нажатии кнопки $SB2$ получает питание катушка магнитного пускателя $KM1$, который срабатывает и подает питание силовыми контактами на статор электродвигателя $M1$. Первым блок-контактом пускатель $KM1$ шунтирует кнопку «Пуск» $SB2$, а вторым разрывает цепь в цепи пита-

ния катушки магнитного пускателя **КМ2**. Одновременно с этим получает питание катушка реле времени **КТ1**. Электродвигатель начинает запуск на нижней скорости. По истечению времени (достаточного для разгона электродвигателя до скорости близкой к синхронной данной частоты вращения) срабатывает размыкающий контакт **КТ1.1** с выдержкой времени на размыкание, отключается магнитный пускатель **КМ1**. Через следующий очень короткий промежуток времени срабатывает замыкающий контакт **КТ1.2** с выдержкой времени на замыкание и получает питание магнитный пускатель **КМ2**. Силовые контакты магнитного пускателя **КМ2** подают питание на другие выводы статорной обмотки электродвигателя и он переключается на пониженное количество пар полюсов. Магнитный пускатель **КМ2** своими замыкающими контактами подключает себя на самоудержание, а реле времени **КТ1** возвращается в исходное состояние.

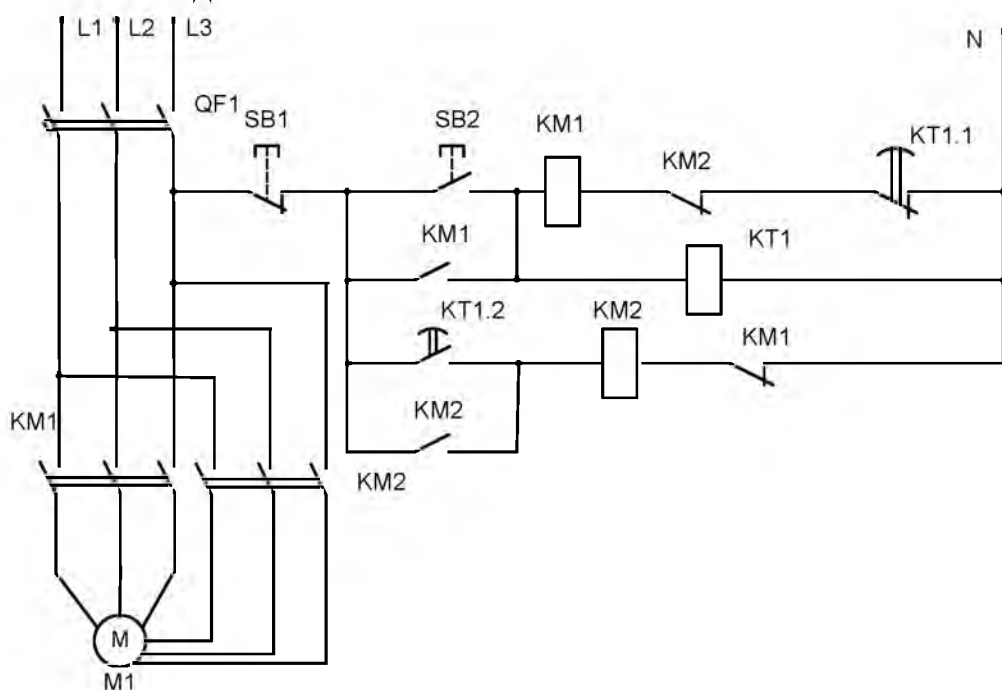


Рисунок 2.87 - Схема электрическая принципиальная управления двухскоростного электродвигателя сепаратора в функции времени

На рисунке 2.88 представлена схема управления двухскоростным электродвигателем с повышенной частотой тока. При замыкании ключа **SA1** подается напряжение на схему управления. После нажатия кнопки **SB1** получает питание катушка магнитного пускателя **КМ1**, который срабатывает, замыкает силовые контакты в цепи электродвигателя **М1**, а также блокировочным контактом **КМ1** подключает катушку на самоудержание. Электродвигатель начинает разгон на первой скорости. При достижении определенной частоты вращения на выходе датчика скорости **BR1** эдс достигает величины достаточной для срабатывания реле напряжения **КВ1**. Реле **КВ1** размыкающим контактом отключает катушку **КМ1**, а замыкающим подает питание на магнитный пускатель **КМ2**, получает питание обмотка статора электродвигателя на меньшее количество пар полюсов. Электродвигатель разгоняется до номинальной частоты вращения.

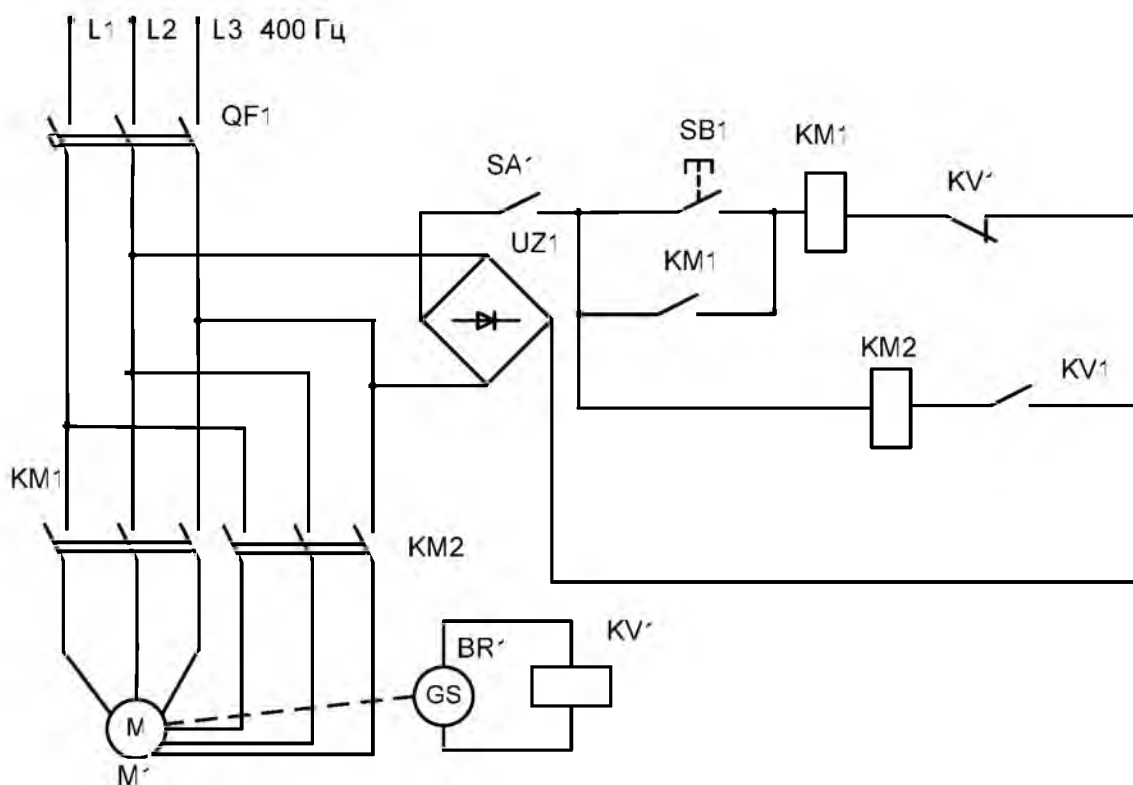


Рисунок 2.88 - Схема электрическая принципиальная управления двухскоростного электродвигателя сепаратора в функции скорости

Контрольные вопросы.

1. Объясните необходимость знания QH характеристик для центробежных механизмов.
2. Перечислите способы регулирования производительности центробежных механизмов и поясните их энергетику.
3. Приведите закон регулирования выходного напряжения преобразователя частоты при работе с центробежными системами
4. Принцип работы преобразователя частоты и вид выходного напряжения.
5. Приведите основные формулы по расчету объема водонапорной башни и потерь в водопроводной сети.
6. Как рассчитать емкость бака для водоснабжающей установки, работающей по давлению в сети?
7. Приведите схемы автоматизации водоснабжающих установок, работающих в функциях уровня и давления.
8. В чем особенность приводных характеристик сепараторов молока и принципов автоматизации их работы?
9. Перечислите способы регулирования подачи вентиляционных установок в АПК, типы применяемого оборудования.
10. Приведите схемы автоматизации работы вентиляционных установок и применяемые устройства.

3. МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Особенности технологических и кинематических схем

Подготовленный для вскармливания сельскохозяйственным животным корм должен отвечать зоотехническим требованиям, указанным в соответствующих стандартах или технических условиях на корма. В механической технологии приготовления кормов самым распространенным и важным процессом является измельчение, обусловленное требованиями физиологии кормления животных. Дело в том, что питательные вещества усваиваются организмом животного только в растворенном виде, а скорость обработки корма желудочным соком прямо пропорциональна площади поверхности частиц. В результате измельчения кормов образуется множество частиц с высокоразвитой поверхностью, что способствует ускорению процессов пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ.

В инженерном отношении измельчение кормов является наиболее энергоемкой и дорогой операцией. Измельчением называется процесс разделения механическим путем твердого тела на части, т.е. путем приложения внешних сил, превосходящих силы молекулярного сцепления. На практике в качестве критерия крупности продукта используют в основном модуль помола M - средневзвешенный диаметр частиц, установленный для каждого вида животных: для свиней - 0,2...1 мм (тонкий помол); для КРС - 1...1,8 мм (средний помол); для птиц - 1,8...2,6 мм (грубый помол). Наиболее широкое распространение получили такие основные способы измельчения кормов как: дробление ударом (свободный удар); раскалывание; истирание (разлом); плющение; резание - лезвием, резцом (рис.3.1).

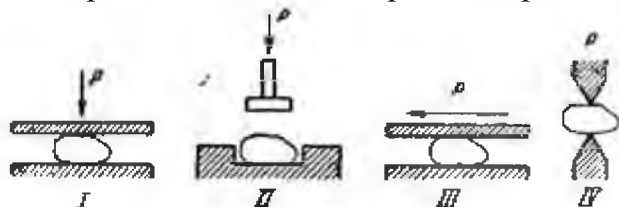


Рисунок 3. 1-Способы измельчения

В большинстве случаев происходит комбинированное воздействие измельчающих усилий, например раздавливания с истиранием, удар с раздавливанием и истиранием; иногда к главным усилиям присоединяются побочные-изгибающие и разрывающие.

В зависимости от вида перерабатываемого корма и зоотехнических требований к качеству его измельчения применяются следующие типы измельчающих аппаратов, представленных в таблице 3.1.

Оптимальная степень измельчения для животных разных видов неодинакова. Лучше всего скармливать животным корм равномерно измельченный с размерами частиц, соответствующими по гранулометрическому составу того или другого вида животных. Основные физико-механические свойства кормов представлены в таблице 3.2. При оценке способа измельчения и конструкции рабочих органов измельчителей прежде всего надлежит учитывать свойства кормов и выбирать такие способы воздействия на перерабатываемый материал, при которых разрушение его может быть достигнуто при наименьших напряжениях и затрате энергии. В этом отношении раскалыва-

ние, истирание или резание представляются более выгодным, так как разрушающее напряжение скалывания меньше нормальных напряжений.

Таблица 3.1 - Область применения различных типов измельчающих аппаратов

Тип измельчаемого аппарата		Вид перерабатываемого корма			
		Зерно	Стебельные		Сочные (корне-клубнеплоды)
			грубые	зеленые	
Молотковый		+	+	-	+
Штифтовой		+	+	-	-
Ножевой		-	+	+	+
комбинированный	Ножевой и щелевой (с двумя роторами)	-	+	+	+
	Молотковый с ножами	+	+	+	+
	Ножевой и молотковый (с двумя роторами)	+	+	+	+

Таблица 3.2 - Основные физико-механические свойства зерновых кормов

Корм	Влажность, %	Объемная масса т/м ³	Угол естественного откоса, град.
Зерно:			
ячменя	13...15	0,55...0,75	27...35
кукурузы	14...15	0,70...0,82	28...35
овса	15...15	0,40...0,56	33...35
пшеницы	13...15	0,65...0,76	35...37
гороха	13...15	0,60...0,80	25...36
Дерть:			
ячменная	14...15	0,46...0,65	32...36
кукурузная	14...15	0,68...0,78	33...36
овсяная	14...15	0,30...0,36	45
Мучные продукты:			
отруби пшеничные	12...14	0,22...0,43	39...42
мука пшеничная	12...14	0,45...0,63	40...45
мука ржаная	12...14	0,50...0,60	40...45
мука овсяная	12...14	0,30...0,39	50...60
мука ячменная	12...14	0,35...0,50	50...60

Основными машинами для измельчения концентрированных кормов являются молотковые дробилки. Они просты по устройству, надежны в работе, компактны. В основу теории молотковой дробилки заложены труды академика В.П. Горячкина, развитые затем в работах профессоров М.М. Гернета, В.А. Елисеева, С.В. Мельникова и многих других исследователей. Эта теория описывает рабочий процесс, протекающий в дробильной камере, кинетику диспергирования материала, динамику молоткового барабана, аэродинамику дробилки и энергетику процесса. Однако для дробилок характерны высокая энергоемкость, неравномерность гранулометрического состава измельченного продукта с повышенным содержанием переизмельченных частиц, повышенный износ рабочих органов. Принципиальная схема молотковой дробилки показана на рисунке 3.2. Деки 5, решетка 4 и ротор 1 с молотками образуют дробильную камеру.

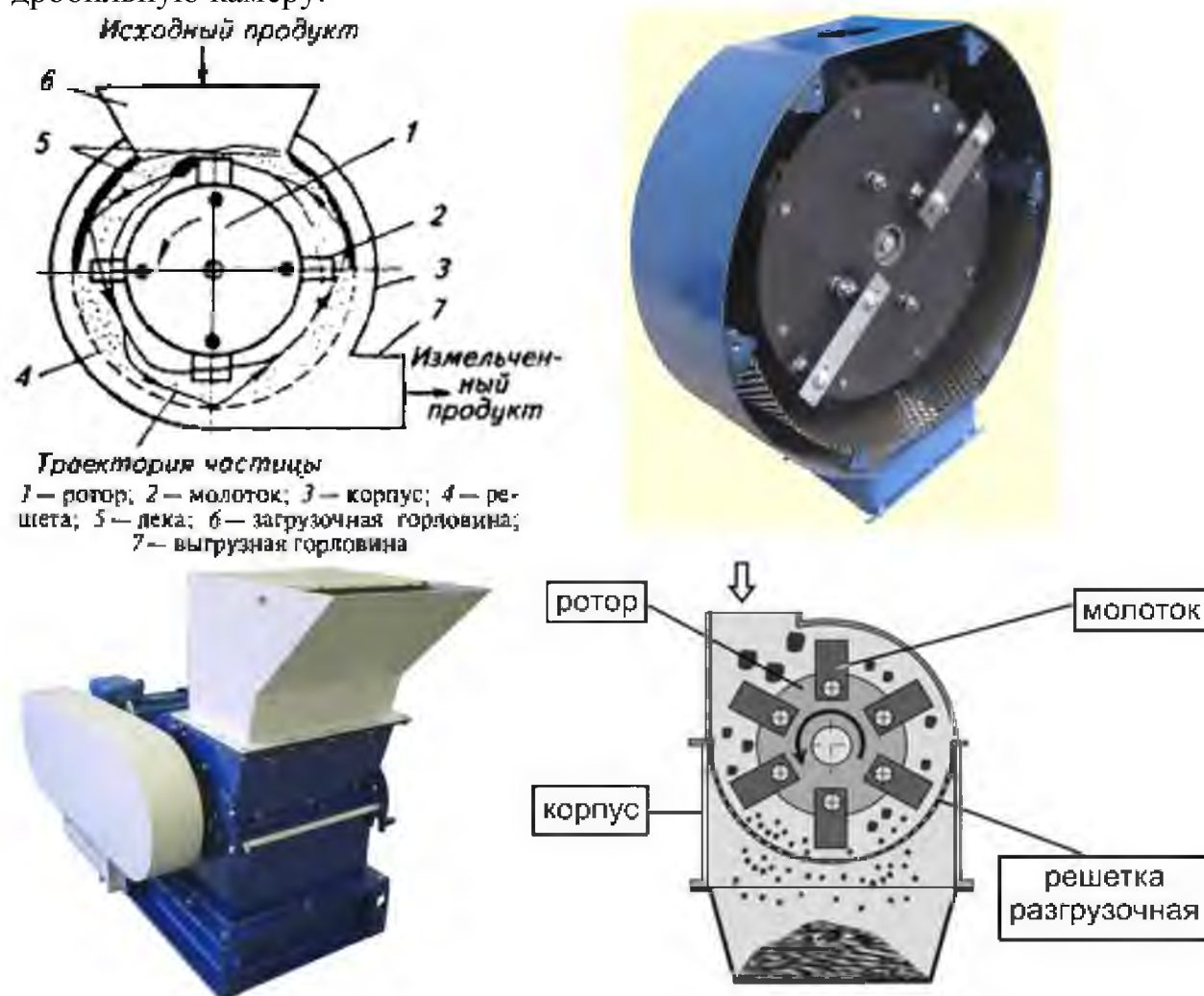
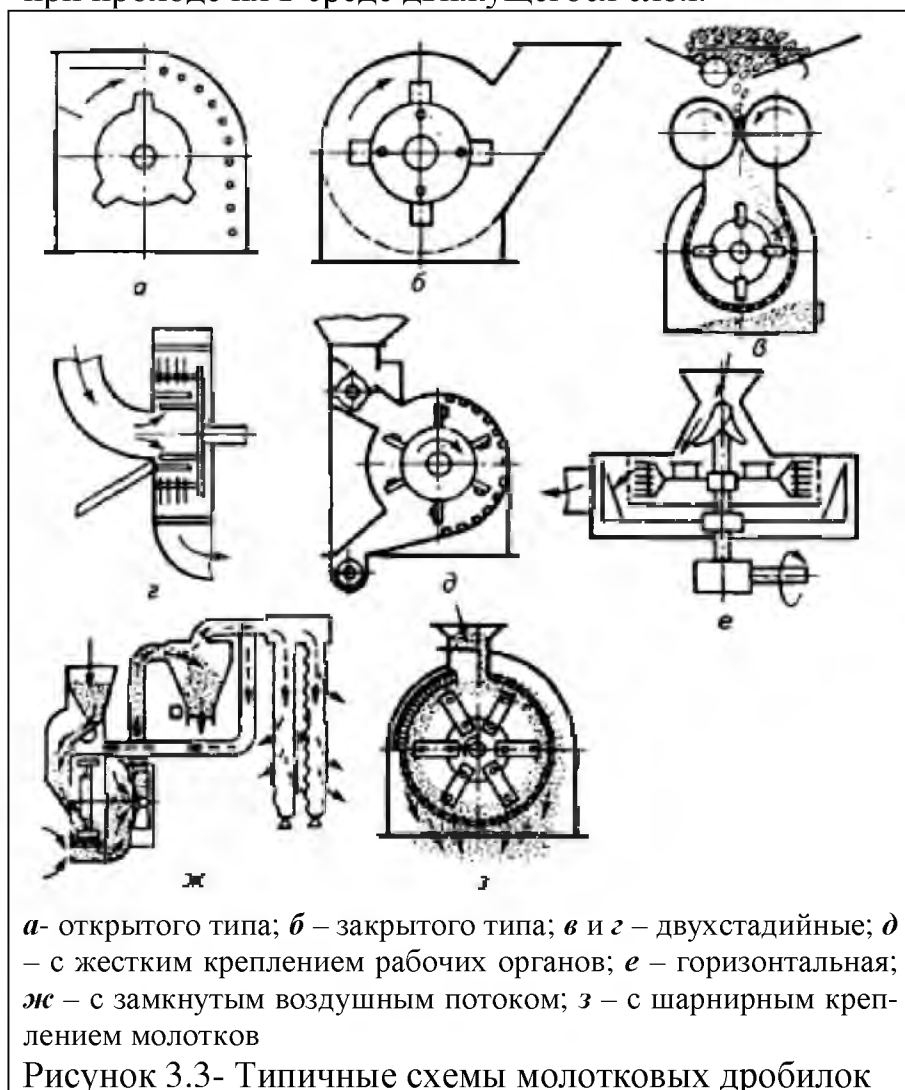


Рисунок 3.2 –Принципиальные схемы молотковой дробилки

Рабочий процесс дробилки протекает следующим образом. Измельчаемый материал через загрузочную горловину подается в дробильную камеру, где при помощи молотков и дек разрушается на частицы, которые через решетку и выгрузную горловину удаляются из дробилки.

Типичные схемы молотковых дробилок сельскохозяйственного назначения изображены на рисунке 3.3. В зависимости от организации рабочего про-

цесса в рабочей камере различают дробилки открытого (рис. 3.3, а) или закрытого (рис. 3.3, б) типа. В дробилках открытого типа материал из дробильной камеры быстро удаляется, не замыкая при своем перемещении окружности. В таких дробилках измельчается главным образом крупнокусковой, хрупкий, сухой материал (гранулы, мел, ракушки, соль). Основным механическим фактором процесса является свободный удар молотка по кускам значительной массы. В дробилках закрытого типа решето и деки охватывают весь барабан, и материал, поступивший в дробильную камеру, при перемещении совершает многократные круговые движения, располагаясь в камере в виде рыхлого воздушно-продуктового слоя. Здесь измельчение материала происходит за счет многократноударного воздействия молотков и истирания при проходе их в среде движущегося слоя.



Требуемое число ударов зависит от прочностных свойств материала и скорости соударений. Согласно опытным данным, для измельчения зерен ячменя до средней крупности требуется нанести до 30...40 ударов влет при скорости 40...45 м/с. Циркуляция материала обусловлена наряду с ударным действием молотков течениями воздушных потоков в камере. Одни потоки совершают круговые движения и вызывают скольжение воздушно-продуктового слоя по решету, ограни-

чивая тем самым его пропускную способность. Другие потоки наряду с центробежными силами способствуют выносу частиц из зоны измельчения в за-решетное пространство. Пропускная способность решета обусловлена площадью его живого сечения. Чем больше живое сечение решета, тем выше производительность дробилки. Для обеспечения надежной работы дробилки необходимо, чтобы скорость воздушного потока в замкнутой пневмосистеме

была 18 м/с и более. Она создается или ротором дробилки, или специальными вентиляторными устройствами.

Широко применяются щековые, конусные и валковые дробилки. **Щековая дробилка** - дробление в которой осуществляется сжатием материала между щеками (схема дробилки представлена на рисунке 3.4). В щековых дробилках материал дробится раздавливанием, изгибом. Одна щека обычно неподвижна, другая качается от приводного механизма. При сближении щёк материал раздавливается, а при отходе подвижной щеки выпадает из дробилки. Щековые дробилки способны выполнять ряд наиболее сложных задач. Они могут использоваться в качестве самостоятельного оборудования и совместно с конусными дробилками, что дает возможность значительно уменьшить конечный размер материала. Щековая дробилка применяется и при первичной обработке (абразивных и особо твердых материалов), и при вторичном дроблении железобетона, строительного камня и пр. Щековые дробилки могут применяться в различных отраслях промышленности, таких как: горнорудная, химическая, металлургическая, строительная, полимерная, производство строительных материалов, и многих других. Они предназначены для дробления хрупких материалов (руда, камень, минералы, бетон, стекло, керамика и многие другие).

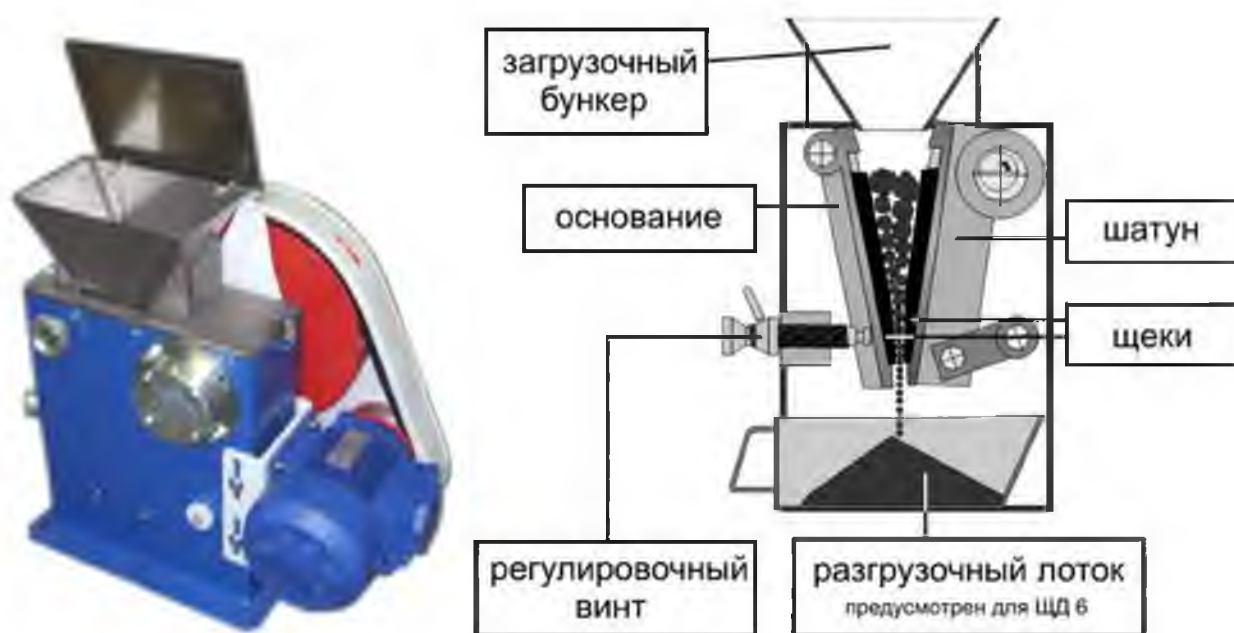


Рисунок 3.4 – Внешний вид и конструкция щековой дробилки

Конусная дробилка - дробление в которой осуществляется сжатием материала между конусами, расположенными один внутри другого (схема дробилки представлена на рисунке 3.5). В конусных дробилках дробление производится внутри неподвижной конусной чаши конусом, совершающим круговое качение (гирационное движение). В месте сближения конусов материал раздавливается, разламывается изгибом и выпадает вниз при отходе конуса.

В конусных дробилках крупного дробления неподвижная конусная чаша установлена вершиной вниз, дробящий конус крутой, угол при вершине около 20°. В зависимости от модификации эти дробилки могут найти применение

ние в следующих областях: дробление абразивных, особо прочных и строительных материалов (преимущественно вторичная переработка; дробление горных пород (использование в горно-обогатительной промышленности); при производстве цемента и других материалов (строительная индустрия). Конусные дробилки могут применяться при переработке отходов строительных материалов, ферросплавов, минералов, керамики, стекла, огнеупоров, боя абразивного инструмента, шлаков, алмазов, отработанных формовочных смесей, угля и многих других материалов. В лабораториях конусные дробилки применяются в процессе пробоподготовки для измельчения проб. Регулировка гранулометрического состава происходит за счет изменения зазора между мелющими конусами, подбора амплитуды колебаний дробящего конуса, выбора частоты вращения ведущего дебаланса.

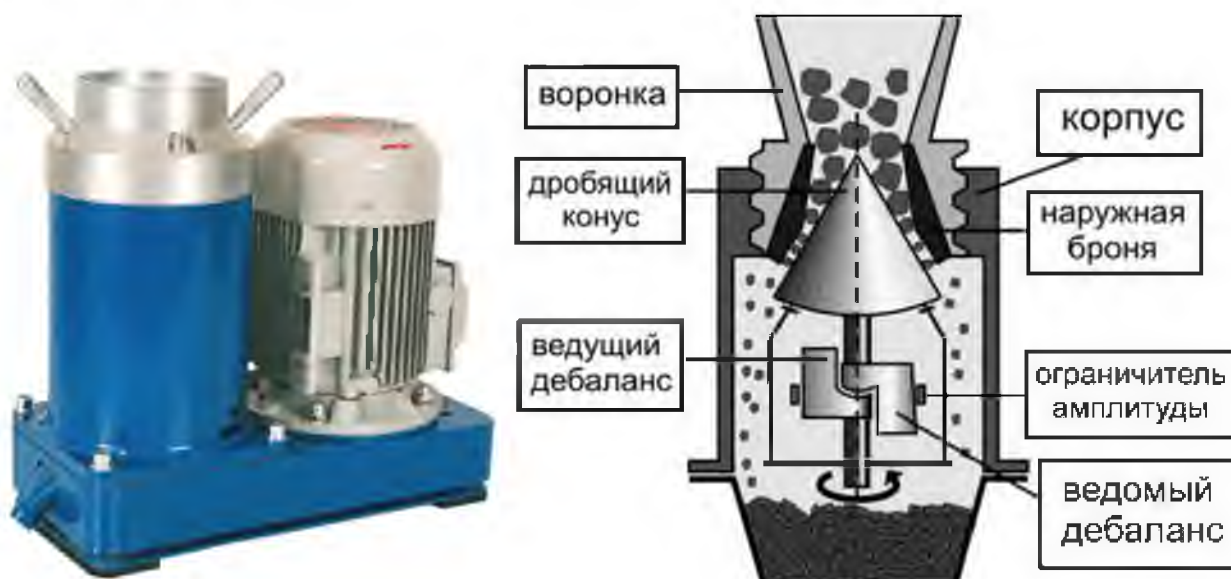


Рисунок 3.5 – Внешний вид и конструкция конусной дробилки

Валковая дробилка - дробление в которой осуществляется сжатием материала между вращающимися валками или валком и неподвижной плитой (схема дробилки представлена на рисунке 3.6). Валковые дробилки материал затягиваются силами трения и раздавливаются между двумя параллельными цилиндрическими валками, вращающимися с одинаковой скоростью навстречу друг другу. Валки затягивают кусок материала, если диаметр валка приблизительно в 20 раз больше размера исходного куса материи.

Промышленность выпускает различные типы дробилок, как малой производительности, так и большой (рис.3.7). Все типы дробилок широко применяются в АПК на предприятиях переработки растениеводческой продукции, а также в технологических комплексах приготовления кормов для животных. В эксплуатации находятся как ранее выпускаемые дробилки и измельчители, так и новые более совершенные. Также сегодня поступает много импортного оборудования, в том числе дробилки и некоторые хорошо себя зарекомендовали.

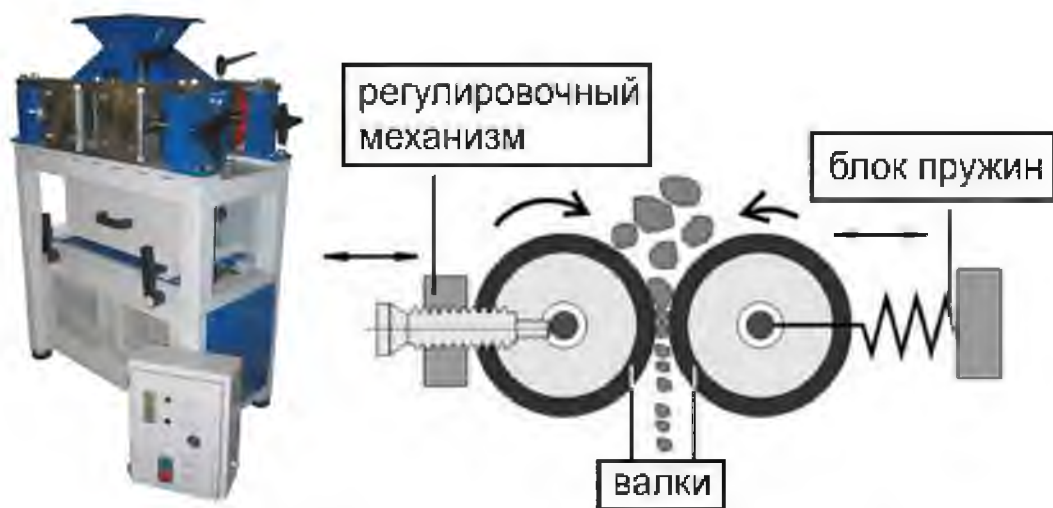


Рисунок 3.6- Внешний вид и конструкция валковой дробилки

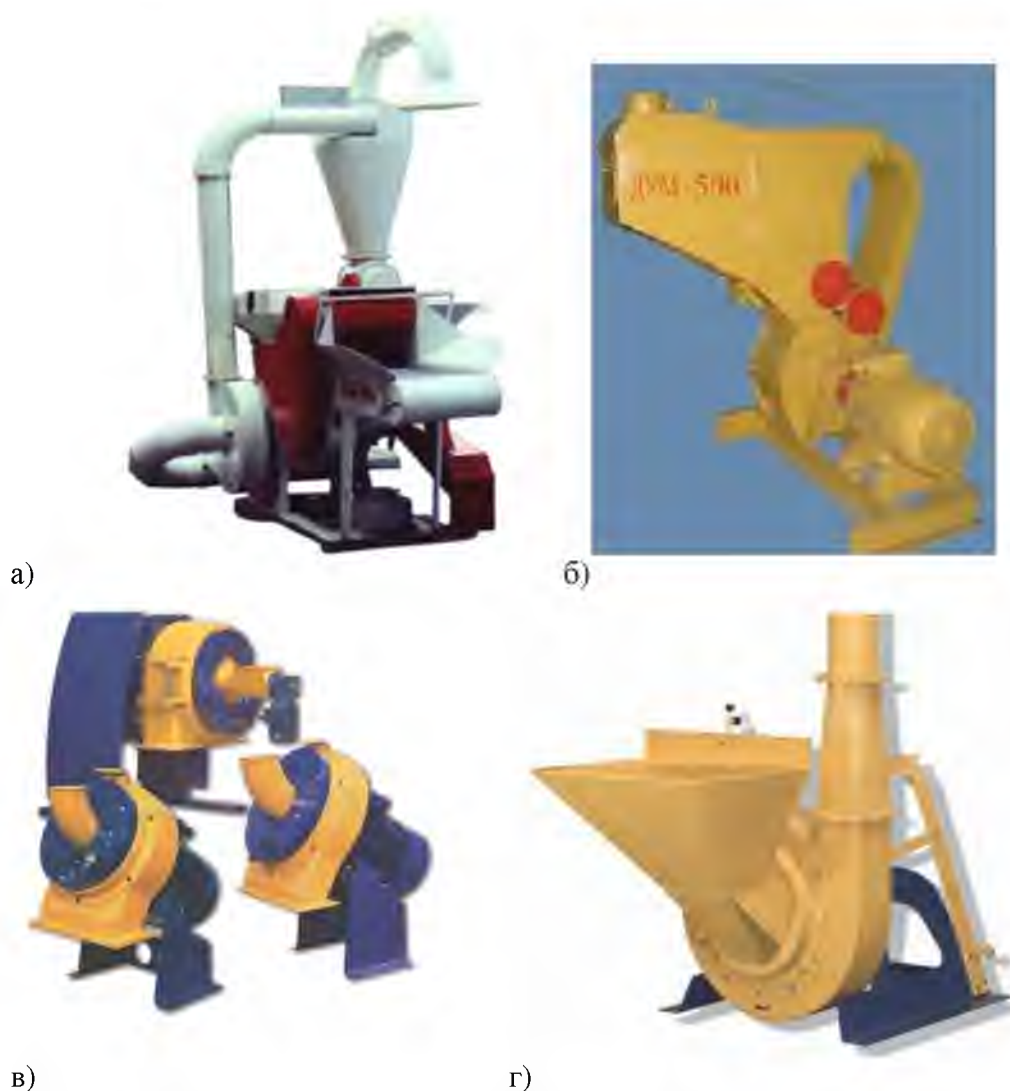


Рисунок 3.7 -Внешний вид дробилок КДУ2 (а), ДКМ-500 (б), молотковые и дисковые мельницы Skiold (в); кукурузная мельница ВМ-5-1000 (г);

Дробилка КДУ2 (рис.3.7, а) предназначена для измельчения зерновых культур, кукурузы в початках, жмыхового шрота, сена и хвои для приготовления витаминной муки и других грубых кормов для разных видов и возра-

тных групп животных. Дробилка состоит из следующих основных узлов : камеры с дробильным барабаном и вентилятором; циклона со шлюзовым затвором и трубопроводами; измельчающего устройства с ножевым барабаном и транспортерным питателем , электродвигателя (30 кВт) с комплектом пускового оборудования и рамы. Рабочий процесс КДУ-2 может быть организован по трем схемам настройки:

1. Для измельчения зерновых в камеру дробилки вставляют решето и отключают режущий барабан, снимая с его шкива клиновые ремни.
2. При измельчении кукурузных початков и грубых кормов (сено, солома) шкив режущего барабана соединяют клиноременной передачей со шкивом электродвигателя.
3. При измельчении сочных кормов (трава, силос, корнеплоды) из дробильной камеры вынимают решета, колено всасывающего трубопровода, соединяющего патрубков дробильной камеры с вентилятором, снимают и устанавливают вместо решет выбросную горловину и дефлектор. В этом случае пневмосистема разомкнута и воздушный поток из дробильной камеры вместе с измельченным продуктом под большим давлением выходит через выбросную горловину.

Дробилка кормов молотковая ДКМ-500 (рис.3.7, б) предназначена для измельчения зерна в технологических линиях приготовления кормов на животноводческих фермах или зерноскладах. Производительность дробилки – 4 т/час. Мощность электродвигателя – 33, 7 кВт.

Молотковые мельницы UB 40 от NEUE-RO System разработаны для производства кормов из зерновых и других материалов (рис.3.7, в, г). Производительность мельниц составляет, в зависимости от двигателя, от 600 кг/ч до 6500 кг/ч в зависимости от применяемого продукта. Имеется механическая подача и отвод спиральными или скребковыми шнеками с частотным регулированием, для обеспечения оптимальной загрузки мельницы. Электрическая энергия используется только для операции помола, а не для пневматической подачи сырья в или из мельницы. В качестве приводных электродвигателей используются электрические машины мощностью 7,5...22 кВт. Дисковая мельница Skiold (рис.3.7, в) является результатом многолетней разработки и испытания установки. Преследовалась цель разработать универсальную мельницу для помола зерна, бесшумную, с минимальным расходом энергии, а также беспыльным помол. Помол осуществляется между двумя дисками из твёрдого сплава. Помол осуществляется в два этапа. Сначала сырьё грубо перемалывается между двумя стальными распределителями. После этого следует завершающий помол между дисками. Эти диски состоят из определённого количества сегментов с высокой твёрдостью. Мельница поставляется в трёх размерах: SK2500 с электрическим двигателем 5,5 или 7,5 кВт, SK5000 с электрическим двигателем 15 или 22 кВт и SK10T с электрическим двигателем 55 кВт. При перемалывании пшеницы производительность варьируется между 1-12 т/ч, в зависимости от размера мельницы/степени помола. Нормальный расход энергии составляет 5 кВт/ч на тонну перемалываемого материала. Двигатель непосредственно соединяется с вра-

щающимся диском. Этой же фирмой выпускается кукурузная мельница тип ВМ-5-1000 (Рис.3.7, г) с высокой производительностью помола 10-25 т/ч.

Комплектно смонтированная, компактная установка для помола и смешивания PICCOLO (рис.3.8, а). В ее состав входит молотковая мельница 5,5 кВт или 7,5 кВт оснащенная компрессором. Он всасывает материал для помола из предварительной ёмкости и задувает его после процесса обмола в ёмкость смешивания. Мельница может быть оснащена различными ситами, чтобы получить желаемую структуру корма. Производительность установки Piccolo зависит от материала обмола, содержания влажности в нём, а также от содержания в нем примесей. Под ёмкостью предварительного смешивания вмонтирован сепаратор инородных тел. Сигнализатор холостого хода останавливает установку, когда опустошается накопительная ёмкость. Технические показатели: вес пустой установки 480 кг; молотковая мельница в производительностью 300-800 кг/ч; устанавливаемые электродвигатели 5,5 кВт...7,5 кВт; смеситель вместимостью 1200 л; электродвигатель 2,2 кВт; ёмкость предварительного смешивания вместимостью 575 л.

Давилка KB160 существует в 2 версиях с двумя или тремя валиками (рис.3.8, б). Для давления разных видов зерновых таких как вёс, ячмень и пшеница используется версия с двумя валиками. Если нужно подробить горох, кукурузу или фасоль, необходим третий валик для крупного дробления этого сырья перед окончательным процессом дробления. Если возникает потребность, например, подробить горох, имеющаяся дробилка с двумя валиками может быть оснащена третьим валиком. Дробилки KB200 KB300 оснащены серийно тремя валиками. Мощность приводных электродвигателей от 1,5 до 7,5 кВт при производительности от 0,5 до 1,7 т/ч.



Рисунок 3.8 - Установка для помола и смешивания PICCOLO (а) и давилки KB80 – KB300.

Для измельчения зерновых кормов используют безрешётную дробилку ДБ-5 (рис.3.9).

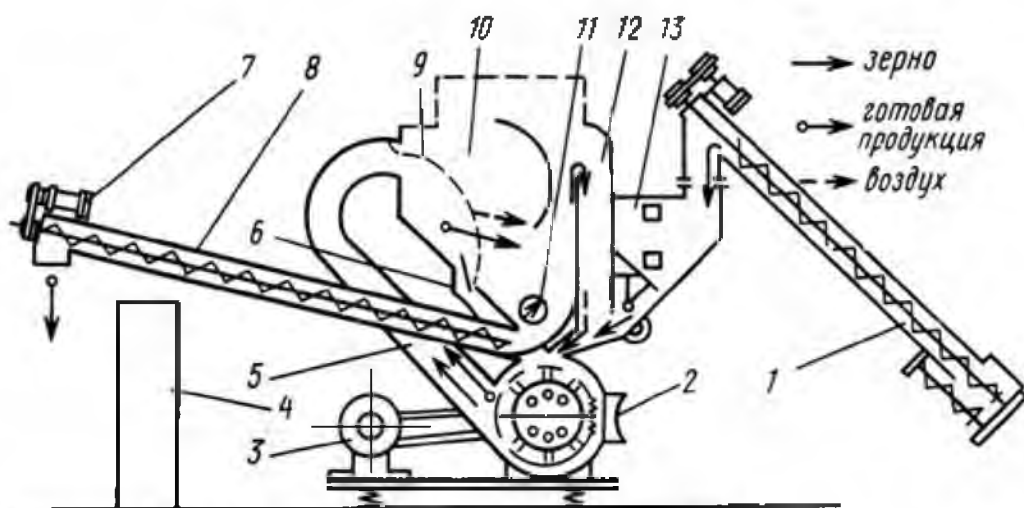


Рисунок 3.9 - Структурная схема дробилки ДБ-5

Зерно подаётся в бункер загрузочным шнеком 1, а после наполнения бункера шнек отключается. Подача зерна на измельчение происходит через канал. После сигнала автоматического регулятора заслонка поднимается или опускается, поддерживая определенную толщину слоя зерна, поступающего в дробильную камеру 2 на измельчение. Зерно под действием силы тяжести и разрежения, создаваемого вращающимся ротором, поступает на измельчение. Измельчение зерна происходит за счёт воздействия на него вращающегося ротора. Под воздействием шарнирно-подвешенных молотков и зерно измельчается за неполный оборот ротора и выносится за пределы дробильной камеры 2. Транспортирование измельчённого материала из дробильной камеры 2 в кормопровод 5 осуществляется за счёт швыркового эффекта ротора и воздушного потока, создаваемого им. Интенсификация воздушного потока происходит за счёт вихревой камеры, установленной в корпусе дробилки. Смесь измельчённого материала и воздуха по кормопроводу поступает в разделительную камеру 10. Подача готовой фракции осуществляется шнеком 11 разделительной камеры 10, который перегружает готовый продукт в выгрузной шнек 8.

Также имеются в продаже много бытовых дробилок, чаще всего универсального типа (рис.3.10).

В сельском хозяйстве также используют измельчители кормов. В СССР для измельчения грубых кормов (солома, стебли кукурузы и др.) использовали ИГК-30А (производительность до 3 м³/ч), в котором дробление производится быстровращающимся диском и неподвижной декой со штифтами, расщепляющими солому вдоль волокон и измельчающими поперёк до мякинообразной массы (рис.3.11). Чтобы получить тонкое измельчение и более равномерный гранулометрический состав частиц используют измельчитель кормов ИКВ-5В «Волгарь-5» (рис.3.12). Корнеплоды, клубни картофеля, зелёную массу и другие продукты измельчают (и перемешивают) с производительностью 5—10 м³/ч. Основные рабочие органы его — режущий барабан с ножами и режущий аппарат. Солома, сено низкого качества и другие грубые корма подвергают измельчению с целью повышения поедаемости и создания усло-

вий, необходимых для осуществления последующих технологических операций.



Рисунок 3.10– Универсальные дробилки бытового типа

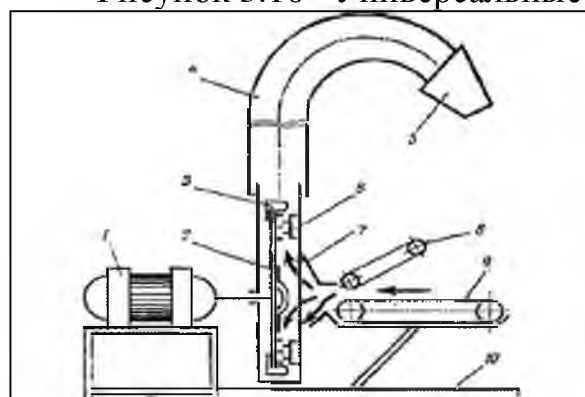


Рисунок 3.11 -Измельчитель гру-
бых кормов ИГК-30А

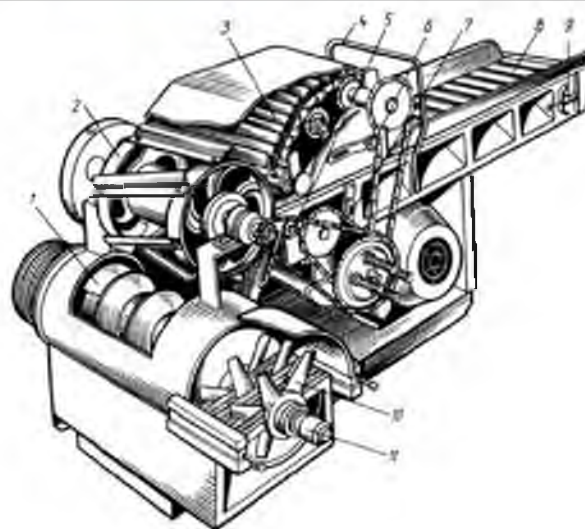


Рисунок 3.12 – Измельчитель кормов
«Волгарь-5»

Подаваемый из кормоприёмника-измельчителя корм располагается (или укладывается вручную) ровным слоем на подающем транспортёре 8, уплотняется натяжным транспортёром 3, а затем направляется в аппарат первичного резания. Ножевой барабан 2 предварительно измельчает массу до размеров частиц резки 20 - 80 мм. Спиральные ножи барабана в сечении имеют Г-образную форму, их лезвия описывают окружность диаметром 450 мм. На барабане установлено 6 ножей с углом заточки $35^{\circ}40'$ и углом подъёма винтовой линии 70° . Угол заточки противорезающей пластины 75° . Зазор между лезвием ножей и противорезающей пластиной устанавливают в пределах 0,5 - 1 мм. Измельчённый режущим барабаном корм падает на шнек 1 и направляется им в аппарат вторичного резания, состоящий из 9 подвижных и 9 неподвижных ножей. Этот аппарат измельчает корм до фракции размером 2 - 10 мм. Готовый корм выбрасывается через нижнее окно в корпусе измельчителя на транспортёр, расположенный в приемке. При измельчении соломы и сена размер резки должен быть для крупного рогатого скота 40 - 50 мм, лошадей – 30 - 40 мм, овец – 20 - 30 мм. Более мелкую резку (6 - 10 мм) готовят, если в дальнейшем её смешивают с сочными кормами. При измельчении грубостебельных кормов (полынь и др.) для каракульских овец длина частиц должна быть 3 - 9 мм.

Определить производительность барабанного измельчителя можно по формуле:

$$Q = 0,06a_{max} BL_p \rho_0 zn\beta, \text{ т/ч}, \quad (3.1)$$

где ρ_0 – объёмная масса, уплотнённая питающим аппаратом, корма, кг/м³ (ρ_0 принимают: для соломы – 54...100 кг/м³; для сена – 106 кг/м³; силоса – 405 кг/м³; зелёной массы – 234 кг/м³); β – коэффициент, учитывающий снижение пропускной способности барабанного измельчителя из-за несовершенства питающего аппарата ($\beta = 0,5...0,7$); a_{max} - максимальная толщина слоя; B - ширина барабана; L_p - расчетная длина резки подаваемого слоя; z - число ножей барабана; n - частота вращения барабана, об/мин ($n = 725$ об/мин).

Соломосилосорезка РСС-6Б предназначена для измельчения зелёной массы, силоса и соломы. Выпускается в двух вариантах: стационарном, с приводом от электродвигателя, и передвижном с приводом от ВОМ трактора. Основные сборочные единицы соломосилосорезки – рама, подающий и подпрессовывающий транспортёры, питающие вальцы, режущий аппарат, дефлектор и привод. Соломосилосорезку (рис.3.13) устанавливают на кормоприготовительных площадках или в кормоцехах животноводческих ферм. Её производительность составляет 2,5 т/ч при измельчении соломы и 7 т/ч при измельчении зелёной массы. Машина измельчает массу до частиц с размером от 10 до 120 мм. Длину резки регулируют установкой на диске 2, 3, и 6 ножей и сменными шестернями привода подающего транспортёра. Мощность электродвигателя 17 кВт.

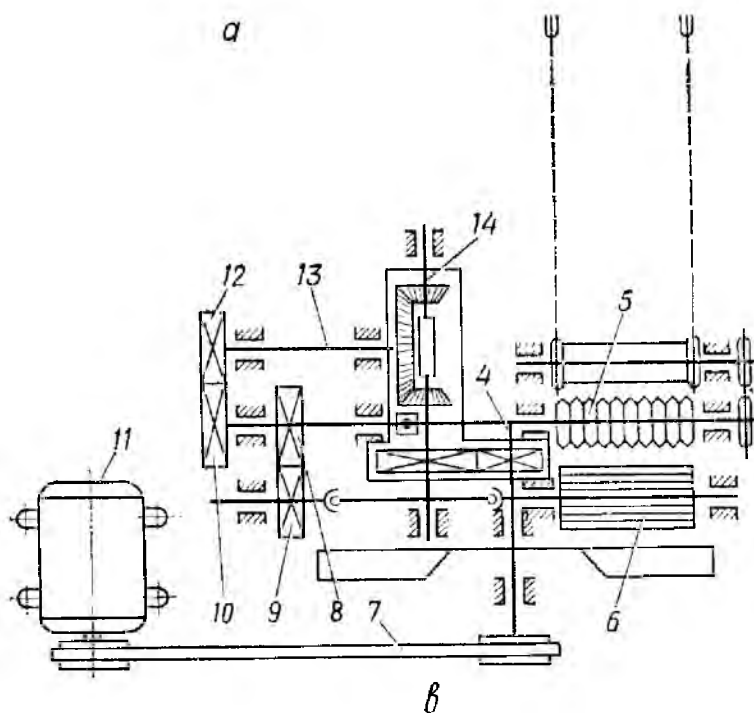


Рисунок 3.13 - Кинематическая схема соломосилосорезки РСС-6Б

соломы и других грубых кормов, заготавливаемых в рассыпном виде, в тюках и рулонах с одновременной погрузкой измельчённого корма в транспортные средства. Машина имеет раму, ходовую часть, поворотный загрузочный бункер, дробильную камеру с барабаном молоткового типа, горизонтальный и наклонный транспортёры. Корма в бункер загружают грейферным погрузчиком ПЭ-0,8 или Т-150К или К-701. Производительность ИРТ-165 при измельчении сена влажностью 20% составляет 16 т/ч. Степень измельчения корма регулируют сменными решетками, которые выпускаются с отверстиями диаметром от 20 до 75 мм.

Измельчитель-смеситель кормов ИСК-3 применяют для измельчения и смешивания сена, соломы, веточного корма и корнеплодов при приготовлении кормосмесей. Привод рабочих органов ИСК-3 (рис.3.14) осуществляется от электродвигателя мощностью 40 кВт. Рабочие органы – ножи и противорезающие пластины. Производительность ИСК-3 составляет 20...25 т/ч. Машина может работать отдельно и в комплекте технологической линии приготовления кормосмесей силоса, корнеклубнеплодов, концентратов и соломы, обработанной термохимическим способом. Грубые корма скребковым транспортером подаются в приемную камеру 3. Под действием силы тяжести и всасываемого воздуха (швырялкой 1) корма поступают в камеру смешивания. Добавки подаются через форсунки. Под действием ножей 5, противорезов 6 и деки 2 происходит измельчение и смешивание кормов, затем выгружается транспортером 9. Продолжительность смешивания и измельчения регулируется шибером и количеством противорезающих элементов и секций дек. Часто ИСК-3 работает в составе технологических линий приготовления кормов и в этом случае от его производительности и надежности работы зависят показатели всей линии, что влияет на продуктивность животных.

Производительность дисковой соломосилосорезки определяется по формуле:

$$Q = k\rho a b l \omega, \quad (3.2)$$

где k - число ножей; ρ - плотность перерабатываемого материала, кг/м³; a и b - соответственно высота и ширина горловины; l - длина резки, м; ω - угловая скорость, с⁻¹.

Измельчитель рулонов и тюков ИРТ-165 служит для измельчения сена, со-

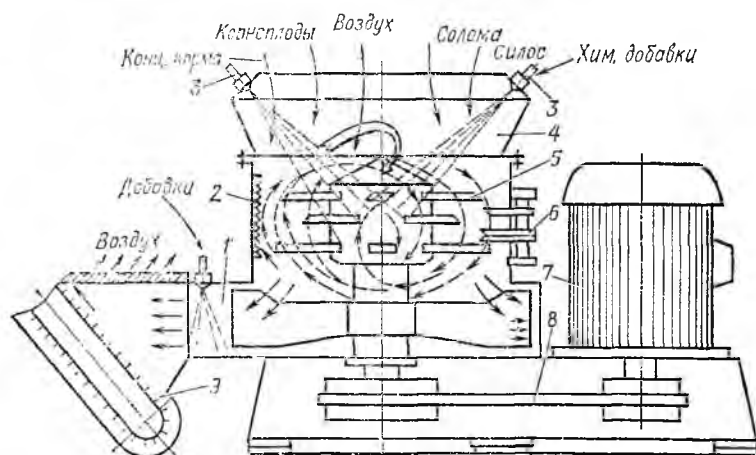


Рисунок 3.14 - Технологическая схема измельчителя-смесителя кормов ИСК-3

Измельчитель силоса ИС-2 (производительность 1,5—3,5 т/ч) предназначен для измельчения зелёных растений и корнеклубнеплодов. Ножевой аппарат его превращает корм в мелкую сечку; при установке же сменной противорежущей пластины (в виде диска с отверстиями) можно получать пастообразную массу. Для измельчения грубых кормов мож-

но также применять дробилки-измельчители ДИП-2, универсальные агрегаты АПК-10А, измельчители-смесители кормов ИСК-3 и др.

С целью повышения эффективности использования питательных веществ грубых кормов соломенную или сенную резку смешивают с другими видами кормов (корнеплоды, силос, концентраты, кормовые дрожжи и др.). К сочным кормам относят корнеплоды, картофель, зелёный корм, силос, плоды бахчевых культур, свежую капусту, водоросли. Корнеплоды и картофель подвергают мойке, резке и смешиванию. Корнеплоды рекомендуется скармливать коровам в цельном виде (кроме мелких), а свиньям и птице – в измельчённом. Толщина резки корнеплодов при скармливании крупному рогатому скоту должна быть 10 - 15 мм, телятам – 5 - 10, свиньям – 5 - 10, птице – 3 - 4 мм. Фактическая загрязнённость корнеклубнеплодов может достигать 12 - 20%, после мойки она не должна быть выше 2%. Картофель скармливают крупному рогатому скоту сырым в измельчённом виде, а свиньям – варёным в виде смеси с концентратами и травяной мукой. Варёный картофель перед скармливанием мнут на картофелемялке. Размеры неразрушенных частиц не должны превышать 10 мм, и число таких частиц допускается не более 5 % от общей массы. Все корнеклубнеплоды готовят непосредственно перед скармливанием (не ранее чем за 2 часа) во избежание порчи. При приготовлении комбинированного силоса для свиней и птицы корнеплоды и картофель силосуют в смеси с измельчёнными зелёными кормами и травяной мукой. Если же его силосуют в сыром виде, то измельчают на частицы толщиной не более 5 - 7 мм. Для скармливания поросятам корнеплоды и силос измельчают наиболее тонко, до получения пасты.

Продукт в воде следует держать недолго, иначе вымываются ценные питательные вещества (крахмал, сахар). Для моек непрерывного действия общее время пребывания корнеклубнеплодов в воде должно быть в пределах 60...120 с. Это время складывается из времени отмокания (60...90 с), т.е. пребывания корнеклубнеплодов в загрузочной ванне, и времени мойки (30...40 с), т.е. пребывания в желобе шнека. По опытным данным расход воды в среднем составляет 250...300 кг на 1000 кг корнеклубнепло-

дов. Все корнеклубнеплоды обладают определенными физико-механическими свойствами (таблица 3.2), которые учитываются при проектировании как всей машины так и непосредственно электропривода.

Таблица 3.2 - Физико-механические свойства корнеклубнеплодов

Показатели	Картофель	Свёкла	Морковь
Диаметр (ширина), мм	65...100	150...180	40...60
Длина, мм	75...100	150...200	150...200
Влагосодержание, %	75	80	85
Объёмная масса, кг/см ³	700	650	580
Модуль упругости, МПа	34...54	54...83	69...83
Предел прочности при сжатии, МПа	10...18	13...24	13...25
Относительное сжатие, %	23...35	55...85	70...85
Угол естественного откоса, град: – в покое – в движении	35...40 25...30	35...40 25...30	24...26 17...18
Плотность, кг/м ³	500...750	500...750	500...750
Коэффициент трения о материалы: – сталь – дерево – резину	0,45...0,60 0,45...0,68 0,5...0,8	0,45...0,60 0,45...0,68 0,5...0,8	0,45...0,60 0,45...0,68 0,5...0,8
Высота сбрасывания на, м: – сталь – дерево – резину – одноименный груз	0,3...0,4 0,25...0,5 0,5...0,75 1...1,25	0,2...0,6 0,4...0,75 0,75...1 1...1,5	0,25...0,35 0,4...0,5 0,75...1 1,15...1,3

По конструкции рабочих органов корнеклубнемойки разделяются на кулачковые, барабанные, дисковые и с винтовым конвейером (рис.3.15).

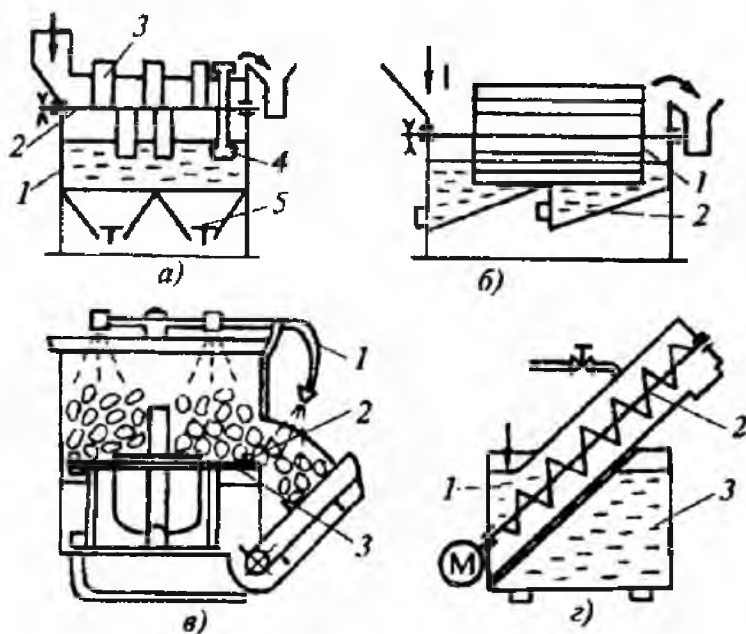


Рисунок 3.15 - Схемы корнеклубнемоёк

плодов о рабочие органы машины и друг о друга. Грязь, разбавляясь водой, оседает в определённых ёмкостях машины.

По способу перемещения и установки они бывают стационарными и передвижными. В зависимости от технологии мойки корнеклубнеплодов их различают периодического и непрерывного действия. В настоящее время корнеклубнемойки совмещены с измельчающими аппаратами и преобразованы в корнеклубнемойки-корнерезки. Рабочий процесс всех моек основан на отделении загрязнений при трении корнеклубне-

Кулачковая корнеклубнемойка (рис. 3.15, а) имеет ванну с решёткой и рабочий орган – вал с укрепленными на нём по винтовой линии кулаками. У выходного торца на валу установлены выгрузные лопасти, которые переносят клубни за пределы ванны. Ванна представляет собой желоб, по длине перегороденной на секции, в которых устроены камнеуловитель и люки для удаления камней и грязи. Барабанная корнеклубнемойка (рис. 3.15, б) имеет рабочий орган в виде пластинчатого барабана, вращающегося в ванне с водой. Корнеплоды, поступая с торца ванны и перемещаясь вдоль барабана, проходят путь, во время которого освобождаются от загрязнений. Вымытые корнеплоды выбрасываются из барабана лопастью, укрепленной на его внутренней стенке у выгрузного торца. Машины этого типа используют также для сухой очистки (без применения воды). Дискосвая корнеклубнемойка (рис. 3.15, в) имеет моющий рабочий орган в виде плоского диска, к поверхности которого приварены выступы, выполняющие роль встряхивателей. Корнеплоды, попадая на вращающийся диск, совершают вместе с ним круговое движение и, пробуксовывая относительно поверхности диска, перемешиваются под действием выступов. Одновременно подаваемая из кольцевого оросителя вода отмывает загрязнения. Шнековая корнеклубнемойка (рис. 3.15, г) представляет собой шнек, установленный в ванне. Шнек уложен в трубе, имеющей наклон к горизонту 25...90°. Труба, решетчатая в нижней части вместе с подающей частью шнека помещена в бункер с водой и корнеплодами. При вращении шнека его витки захватывают продукт и перемещают его вдоль трубы к выходному окну. Навстречу продукту в трубу шнековой мойки подводят поток воды из отстойника ванны. Загрязнения оседают на дне ванны, которые периодически удаляются через специальный люк.

Измельчители корнеплодов различают (рис. 3.16): дисковые, дисковые с вертикальным валом, барабанные и с неподвижными ножами. К измельчителям корнеклубнеплодов относятся корнерезки, корнетёрки и различные измельчители, отличающиеся друг от друга устройством рабочих органов и степенью измельчения материала.

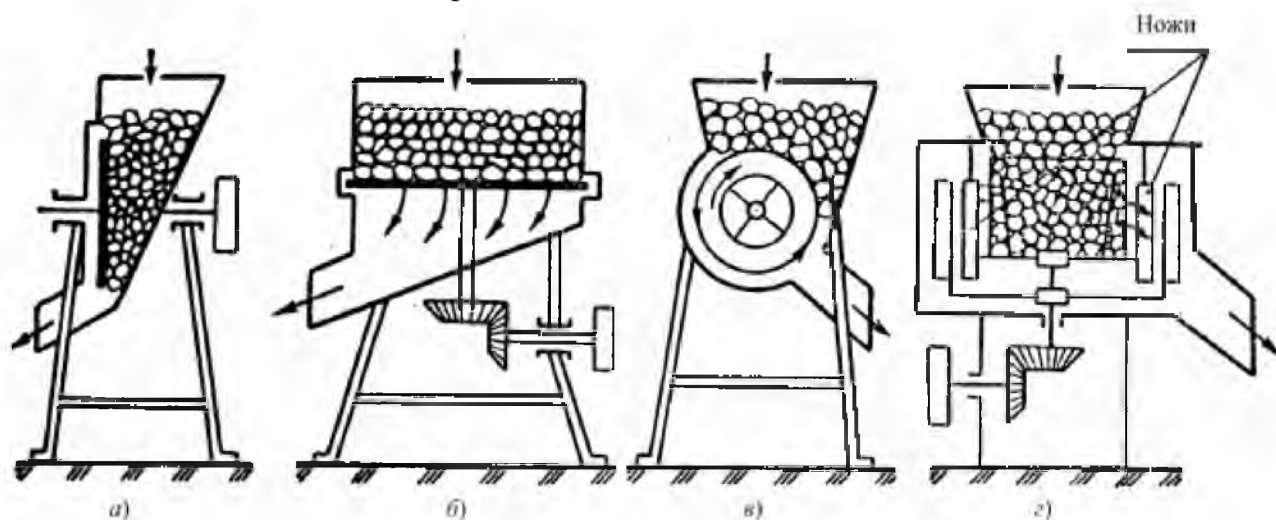


Рисунок 3.16– Измельчители корнеплодов

Промышленность СССР выпускала корнерезку КПИ-4 и мойку-корнерезку МРК-5. Основные узлы КПИ-4: электродвигатель, загрузочный бункер, камера измельчения, где установлены два диска с ножами, дека и выбрасывающий диск. К выгрузному люку корпуса прикреплен выгрузной рукав, по которому измельченные корнеплоды направляются в приёмную тару или на транспортёр. С помощью дисков и ножей регулируют величину резки от 1—3 мм (мелкая) до 5—8 мм (крупная). Производительность машины — мелкой резки 4 т/ч, крупной — 7 т/ч. Мойка-корнерезка МРК-5, кроме измельчающего аппарата, имеет приспособление для предварительной мойки корнеклубнеплодов — кольцевой ороситель, соединяющийся с водопроводом резиновым шлангом. При отключении измельчающего аппарата машину можно использовать только как мойку. Измельчитель ИКС-5М предназначен для мойки и измельчения различных корнеклубнеплодов (рис.3.17). Корнеклубнеплоды из приемного бункера 2 поступают в шнек 3, где одновременно моются водой, подаваемой насосом 6 из ванны 1. Чистые корнеклубнеплоды направляются в измельчающий барабан с шарнирно закрепленными молотками 4.

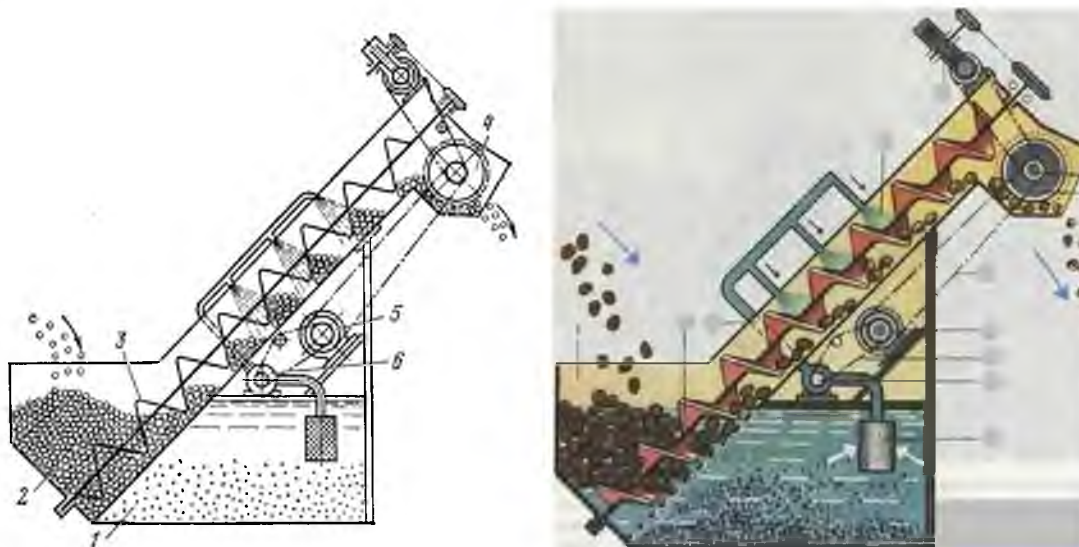


Рисунок 3.17 - Технологическая схема измельчителя корнеклубнеплодов ИКС-5М

Измельчитель-камнеуловитель ИКМ-5 (рис. 3.18) состоит из рамы 1, ванны 12, конвейера-камнеуловителя 2 и мойки. К верхней части на кожухе 5 смонтирован измельчитель 9 с электродвигателем 10, а внутри кожуха расположен вертикальный винт 11, на валу которого в нижней части установлен крылач 13, а в верхней части – выбрасыватель корней 7. Винт в нижней части опирается на капроновую пятку. Измельчающий аппарат 9 расположен в измельчающей камере и состоит из верхнего и нижнего дисков с ножами. На верхнем диске для предварительного измельчения продукта расположены два горизонтальных и один вертикальный ножи. Нижний диск имеет только вертикальные ножи и лопатки для выбрасывания измельчённого корма. Все рабочие органы измельчителя насажены и закреплены непосредственно на валу электродвигателя. В измельчающей камере устанавливается сменная дека, нижняя цилиндрическая часть которой выполнена в виде

зубьев. Рабочий процесс протекает следующим образом. Открытием водяного крана заполняют моечную ванну водой до уровня переливной трубки. Затем включают измельчитель 9, винт 11 и конвейер 2, а после них включают конвейер подачи корней на мойку. В моечной ванне вращающимся водяным потоком, создаваемым крылачом 13, корнеклубнеплоды отмываются и винтом транспортируются к измельчителю. Загрязнения, камни и металлические примеси отбрасываются крылачом в приёмник конвейера –камнеудалителя 2 и удаляются за пределы установки. В процессе перемещения корнеплодов винтовым конвейером к выбрасывателю 7 они дополнительно обмываются встречным потоком воды, выходящей из душевой установки 4. Ножами верхнего диска корни предварительно измельчаются в стружку, которая отбрасывается на деку и, проходя между ножами противорежущей гребенки и нижнего диска, доизмельчается и выбрасывается лопатками через направляющий рукав наружу.

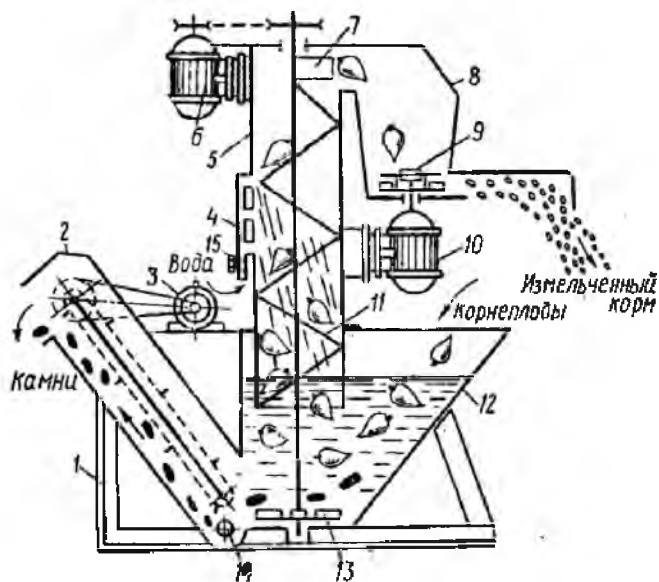


Рисунок 3.18 - Измельчитель-камнеудалитель ИКМ-5М

Определить производительность, кг/ч корнерезки можно по формуле:

$$Q = 60V_1 \rho n, \quad (3.3)$$

где ρ – объёмная масса корнерезки, кг/м³, для ИСК-3 $\rho = 400$ кг/м³; n – частота вращения режущего аппарата, об/мин; V_1 – объём продукта, отрезаемого ножами за один оборот, м³.

Определить объём продукта, отрезаемого ножами за один оборот,

$$V_1 = F_1 h_1 Z_1 k_1 k_2, \quad (3.4)$$

где h_1 – толщина резки, м; Z_1 – количество ножей на i -й ступени резания, шт.; k_1 – коэффициент использования длины лезвия, $k_1 = (0,75 \dots 0,85)$; k_2 – конструктивный коэффициент использования ножей, $k_2 = (0,80 \dots 0,90)$; F – площадь, очерчиваемая ножом за один оборот вала, м².

3.2. Механические, инерционные, энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы машин для измельчения продукции растениеводства

Данный тип машин, как правило, запускается на холостом ходу. В связи с этим для проектирования электропривода имеет определенное значение механическая характеристика при пуске без нагрузки. Вид таких характеристик представлен на рисунке 3.19.

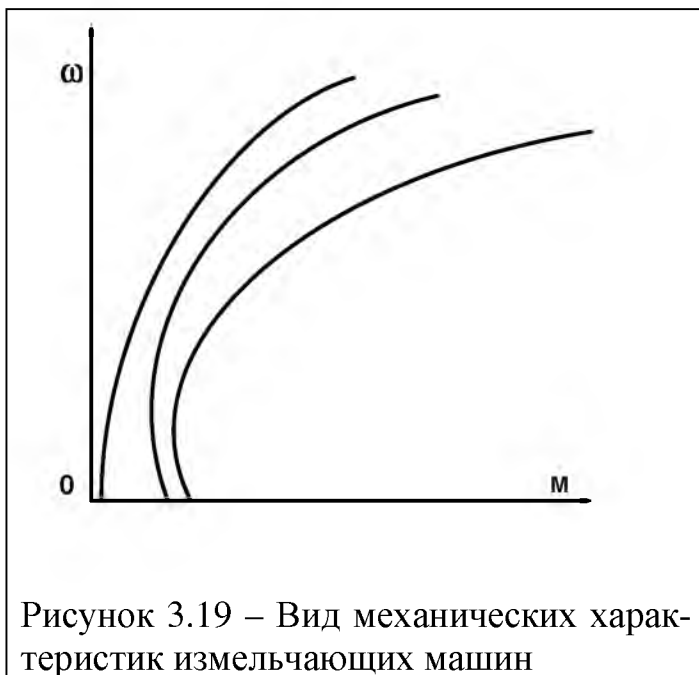


Рисунок 3.19 – Вид механических характеристик измельчающих машин

Как видно из рисунка механические характеристики имеют вентиляторный вид и может наблюдаться повышенное значение момента трогания, а затем по мере разгона его снижение. Значение моментов сопротивления в процессе запуска на холостом ходу для некоторых машин дано в таблице 3.3, здесь же приведено данные по моменту инерции.

Необходимо отметить значительную инерционную составляющую этих машин. Данный параметр влияет на время пуска и торможения электропривода и

в связи с этим время достижения номинальной угловой скорости измельчающих машин находится в интервале 22- 45 с.

Данный класс машин имеет значительную величину мощности установленных электродвигателей. Это связано с большими энергетическими затратами на измельчение продукта. Необходимую мощность на привод $P_{пр}$ можно определить по следующему выражению:

$$P_{пр} = P_{изм} + P_{под} + P_{хх}, \quad (3.5)$$

где $P_{изм}$ - мощность, затрачиваемая на измельчение; $P_{под}$ - мощность необходимая для механизмов подачи (возможно выгрузки); $P_{хх}$ - мощность холостого хода.

Обычно мощность холостого хода составляет 10-15% от мощности необходимой для измельчения. Механизмы подачи рассчитываются отдельно и часто имеют свой привод. Расчет основной мощности – необходимой на измельчение, чаще рассчитывают через удельные энергозатраты и тогда общую формулу на привод можно представить в следующем виде:

$$P_{пр} = \frac{k_{хх} \cdot A_{изм} \cdot Q}{\eta_{общ}}, \quad (3.6)$$

где $k_{хх}$ - коэффициент, учитывающий потери на циркуляцию продукта и холостого хода, 1,1-1,2; $A_{изм}$ - удельные энергозатраты на измельчение продукта; Q - производительность измельчителя.

Таблица 3.3 – Значения моментов сопротивления и моментов инерции для измельчающих машин

Тип машины	Приведенный момент инерции рабочей машины и ротора электродвигателя, кг·м ²	Момент трогания, н·м	Минимальный момент, н·м	Момент при номинальной частоте вращения, н·м
Соломосилосорезка РСС-6,0	1,29	1,67	1,67	14,7
Измельчитель «Волгарь-5»	1,57	11,8	7,35	9,8
Измельчитель ИКС-5М	6,25	4,9	2,94	7,8
Измельчитель ИГК-30	11,4	2,94	2,94	16,7
Дробилка ДКУ-2	2,65	9,8	4,9	15,7
Дробилки КДУ-2	7,75	14,7	10,7	55

Значение удельной энергоёмкости приводится в справочной литературе и зависит от способа измельчения, вида продукта его влажности. Например, удельная энергоёмкость измельчения корнеклубнеплодов на различных машинах дана в таблице 3.4.

Таблица 3.4– удельная энергоёмкость измельчения корнеклубнеплодов

Тип машины	Удельная энергоёмкость,	
	кВт·ч/т	Дж/кг
Мойка-корнерезка МРК-5	0,68	2450
Корнерезка КПИ-4	1,0	3600
Измельчитель ИКС-5М	1,15	4140
Измельчитель «Волгарь-5»	1,20	4320
Кормодробилка КДУ-2	3,3	11900

Для дробилок кормов удельную энергию измельчения можно рассчитать по формуле:

$$A_{изм} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (3.7)$$

где C_1, C_2 - опытные энергетические параметры, для ячменя $C_1 = (10 \div 13) \cdot 10^3$, $C_2 = (6 \div 9) \cdot 10^3$ Дж/кг, для травы - $C_1 = 4 \cdot 10^3$, $C_2 = 7 \cdot 10^3$ Дж/кг; λ - степень измельчения продукта, определяется как отношение эквивалентного диаметра частиц исходного материала к среднему диаметру измельченных частиц на выходе ($D_{экв}/d_{ср}$).

При необходимости удельную энергию измельчения для конкретного продукта можно рассчитать по следующей формуле:

$$A = k_\phi k_n [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)], \quad (3.8)$$

где k_ϕ - коэффициент, учитывающий влияние влажности материала по отношению к нормированной при хранении (14%), $k_\phi = 1 + (0,06...0,075)(\phi_\phi - 14)$, ϕ_ϕ - фактическая влажность зерна; k_n - коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии из-за неоднородности материала, а также учитывающий способ измельчения; C_1 - параметр, учитывающий работу на деформацию зерна до начала текучести, кДж/кг; C_2 - параметр, учитывающий работу на деформацию зерна от начала текучести до разрушения, кДж/кг.

Значения эквивалентных диаметров, коэффициента неоднородности, а также опытных энергетических параметров даны в таблице 3.5.

Таблица 3.5– Значения параметров и коэффициентов для различных зерновых культур

культура	$D_{экв}$, см	k_n	C_1 , кДж/кг	C_2 , кДж/кг
Ячмень	4,2	1,20±0,30	8,50	7,50
Овес	3,7	5,00±1,50	2,34	1,96
рожь	3,3	1,45±0,35	8,40	6,40

Эквивалентный диаметр зерна можно рассчитать по формуле:

$$D_{экв} = \sqrt[3]{\frac{6V_z}{\pi}}, \quad (3.9)$$

где V_z - средний объем одного зерна, найденный на основе измерения объема 100 зерен путем погружения в бензин, толуол.

Мощность приводных электродвигателей колеблется в большом пределе, так дробилки снабжены электродвигателями от 22 до 160 кВт; мощность электродвигателей измельчителей приведена в таблице 3.6.

Установлено, что удельные энергозатраты для процесса мойки и измельчения для корнеклубнеочных машин составляют 1,5...2 кВт·ч/т.

Режим работы электроприводов измельчителей и дробилок длительный с переменной нагрузкой. Нагрузочные диаграммы имеют переменный характер со случайными амплитудами и интервалами приложения нагрузки (рис.3.20).

Таблица 3.6 - Основные технические характеристики измельчителей корнеплодов

Показатель	ИКС-5М	ИКМ-5М	ИКМ-Ф-10	КПИ-4
Производительность, т/ч	5...8,8	5...7,5	8...10	2,5...4
Мощность электродвигателя, кВт	9	10,5	13,2	4

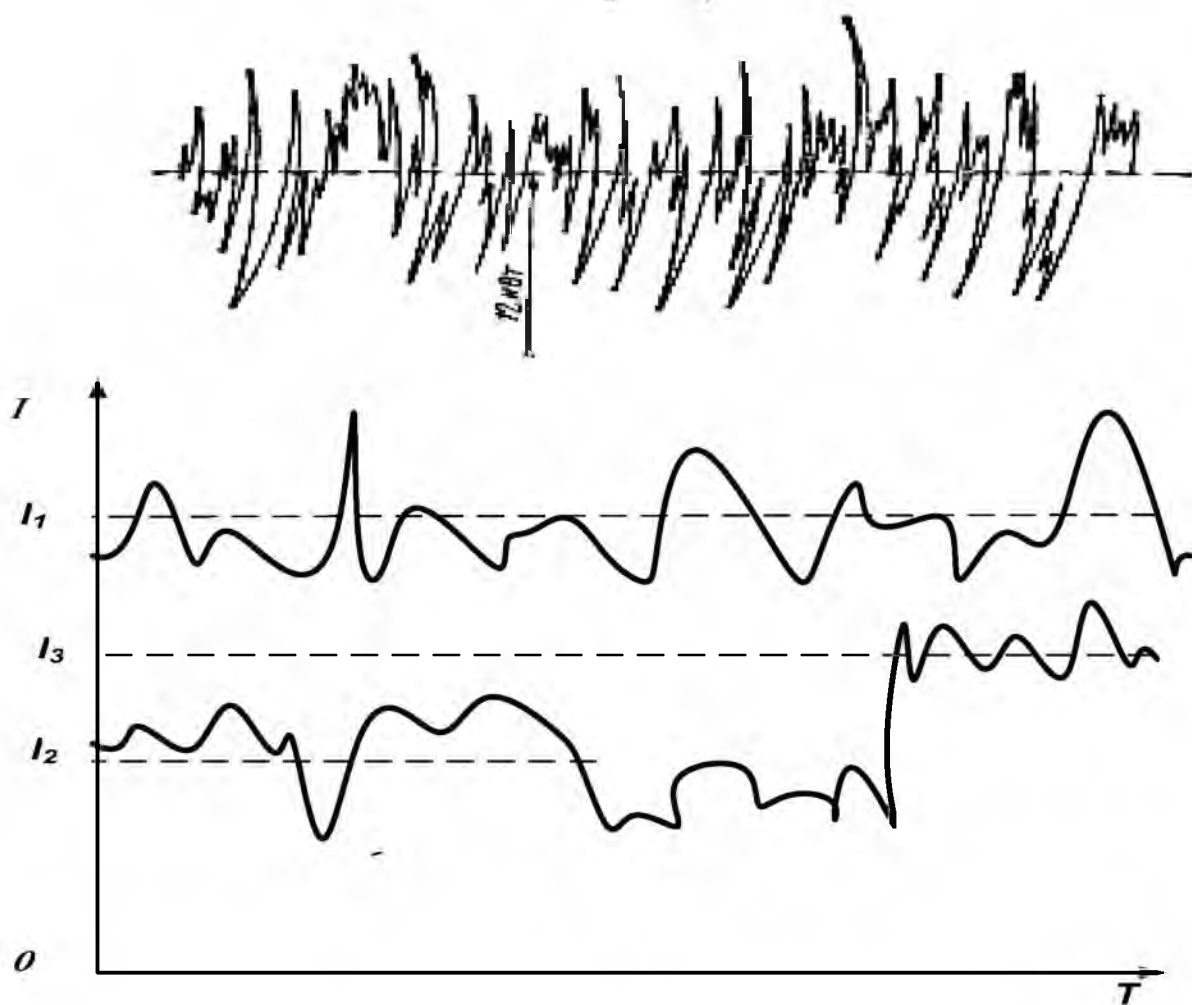


Рисунок 3.20 – Вид нагрузочных диаграмм измельчающих машин

Из-за такого характера нагрузки основной причиной выхода из строя электродвигателей является периодическая тепловая перегрузка, что приводит к более быстрому старению изоляции обмоток статора. Этот режим может возникать в совокупности с ухудшением охлаждения электрической машины по причине работы в сильно запыленных помещениях или поломки вентилятора самообдува. Еще одним часто возникающим аварийным режимом бывает заклинивание ротора из-за перегрузки сверх допустимого критического момента или попадания посторонних предметов в приемную часть. Особенно часто это возникает при работе данных машин от сети соизмеримой мощности или при питании через проводники малых сечений.

3.3. Способы достижения устойчивой и эффективной работы измельчителей сельскохозяйственных продуктов

При работе в реальных эксплуатационных условиях измельчители и дробилки испытывают комплекс внешних воздействий, которые приводят к их неустойчивой и малоэффективной работе: выход из строя электродвигателей, невозможность запуска от существующей электрической сети, частые

перегрузки и переход в режим заторможенного ротора, работа с низкими энергетическими характеристиками. Существует несколько способов модернизации электропривода и питающей сети: увеличение максимально момента электродвигателя путем выбора соответствующего исполнения электрической машины; увеличение пропускной способности питающей сети; увеличение мощности приводного электродвигателя; увеличение постоянной времени электропривода; использование многоскоростных электродвигателей; применение преобразователей частоты тока и софтстартеров; применение центробежных или электромагнитных муфт.

Использование двигателей с повышенным максимальным моментом не всегда приводит к положительным результатам. Это связано с тем, что увеличение максимального момента сопряжено с уменьшением сопротивления короткого замыкания двигателя, а это приведет к повышенным пусковым токам. При значительных мощностях приводных электродвигателей повышение пускового тока может привести к большим падениям напряжения и к невозможности запуска электрической машины.

Увеличение постоянной времени электропривода может происходить двумя направлениями: увеличение приведенного момента инерции и установкой двигателя повышенного скольжения. Увеличение момента инерции производится установкой дополнительных маховиков, что реально и делается. Применение двигателя повышенного скольжения позволяет увеличить в 2 – 3 раза постоянную времени электропривода. Однако, нужно помнить, что потери в электродвигателе пропорциональны скольжению и такие электродвигатели больше нагреваются при постоянных изменениях нагрузки.

Увеличение мощности приводного электродвигателя также будет сопровождаться повышением пусковых токов и дополнительным снижением напряжения. Увеличение пропускной способности линии производится заменой проводников на большее сечение или сменой проводящего материала (алюминий на медь).

Замена односкоростного двигателя на многоскоростной позволяет увеличить пусковой момент, уменьшить потери при пуске. Такой же эффект можно получить и при установке преобразователя частоты, но по стоимости модернизации этот вариант будет дороже. Установка софтстартера позволяет уменьшить пусковые токи и увеличить время пуска, что очень важно при питании от сети соизмеримой мощности.

Способ запуска электропривода с применением различного рода муфт очень эффективен и его сущность заключается в следующем. Электродвигатель и рабочая машина соединяются через муфту, у которой есть ведущая и ведомая части, находящиеся не в сцепленном состоянии при отключенной от сети электрической машине (рис. 3.21).

Находят применение следующие виды муфт – фрикционные, центробежные, электромагнитные и т.д. Фрикционные муфты передают вращающий момент за счет сил трения. По конструкции фрикционные муфты делят на: **дисковые**, в которых трение происходит по торцевым поверхностям дисков (одно- и многодисковые) (рис.3.22, а); **конусные**, в которых рабочие по-

верхности имеют коническую форму (рис.3.22, б); *цилиндрические* имеющие цилиндрическую поверхность контакта (рис.3.22, в).

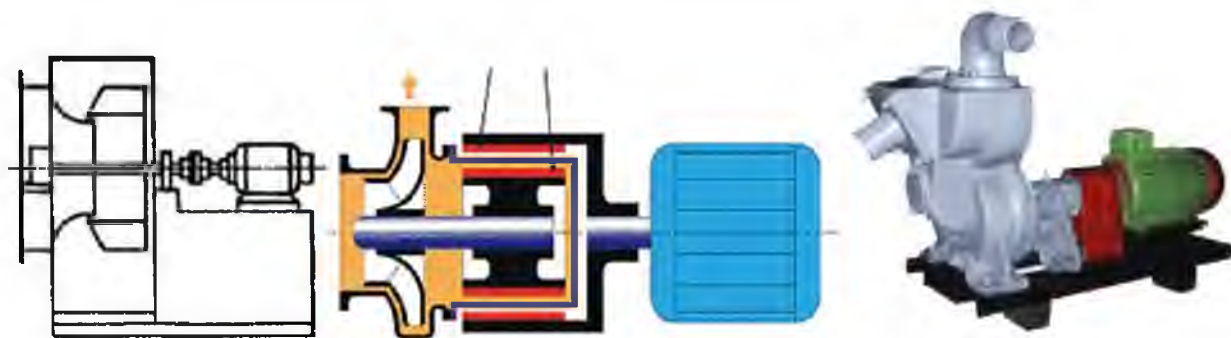
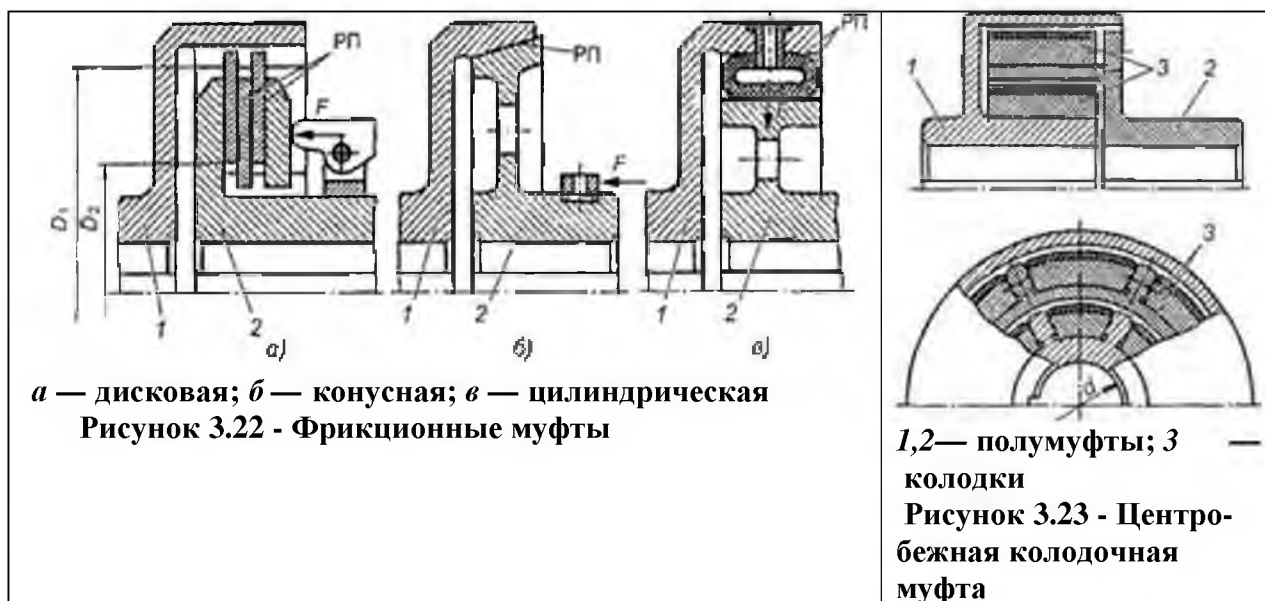


Рисунок 3.21 - Соединение рабочей машины с электродвигателем через муфту

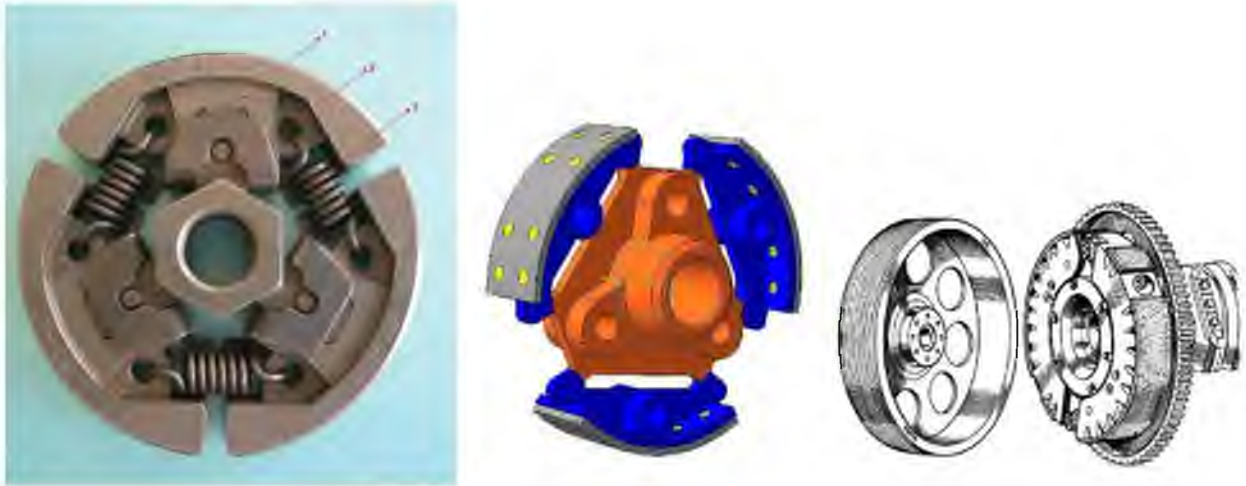
Наибольшее распространение получили *дисковые* муфты. Фрикционные материалы (прессованную асбесто-проволочную ткань — ферродо, фрикционную пластмассу, порошковые материалы и др.) применяют в виде накладок. Центробежные муфты (рис.3.23) служат для автоматического включения (выключения) валов при заданных угловых скоростях.



а — дисковая; б — конусная; в — цилиндрическая
Рисунок 3.22 - Фрикционные муфты

1,2 — полумуфты; 3 — колодки
Рисунок 3.23 - Центробежная колодочная муфта

Центробежная муфта состоит из ведущей и ведомой полумуфт 1 и 2, в пазы которых устанавливают фрикционные грузы — колодки (рис.3.24). При достижении ведущей полумуфтой заданной угловой скорости колодки 3, за счет центробежных сил, прижимаются к ведомой полумуфте, и муфта включается. В показанной на рис.3.24 конструкции любая из полумуфт (1 или 2) может быть ведущей. Передача вращающего момента осуществляется силами трения, значение которых пропорционально квадрату угловой скорости. Центробежная муфта допускает частые включения, обеспечивает плавное зацепление и имеет сравнительно небольшие габаритные размеры.



Центробежная муфта, ведущая полу муфта: 1 — грузик; 2 — держатель; 3 — пружина
 Рисунок 3.24 - Внешний вид центробежных муфт

Рассмотрим процесс пуска электропривода с муфтой поэтапно. На первом этапе двигатель разгоняется под действием динамического момента $M_{дин1}$ равного разности момента двигателя M_d и момента муфты M_m . При этом скорость электродвигателя приближается к номинальной за время:

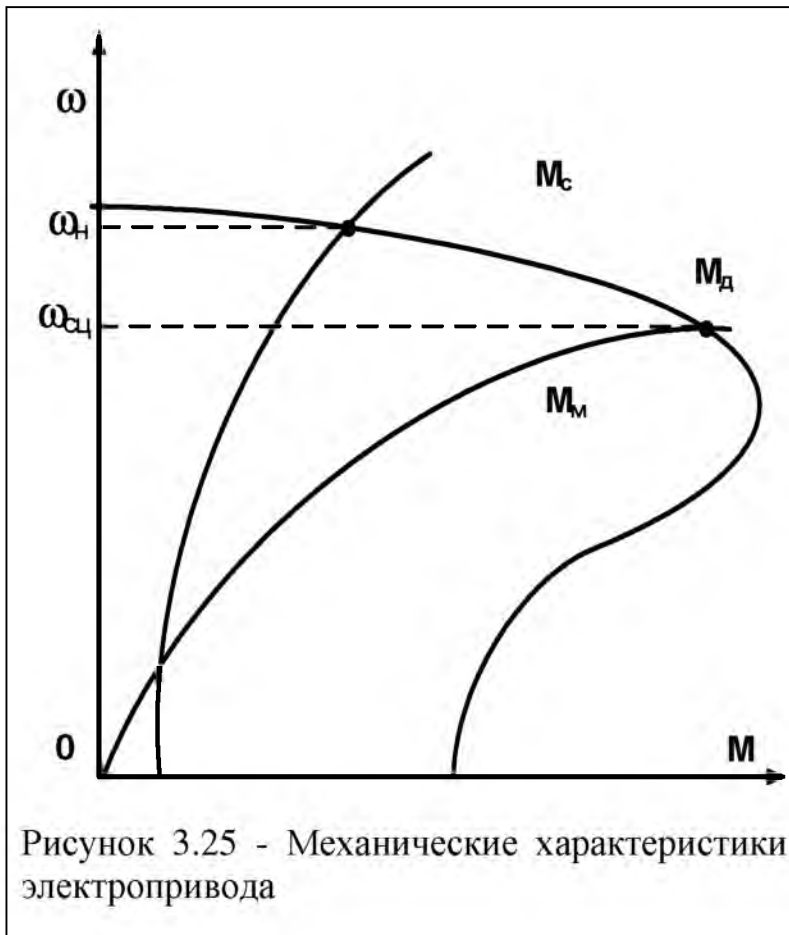
$$t_1 = \frac{1}{M_d - M_m} \int_0^{\omega_{сц}} (j_d + j_{рм}) d\omega, \quad (3.10)$$

где $j_d, j_{рм}$ - моменты инерции, соответственно двигателя и рабочей машины; $\omega_{сц}$ - угловая скорость при которой происходит сцепление ведущей и ведомой частей муфты.

За этот период момент муфты постепенно возрастает и становится равным моменту двигателя $M_d = M_m = M_{сц}$ (рис. 3.25).

На втором этапе по действием динамического момента $M_{дин2} = M_d - M_c$ скорость рабочей машины увеличивается незначительно. На третьем этапе действует динамический момент $M_{дин3} = M_{сц} - M_c$. Время третьего этапа равно:

$$t_2 = \frac{1}{M_{сц} - M_c} \int_{\omega_{сц}}^{\omega_{н0}} j_{рм} d\omega. \quad (3.11)$$



В конце первого периода и в течении второго муфта работает со скольжением и расходуется мощность на нагрев муфты. Наступает четвертый этап на котором действует динамический момент $M_{динз} = M_d - M_c$. Время этого этапа определяется:

$$t_3 = \frac{1}{M_d - M_c} \int_{\omega_n}^{\omega_{сц}} (j_d + j_{p,в}) d\omega \quad (3.12)$$

На этом этапе электропривод разгоняется до номинальной скорости вращения. Продолжительность времени t_1 и t_3 составляет 10 – 15% от общего времени переходного процесса.

Таким образом, применение муфты позволяет запускать электродвигатель в «холостую» и использовать в момент запуска практически критический момент электродвигателя. Такая работа положительно сказывается не только на данном электроприводе, но и других приводах, работающих от этой же сети.

В современном сельскохозяйственном производстве часто встречаются ситуации, когда по условиям технологического процесса не удастся обеспечить достаточной загрузки электродвигателей, а следовательно и работу электропривода в номинальном режиме. Двигатели с завышенной мощностью будут работать с недогрузкой, а следовательно, и с низким cosφ, и с низким КПД. Для улучшения энергетических показателей можно изменить схему подключения обмоток двигателя с треугольника на звезду. При этом напряжение на фазах двигателя уменьшается в $\sqrt{3}$ раза, а ток и мощность электродвигателя – в 3 раза. Благодаря пониженному напряжению уменьшаются ток намагничивания и реактивная мощность.

На рисунке 3.26 приведены кривые зависимости cosφ и КПД от нагрузки для асинхронного двигателя при переключении его с треугольника на звезду. Из них видно, что при переключении обмоток двигателя на звезду при малых нагрузках двигатель работает с cosφ и КПД, значительно превышающими cosφ и КПД того же двигателя при соединении его обмоток в треугольник. Для получения более точных данных предельной нагрузки необходимо проводить отдельный анализ для каждого конкретного случая.

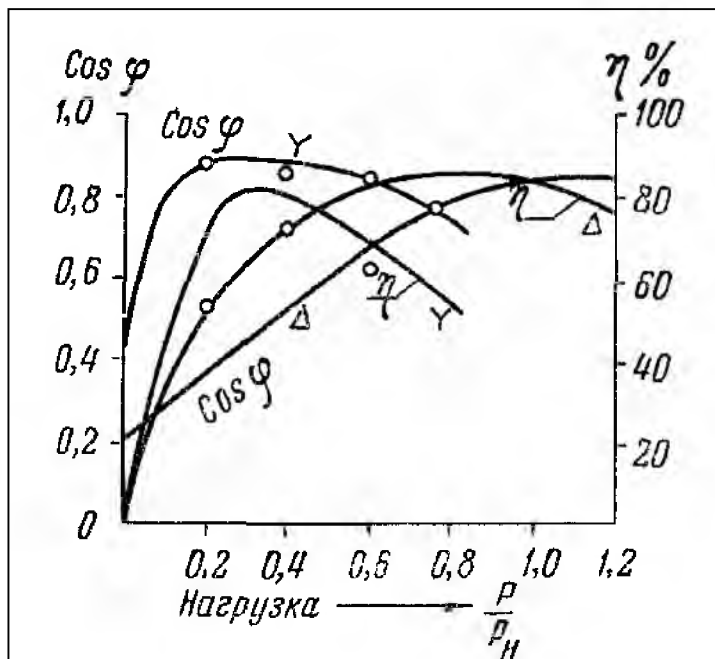


Рисунок 3.26 –Изменение КПД и $\cos\varphi$ асинхронного двигателя в зависимости от способа подключения обмоток

мощных электродвигателей электрооборудования линии отжима масла (табл.3.7).

Таблица 3.7 – Измеренные параметры электродвигателей линии отжима

Наименование оборудования	Номинальная мощность, кВт	Измеренная мощность, кВт	Измеренный средний $\cos\varphi$	Фактический коэффициент загрузки
Пресс №1	132	48,4	0,68	0,37
Пресс №2	110	49,2	0,61	0,43
Пресс №3	110	52,4	0,68	0,48
Вальцы №1-1	45	10,0	0,43	0,22
Вальцы №1-2	45	4,2	0,2	0,09
Жаровня №1	45	20,1	0,68	0,45
Жаровня №2	45	14,8	0,6	0,33
Дробилка	30	6,6	0,33	0,22

Из таблицы 3.7 видно, что наиболее низкий коэффициент загрузки у оборудования ($< 0,4$): Пресс №1, Вальцы №1-1, Вальцы №1-2, Жаровня №2, Дробилка.

Данное оборудование использует электродвигатели серии АИР и 5А. В таблице 3.8 приведены их номинальные параметры, взятые из специальных справочников.

Переключение с треугольника на звезду повышает КПД двигателя, что связано с значительным уменьшением потерь в железе электродвигателя, пропорциональных квадрату магнитной индукции, и уменьшением омических потерь при малых нагрузках. Обычно работа электродвигателя, переключенного на звезду, допускается с коэффициентом загрузки не более 0,5. Кроме того, при этом происходит значительное изменение энергетических показателей.

Пример 1. На маслозаводе были произведены замеры параметров работы наиболее

Таблица 3.8 – Номинальные параметры электродвигателей линии №2.

№ № п/п	Наименование оборудования	Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	η_n	s_n
1.	Пресс №1	5AM280M4	132	0,93	0,023
2.	Вальцы №1-1	5A200L4	45	0,92	0,016
3.	Вальцы №1-2	5A200L4	45	0,92	0,016
4.	Жаровня №2	5A200L4	45	0,92	0,016
5.	Дробилка	AIP180M4	30	0,91	0,019

Для определения эффекта от переключения двигателя с «треугольника» на «звезду», необходимо рассчитать потери мощности электродвигателя для различной нагрузки. Произведем расчет потерь мощности при подключении двигателя по схеме «треугольник» и по схеме «звезда». Номинальные потери мощности ΔP_n , кВт, рассчитываются по формуле на основании паспортных данных электродвигателя:

$$\Delta P_i = \frac{P_i(1 - \eta_i)}{\eta_i}, \quad (3.13)$$

где η_i – КПД электродвигателя при P_i нагрузке на валу.

Если в каталоге в технических данных электродвигателей не приводятся значения η_i при разных коэффициентах загрузки, то они определяются по формуле:

$$\eta_i = \frac{k_z}{k_z + (f_\alpha + k_z^2) \frac{1 - \eta_n}{\eta_n (f_\alpha + 1)}}, \quad (3.14)$$

где k_z – коэффициент загрузки, f_α – коэффициент формы кривой КПД.

Параметр f_α – подсчитывается по номинальным данным:

$$f_\alpha = \frac{(1 - \eta_n) \cdot (1 - s_n)}{2\eta_n s_n} - 1, \quad (3.16)$$

где η_n – КПД электродвигателя при номинальной мощности; s_n – номинальное скольжение электродвигателя.

Рассчитаем потери мощности на примере электродвигателя вальца №1-2 при различной нагрузке. Для двигателей этой серии коэффициент формы кривой КПД:

$$f_{\alpha} = \frac{(1-0,92) \cdot (1-0,016)}{2 \cdot 0,92 \cdot 0,016} - 1 = 1,674$$

При коэффициенте загрузки 0,09 (по измеренным параметрам), КПД электродвигателя:

$$\eta_i = \frac{0,09}{0,09 + (1,674 + 0,09^2) \frac{1-0,92}{0,92(0,09+1)}} = 0,62$$

Далее, потери мощности составят:

$$\Delta P = \frac{4,2(1-0,62)}{0,62} = 2,55 \text{ кВт}$$

При изменении схемы подключения (с «треугольника» на «звезду») развиваемая мощность электродвигателя уменьшится в 3 раза, следовательно, коэффициент загрузки увеличится в 3 раза. С новым k_3 получим:

$$\eta_i = \frac{0,27}{0,27 + (1,674 + 0,27^2) \frac{1-0,92}{0,92(0,27+1)}} = 0,83$$

$$\Delta P = \frac{4,2(1-0,83)}{0,83} = 0,88 \text{ кВт}$$

Таким образом, для данного двигателя в таком режиме работы потери мощности можно снизить на 65%. По приведенным формулам можно построить соответствующие графики зависимости КПД от нагрузки (рис. 3.27).

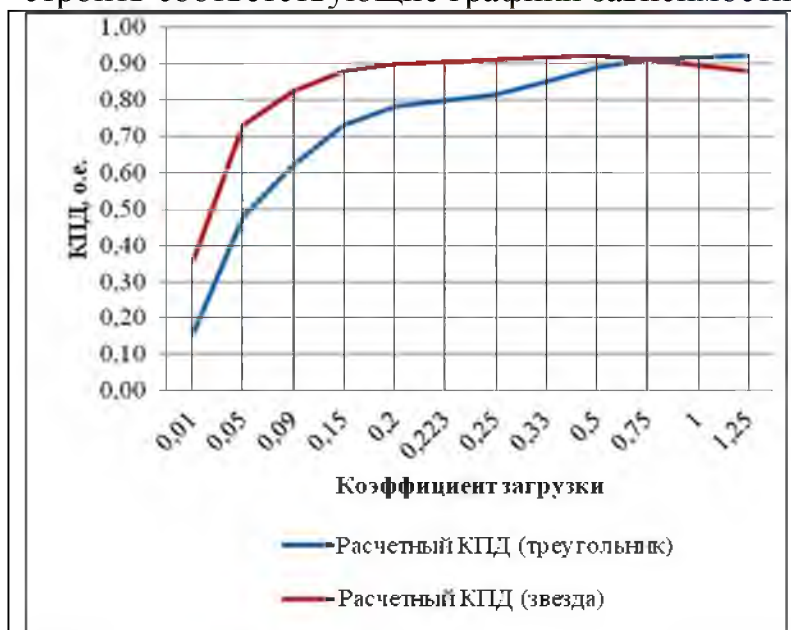


Рисунок 3.27 – График изменения КПД от различной нагрузки и схеме подключения двигателя 5A200L4 $P_{ном} = 45 \text{ кВт}$

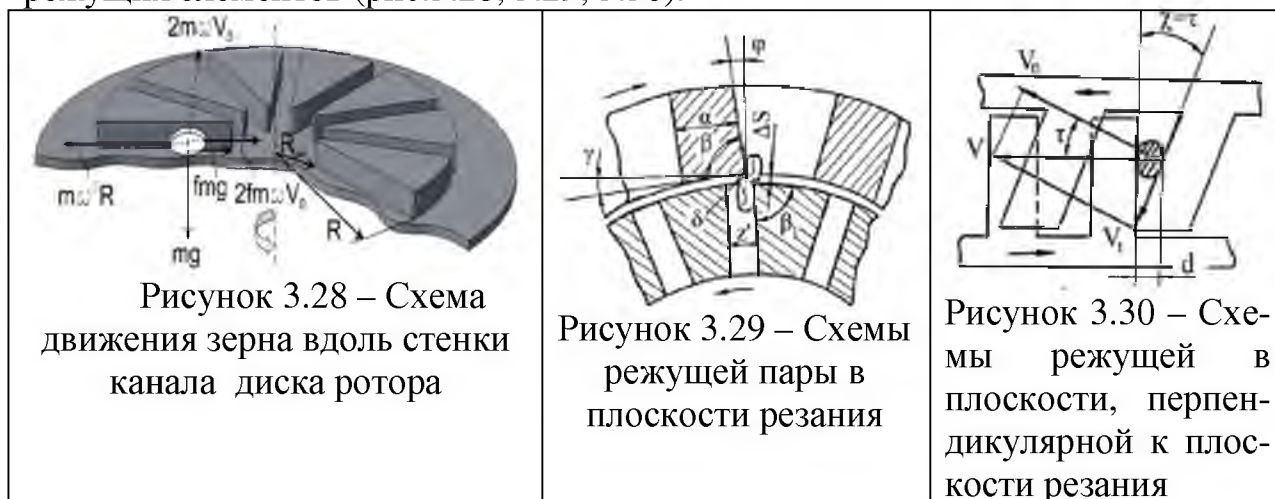
Из полученных графиков видно, что КПД становится одинаковым (по схемам соединений обмоток) при коэффициенте загрузки равном 0,75. Таким образом можно сделать вывод, что если нагрузка электродвигателя, при основном соединении обмоток «треугольник», становится менее 0,5, то, с точки зрения сбережения энергии, лучше перейти на соединение «звезда».

Существуют и разрабатываются другие перспективные новые типы

измельчителей. Этим разработкам посвящено много диссертационных исследований.

На животноводческих фермах, комбикормовых заводах, перерабатывающих предприятиях широко используются молотковые и ударно-центробежные дробилки и измельчители, имеющие ряд существующих недостатков: при тонком измельчении содержание пылевидной фракции составляет до 30%, при грубом получается до 20% недоизмельченной фракции. Это приводит к повышению энергоемкости процесса измельчения и ухудшению качества готового продукта. Серийный выпуск центробежно-роторных измельчителей ИЛС начат с 1990 года на заводах Южного Урала и Нечерноземной зоны России. Роторные и ударно-центробежные дробилки представляют собой новый тип измельчающего оборудования, обладают высокими показателями при измельчении хрупких сыпучих материалов.

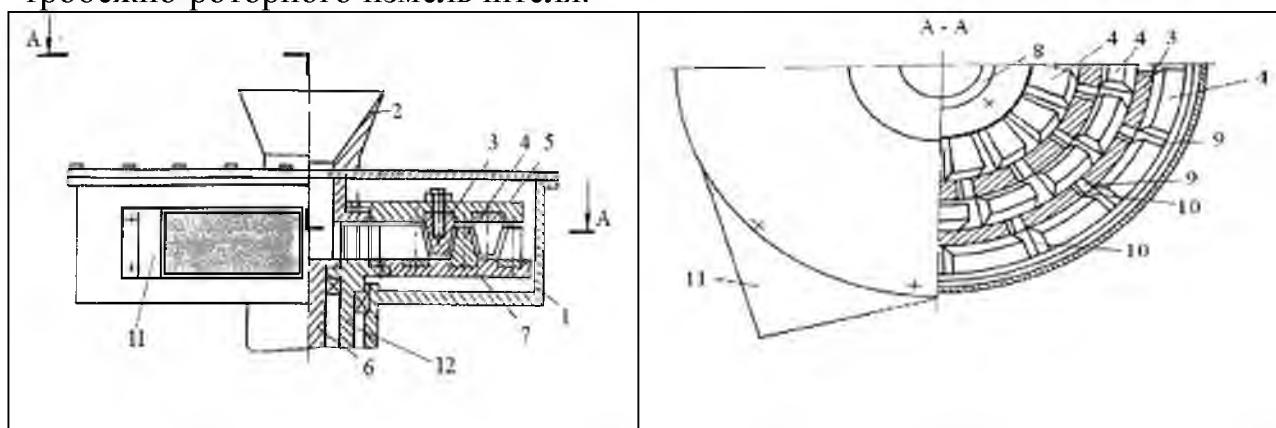
На процесс измельчения, как уже отмечалось, существенное влияние оказывают влажность, температура, физико-механические свойства зерна и др. Хорошую проработку основных теоретических положений процесса разрушения зерна в центробежно-роторных измельчителях провел Сергеев Н.С. Немаловажное значение имеют состояние, вид и конструктивные параметры рабочих органов измельчающих машин, способ подвода исходного материала в зону измельчения и отвода готового продукта и т.п. В центробежных, роторных и центробежно-роторных измельчающих устройствах на эффективность измельчения большое влияние оказывают удельные нагрузки и окружные скорости рабочих органов. На эффективность работы центробежно-роторных измельчителей фуражного зерна также существенное влияние оказывает ориентация зерна в канале рабочего органа по отношению к кромкам режущих элементов (рис.3.28, 3.29, 3.30).



Зерно при движении в канале первой режущей пары рабочего органа центробежно-роторного измельчителя поворачивается, ориентируясь длинной осью вдоль стенки канала. Такое положение позволяет осуществлять процесс среза и скалывания по минимальному сечению зерна, после чего отрезанная часть вновь поворачивается длинной осью в направлении движения, и процесс повторяется на следующих режущих парах.

К конструктивным параметрам режущей пары рабочих органов центробежно-роторного измельчителя относятся: β – угол заточки режущего элемента (режущее ребро пуансона); β_1 – угол заточки противорежущего элемента; γ – угол установки режущего элемента; a – толщина режущего элемента; δ – острота ребра режущего элемента; $\nu = \varphi + \beta = 90 - \gamma$ – угол резания; ΔS – зазор между режущим и противорежущим элементами. Указанные параметры характеризуют форму и величину геометрических тел, их взаимное расположение как в статике, так и в динамике.

На рисунке 3.31 представлена принципиальная схема рабочих органов центробежно-роторного измельчителя.



1 – корпус; 2 – патрубок загрузочный; 3, 4 – режущие элементы; 5 – диск-ротор верхний; 6 – вал внутренний; 7 – диск-ротор нижний; 8 – окна радиальные; 9 – каналы (пазы); 10 – стенка канала; 11 – патрубок выгрузной; 12 – вал полый.

Рисунок 3.31 – Схема рабочих органов центробежно-роторного измельчителя

По теории резания В.П. Горячкина, для рассматриваемого технологического процесса основными параметрами являются давление ножа (режущего элемента) на материал и боковое его движение. Количественное соотношение между двумя этими параметрами характеризуется значениями коэффициента скольжения и коэффициента трения лезвия ножа (кромки режущего элемента) о разрезаемый материал. При этом следует отметить важную роль угла защемления χ . Угол защемления χ – это угол между кромкой режущего элемента в зоне резания и рабочей кромкой противорежущего элемента, при котором измельчаемый материал прекращает свое движение и начинается его перерезание. Зная геометрическую форму поперечного сечения канала и количество в нем зерен, подлежащих одновременному срезу, можно определить требуемую мощность:

$$P_{изм} = \frac{F_3 k_3 \xi k_{i-1} R_{cp} \omega_1}{n_p}, \quad (3.17)$$

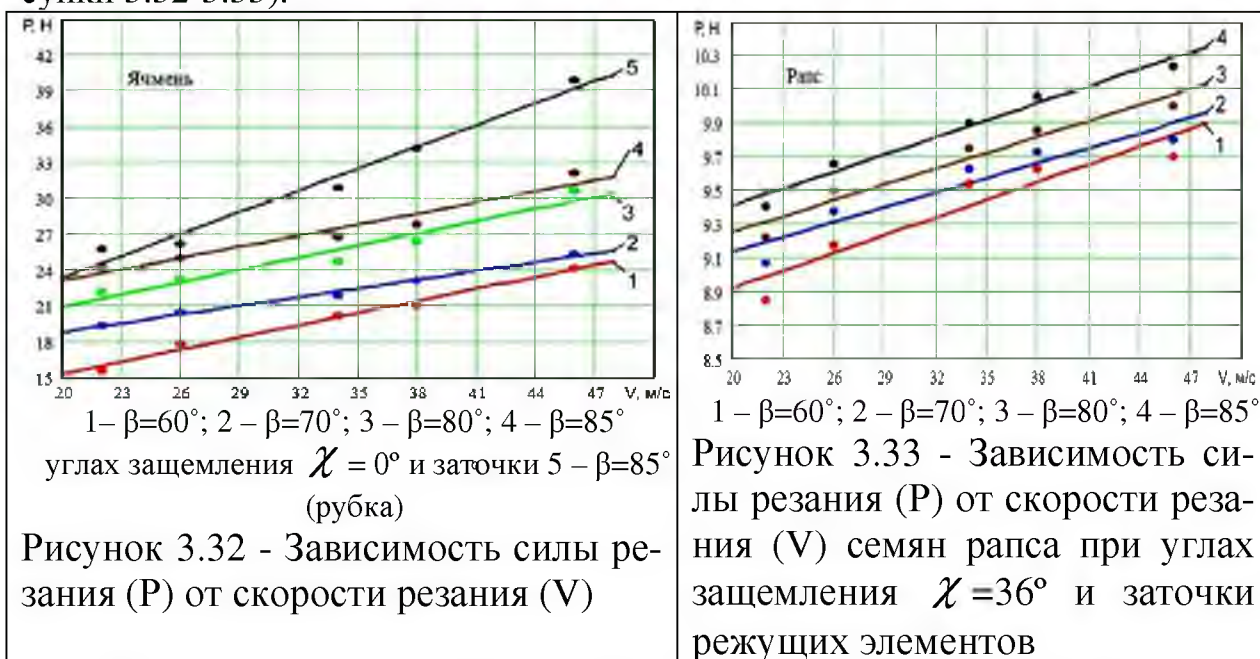
где F_3 – среднее усилие резания единичного зерна, Н; k_3 – количество зерен в канале, подлежащих одновременному срезу, шт.; k_{i-1} – количество

максимально возможного совмещения каналов смежных кольцевых рядов, шт.; R_{cp} – средний радиус зоны измельчения, м; ξ – коэффициент пористости, $\left(\xi = \frac{\rho}{\rho_0}\right)$; ω_1 – угловая скорость ротора-диска, c^{-1} ; n_p – количество кольцевых рядов, шт.

Расходы энергии на другие потери отнесены к холостому ходу и тогда общая мощность привода измельчителя

$$P_{общ} = (1,1 \dots 1,2) P_{изм} \quad (3.18)$$

Из экспериментальных зависимостей, полученных Сергеевым Н.С. сделан вывод, что уменьшение угла заточки с 90° до 30° ведет к снижению усилия резания от 60 до 20 Н, но исходя из износостойкости режущего инструмента предпочтительнее иметь угол заточки $75 \dots 85^\circ$. Максимальное усилие резания зерна соответствует 42...52 Н, семян рапса 22...34 Н. По результатам исследований построены графические зависимости усилия резания одиночных зёрен от скорости резания и геометрических параметров режущих элементов (рисунки 3.32-3.33).



Зависимости основных показателей процесса измельчения от угловой скорости рабочих органов, построенные по результатам экспериментальных исследований, показаны на рисунке 3.34.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что при рациональном режиме измельчения (угловая скорость роторов $\omega = 228 c^{-1}$, окружная скорость $v = 26 \dots 40$ м/с) модуль помола $M = 1,5 \dots 1,6$ мм, удельная энергоёмкость $N_{y\partial} = 4,0 \dots 6,0$ кВтч/т. При угловой скорости роторов $\omega = 152 c^{-1}$ модуль помола увеличивается до 2,2 мм (на 60 %) с одновременным уменьшением удельной энергоёмкости до 3...4 кВтч/т (на 30

%). При угловой скорости роторов $\omega = 304 \text{ с}^{-1}$ модуль помола практически не изменяется, но увеличиваются пылевидная фракция (на 20%) и удельная энергоёмкость до 7...9 кВт·ч/т, т.е. на 50 %. С увеличением угловой скорости относительно рационального ее значения кинематика зерна в канале рабочего органа нарушается и измельчение происходит не по минимальному сечению зерна, что приводит к резкому увеличению удельной энергоёмкости при незначительном повышении производительности (на 8%).

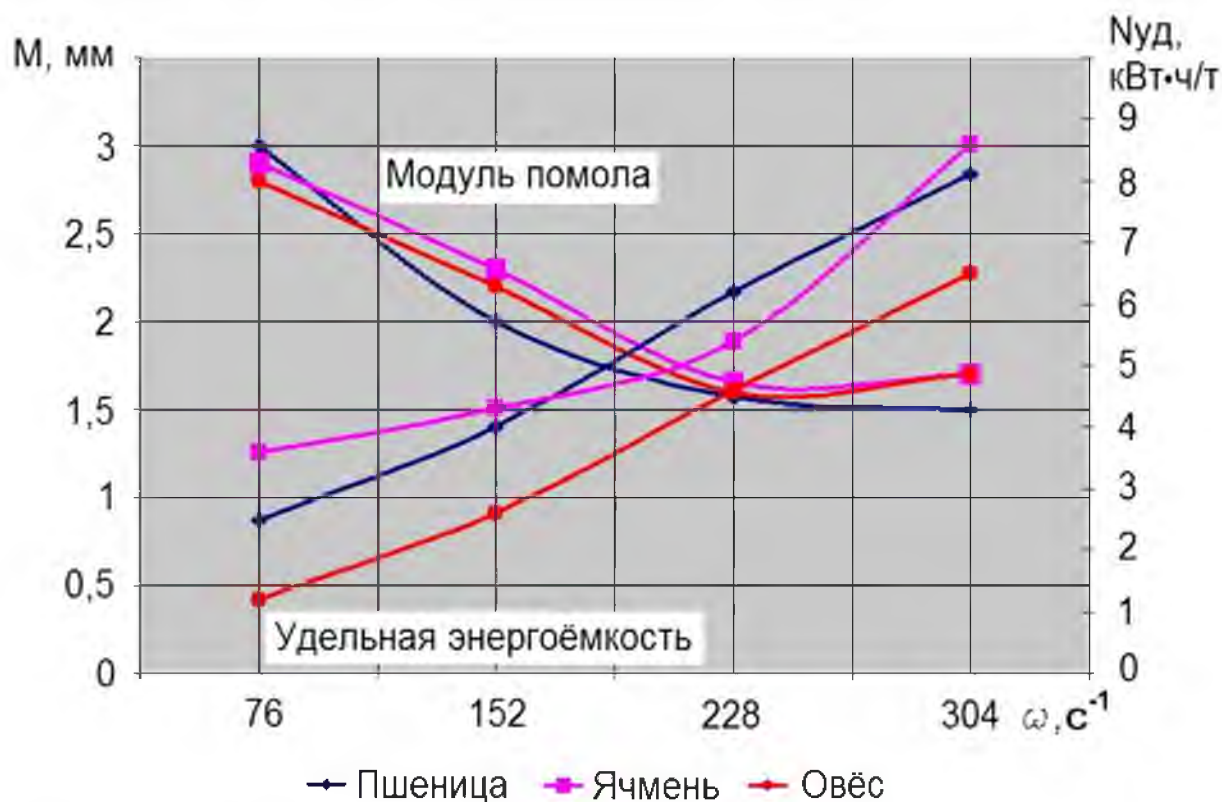


Рисунок 3.34 – Зависимость модуля помола и удельной энергоёмкости процесса измельчения от угловой скорости рабочих органов

Удельная энергоёмкость данного процесса измельчения в 1,5-2,0 раза меньше, чем у молотковых и других дробилок. Следует отметить, что измельчение семян масличных культур, например, рапса, без выделения жира в готовом продукте и с хорошей сыпучестью возможно только при данном способе измельчения.

В молотковых дробилках и других измельчающих устройствах, в которых разрушение материала осуществляется за счет энергии удара, влажность и жирность измельчаемого зерна существенно влияют на энергетические и качественные характеристики.

Таким образом, можно констатировать следующее: центробежно-роторные измельчители способны перерабатывать фуражное зерно и семена рапса с влажностью до 22% и жирностью до 50%; при повышении влажности на 1% относительно зоотехнических норм (14-15%) удельная энергоёмкость процесса измельчения фуражного зерна и его смесей увеличивается на 0,7 кВт·ч/т, в то время как на молотковых дробилках – на 2 кВт·ч/т; по результатам испытаний выявлено, что удельная энерго- и металлоёмкость в сравнении с серий-

но выпускаемыми молотковыми дробилками ДДМ-5 и ДБ-5 ниже в 1,4- 2,0 и 2,5- 4,0 раза; созданы четыре модификации измельчителей производительностью 0,10; 0,15; 0,50 и 5,00 т/ч, проведены их производственные и государственные испытания; удельная энергоемкость измельчителей составляет 4...6 кВт·ч/т; металлоемкость – 100...250 кг·ч/т, в то время как у молотковых дробилок эти показатели составляют 6...10 кВт·ч/т и 350...500 кг·ч/т.

Один из способов повышения питательной ценности концентрированных кормов является их термическая обработка с последующим измельчением. Термообработка обеззараживает корм от болезнетворных и заразных бактерий. В некоторых случаях этот процесс является обязательным и единственным способом борьбы с высокой обсемененностью зерновой массы. Конечно включение в общий технологический процесс приготовления коромов термическую обработку приводит к дополнительным затратам энергии, но поскольку эту операцию избежать часто невозможно, то приходится искать новые способы снижения общей энергоемкости. Так Курмановым А.К. установлено, что термообработка позволяет снизить энергоемкость дробления зерна в 1,7-2,5 раза, что позволяет уменьшить массу и размеры рабочих органов дробилок.

Сабиевым У.К. Для измельчителя ударного принципа действия, получен эффект управляемого (по требуемому направлению) хрупкого разрушения зерновок при заземленном ударе лезвием (рис.3.35, 3.36).



Анализ результатов экспериментов по определению затрат энергии на измельчение показал, что благодаря изменению угла резания обрабатываемого материала при движении его в канале рабочего органа ударного измельчи-

теля, удельная энергоёмкость снижается в среднем на 10–15% за счёт повышения производительности.

Кроме того Сабиев У.К., предложил поставить вибрирующий лоток, что дает возможность управления динамикой частиц не только посредством изменения параметров вибрации, но и наклона лотка. Это особенно важно для плавного регулирования их подачи, а также повышения эффективности самого процесса дозирования при кормоприготовлении. Анализ полученных закономерностей позволяет обосновать границы применения вибрации при максимальной подаче, соответствующие амплитуде колебаний $A = 8\text{--}10\text{ мм}$ и частоте колебаний $\omega = 47,1\text{--}52,33\text{ с}^{-1}$. В этой зоне в большей степени наблюдалось снижение неравномерности дозирования и затрат энергии на транспортирование (рис. 3.37) сыпучих кормов. Построены зависимости удельной энергоёмкости от показателя интенсивности (рис. 3.38)



Рисунок 3.37- Зависимость удельной энергоёмкости от частоты колебаний лотка и высоты открытия выпускного окна

1- рассыпной комбикорм; 2- гранулированная травяная мука
Рисунок 3.38 - Влияние интенсивности вибрации на удельные энергозатраты при дозировании корма

Анализ приведенных графиков показывает, что с увеличением интенсивности вибрации энергоёмкость для рассыпного комбикорма вначале несколько увеличивается, а затем резко падает, стремясь к нулю. Начальное увеличение удельной энергоёмкости объясняется повышенным расходом мощности на вибрацию. При более интенсивном действии вибрации наблюдается снижение удельной энергоёмкости.

В результате своих исследований Сабиев У.К. сделал следующие выводы: на решетчатых зерноочистительных машинах, при угле расположения грани продолговатого отверстия 15° , угле поперечного наклона плоскости решетки 2° , радиусе кривошипа 7,5 мм, частоте колебаний 525 мин⁻¹, при этом увеличивается вероятность прохода частицы в отверстие решета в 1,7 раза и как следствие, увеличивается производительность на 23%; ударного измельчителя – при оптимальной скорости $\omega = 230\text{ рад/с}$ и угле резания $\chi=280$ измельченных на первой ступени зёрен в соответствии с теорией резания В.П. Горячкина, снижением удельной энергоёмкости измельчения зерновых куль-

тур на 10–15%, а выравненность гранулометрического состава и пылевидная фракция готового продукта соответствует зоотехническим требованиям; вибрационного дозатора - амплитуда колебаний $A = 8–10$ мм; частота колебаний $\omega = 47,1–52,33$ с⁻¹; угол наклона лотка $\alpha = 25–30^\circ$; высота открытия выпускного лотка (толщина сыпучего корма) $h = 40–80$ мм, при этом на 35–40% повышается точность дозирования, в 1,5 раза снижается удельная энергоёмкость процесса дозирования; вибрационного смесителя - амплитуда колебаний желоба $A = 11–12$ мм, частота колебаний желоба $\omega = 5,5–6$ Гц, количество перемешивающих элементов $n = 6$ шт, угол наклона желоба к горизонту $\alpha = 7–90$, угол направленности вибрации желоба $\beta = 220$, при этом однородность смеси (комбикорма) составляет 95–96 % при производительности 1,3 т/ч.

Теоретические и экспериментальные исследования ножевых измельчителей показали преимущество измельчителей с шевронными лезвиями ножей. Так Купреенко А.И. установлено, что замена спиральных ножей шевронными позволяет за счет установки большего числа ножей и увеличения подачи питающего транспортера увеличить производительность на 50%, улучшить качество измельчения, снизить удельную энергоёмкость при той же частоте вращения и радиусе барабана измельчителя. Удельные энергозатраты измельчителя ИКВ-5А со спиральными лезвиями составили 9,63, с шевронными - 8,3 кДж/кг. Экспериментальные исследования измельчителя возвратно-поступательного действия показали, что он имеет меньший уровень шума и не переизмельчает корм в сравнении с барабанным измельчителем. Средняя длина резки сена составила 35 мм, при этом 71,6 % частиц удовлетворяют зоотехническим требованиям. Чистая производительность составила 0,5 т/ч, удельные энергозатраты - 11 кДж/кг. Средняя скорость ножа составляет 1,3, максимальная - 1,99 м/с, угол скольжения лезвия ножа 20° . Амплитуда колебаний вибротолка составила 10 мм, частота колебаний - 7 Гц. Удельные энергозатраты на рабочий процесс имеют минимум при ширине горловины измельчителя 0,4 м.

Таким образом, исследования по энергоёмкости процесса измельчения продолжаются. Имеются также разработки по применению в дробилках СВЧ излучателей. Использование СВЧ излучения приводит к тому, что зерновая масса начинает разрушаться дополнительно еще и от этого воздействия. Такие установки – микронизаторы использовались в Ростовской области и Краснодарском крае. Аналогичные эксперименты проводились и на зеленой массе кормов. В связи с поиском создания энергосберегающих установок будут продолжаться исследования по принципиально новым методам разрушения зерна и других сельскохозяйственных продуктов. Однако сократить потребление электрической энергии можно и на стадии эксплуатации путем создания оптимальных режимов работы электрическим машинам, способами рассмотренными выше. Внедрение цифровой техники в систему автоматизации измельчителей позволяет максимально точно определять степень измельчения зерна, контролировать нагрузку электродвигателя и параметры качества электроэнергии, производить аналитические расчеты для создания оптимального режима работы.

3.4. Схемы автоматизации работы измельчителей кормов и дробилок

Автоматизация работы дробилок и измельчителей ведется в функции тока электродвигателя и в зависимости от степени измельчения продукта. Также применяется автоматизация по уровням заполнения приемных бункеров и запуск основного электродвигателя в функции времени. Схемные решения могут быть от простейших до разработок высокого уровня с наличием микроконтроллеров. Однако, основные блоки часто не претерпевают больших изменений. К простейшим схемам можно отнести схему управления электроприводом измельчителя кормов «Волгарь-5» (рис.3.39).



Рисунок 3.39 - Схема принципиальная электрическая управлением «Волгарь-5».

Данная схема представляет собой типовую нереверсивную схему управления электродвигателем с токовой защитой на основе теплового реле. В схеме также имеется конечный выключатель *SQ1*, который отключает катушку магнитного пускателя в случаях перегрузки или нарушения технологических режимов. Однотипность схем управления измельчителями привела к тому что стали разрабатываться универсальные шкафы управления для данного типа механизмов. Так серийно выпускается универсальное комплектное устройство управления электроприводами измельчителей и смесителей кормов (рис.3.40).



Рисунок 3.40 - универсальное комплектное устройство управления электроприводами измельчителей и смесителей кормов

Особенностью данной схемы является установка устройства температурной защиты УВТЗ-1М. Данное устройство (с помощью датчиков температуры, установленных в электродвигателе) защищает электрическую машину от недопустимого перегрева, что отмечалось ранее, является частым аварийным режимом.

Схемы управления измельчителем-

смесителем кормов ИСК-3 в двух вариантах (двухдвигательном и трехдвигательном) представлены на рисунках 3.41, 3.42.

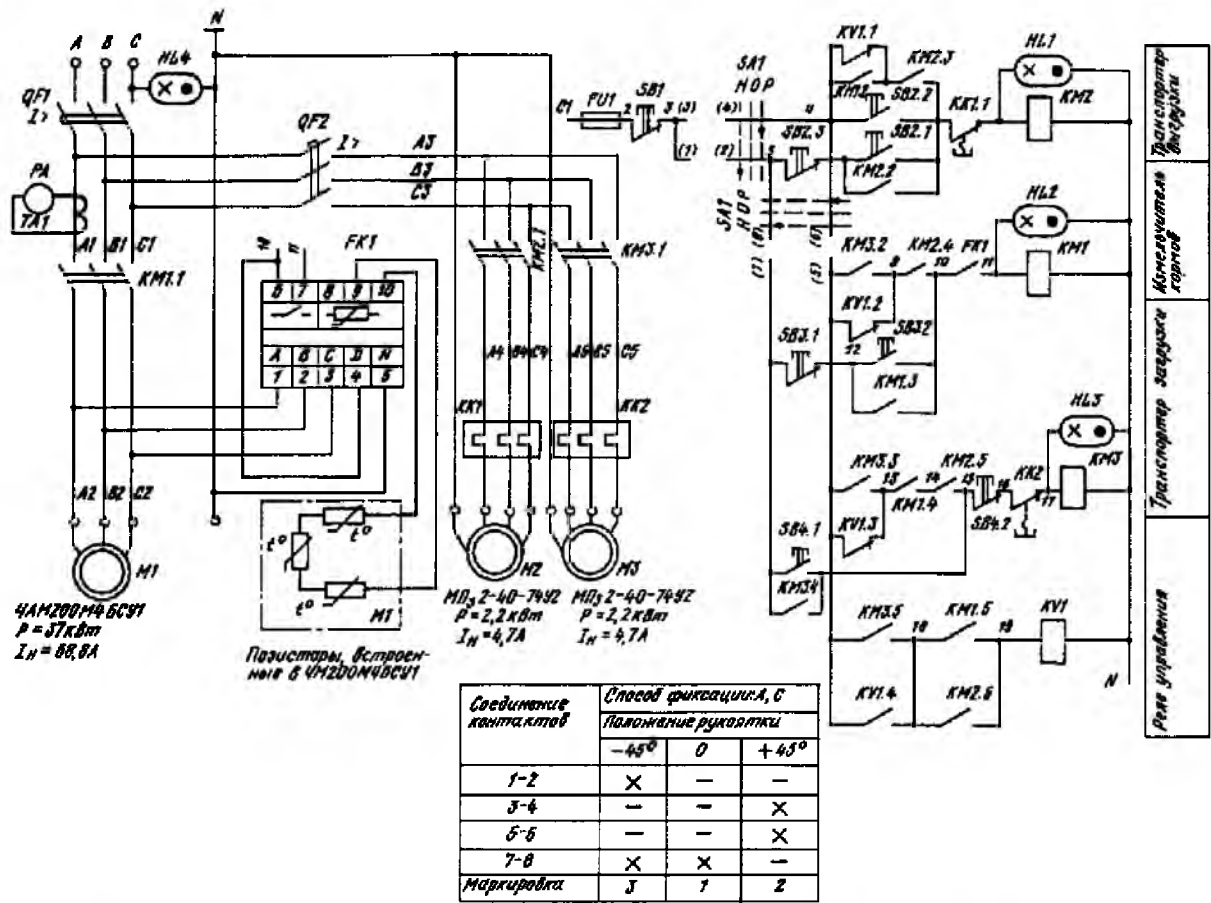


Рисунок 3.41 - Схема управления ИСК-3А в трехдвигательном варианте

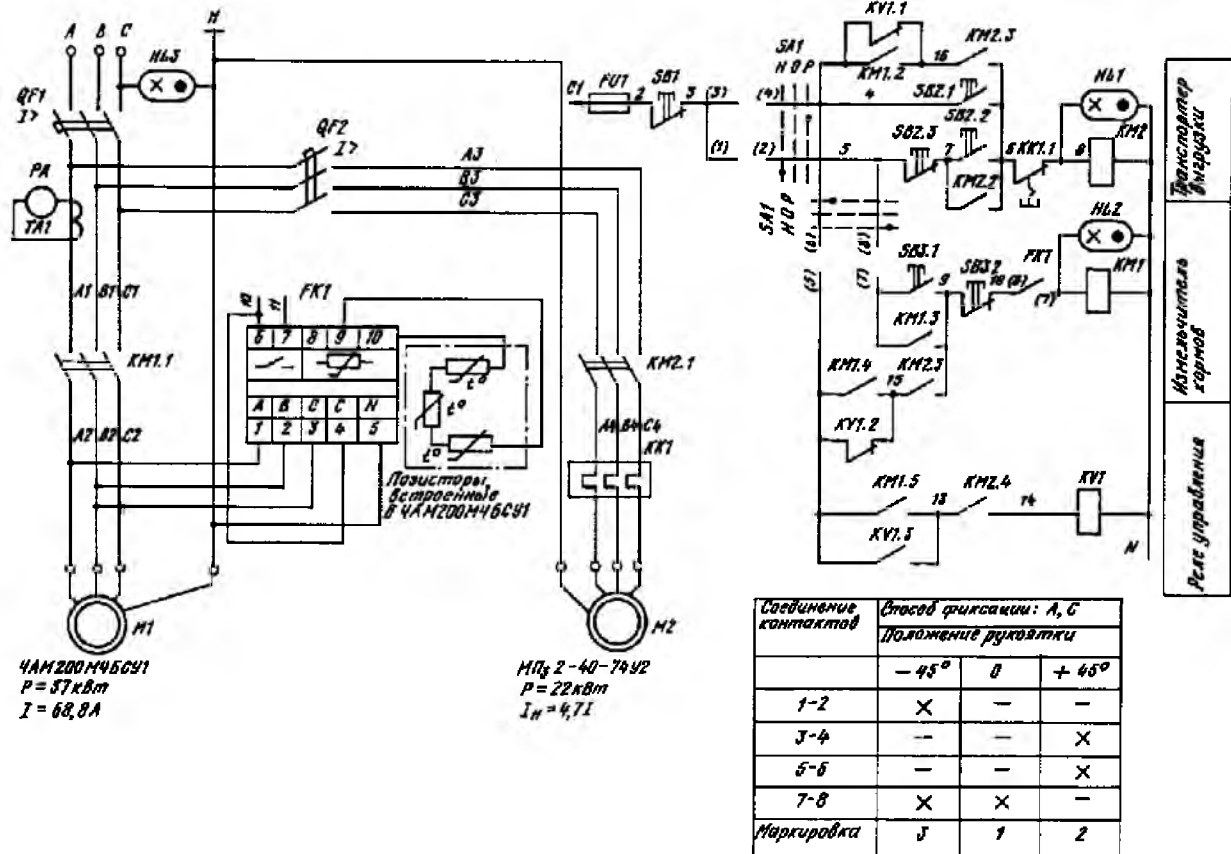


Рисунок 3.42 - Схема управления ИСК-3 в двухдвигательном варианте

Имеется силовая часть и цепи управления. В схеме присутствуют необходимые блокировки для правильного последовательного включения механизмов. Установлено более совершенное устройство встроенной температурной защиты УВТЗ-5М. Данное устройство имеет дополнительную функцию защиты электродвигателя от обрыва фазы.

Схема управления измельчителем грубых кормов представлена на рисунке 3.43.

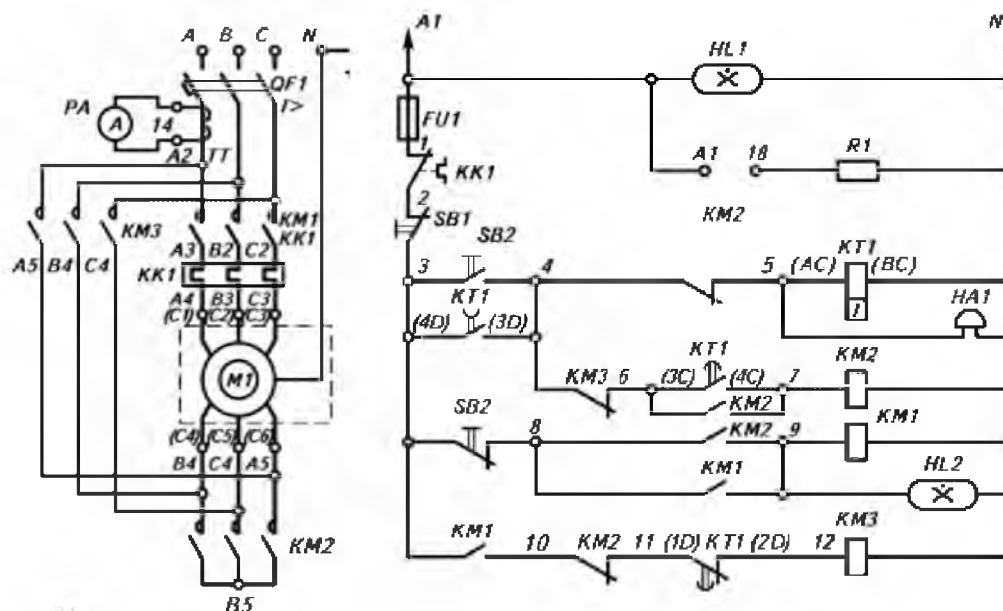


Рисунок 3.43 – Схема управления измельчителем грубых кормов ИГК-3

Схема управления включает необходимую аппаратуру для запуска электродвигателя со звезды на треугольник, что производится в функции времени.

Для измельчения фуражного зерна применяют **безрешетную дробилку** ДБ -5, технологическая схема которой представлена на рисунке 3.9. В соответствии с технологией работы дробилки функционирует схема управления (рис.3.44).

Электрическая схема предусматривает работу в режиме пуска-наладки и рабочем (переключатель *SA2*). В рабочем режиме осуществляется необходимая технологическая последовательность включения электроприводов: *M1*→*M2*→*M4*. Выгрузной шнек управляется кнопками *SB1* и *SB2*. Запуск главного электропривода возможен только при закрытой крышки дробильной камеры (контролируется конечным выключателем *SQ1*). Для уменьшения пусковых токов запуск электродвигателя дробилки *M2* производится переключением схемы соединений обмоток статора с «звезда» на «треугольник». После подключения основного соединения обмоток электродвигателя *M2* получает питания автоматический регулятор загрузки *AP3*. Также получает питание через понижающий трансформатор *TV1* и выпрямительный блок *UZ1*, электромагнитная муфта *YA1*. Электромагнитная муфта вводит в зацепление вал электродвигателя *M3* с заслонкой, регулирующей степень загрузки. Контроль загрузки основного электродвигателя происходит через

трансформатор тока *TA1*. В случае резкого броска тока (попадание посторонних предметов или слежавшиеся куски продукта) регулятор *AP3* через реле *KV2* отключает электромагнитную муфту и заслонка прерывает поток зерна в камеру. Контакты конечного выключателя *SQ2* замыкаются при полностью открытой заслонке и подают питание на звуковую сирену *HA1*. Пуск загрузочного шнека производится с помощью кнопки *SB6* и при отсутствии зерна в камере (разомкнуты контакты датчиков нижнего *SL1* и верхнего *SL2* уровня). При этом симистор *VS1* получает через резистор *R1* ток управления, открывается и катушка магнитного пускателя *KM4* получает питание. При достижении зерна верхнего уровня замыкаются контакты верхнего уровня *SL2*, управляющий электрод симистора *VS1* закорачивается и катушка *KM4* обесточивается. При этом размыкающий контакт магнитного пускателя *KM4* подключает контакты датчика нижнего уровня *SL1*. Следующее включение катушки магнитного пускателя *KM4* произойдет только после размыкания контактов нижнего уровня *SL1*.

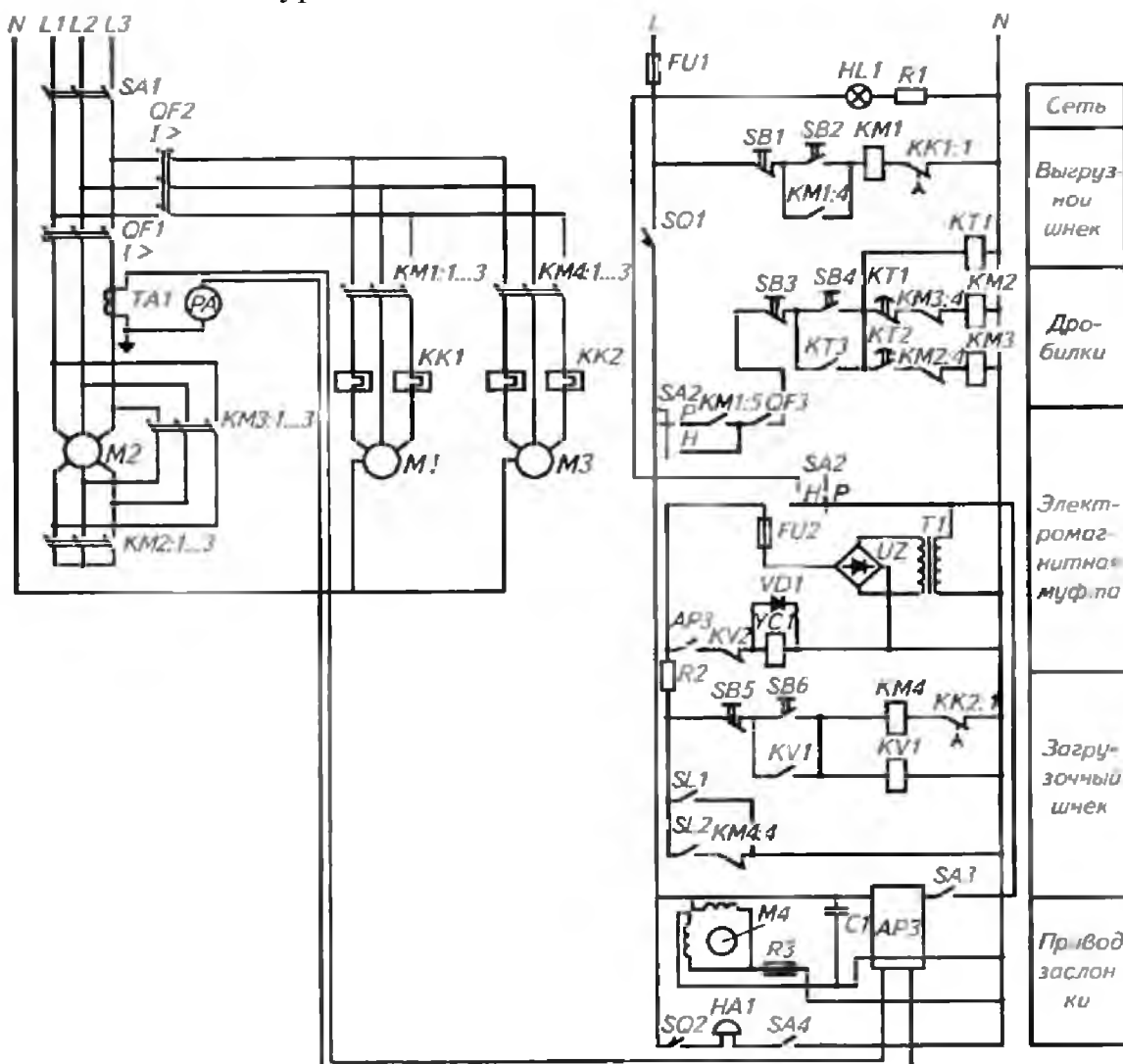


Рисунок 3.44 – Схема управления дробилкой ДБ-5

Электрическая принципиальная схема управления технологическим оборудованием **измельчителя корнеклубнеплодов ИКМ-Ф-10** (рис. 3.45) пре-

дусматривает ручной и автоматический режимы работы. Кнопкой **SB3** "СМЕСИТЕЛЬ" производится включение катушки пускателя **KM1**, через контакты которого производится включение электродвигателя смесителя **M1**. Далее кнопкой **SB5** "ШНЕК" производится включение катушки пускателя **KM2**, через контакты которого производится включение электродвигателя шнекового конвейера **M2**. Кнопкой **SB7** "СКРЕБОК" производится включение катушки пускателя **KM3**, через контакты которого производится включение электродвигателя скребкового конвейера **M3**. Отключение электродвигателей измельчителя корнеклубнеплодов производится соответствующими стоповыми кнопками **SB2**, **SB4**, **SB6**. Защита электродвигателей от токов **K3** осуществляется автоматическим выключателем **QF1**, а температурная защита электродвигателей осуществляется при помощи устройства встроенной температурной защиты УВТЗ-1М.

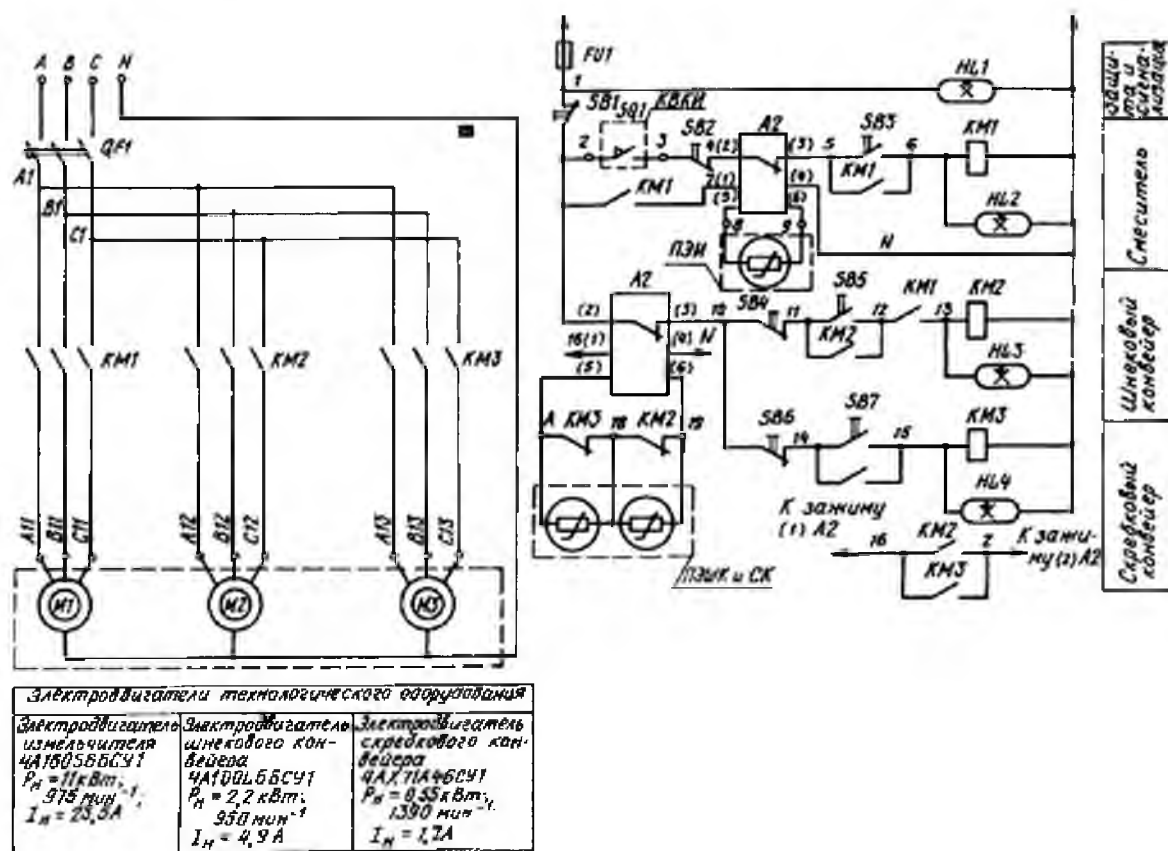


Рисунок 3.45 - Схема электрическая принципиальная управления технологическим оборудованием измельчителя корнеклубнеплодов ИКМ-Ф-10

Бытовые измельчители кормов и дробилки включаются в однофазную электрическую сеть. В связи с этим в электроприводах часто используют **однофазные асинхронные электродвигатели**. Как правило, такой электродвигатель имеет рабочую обмотку и пусковую. Так как рабочая обмотка создает только пульсирующее поле, магнитный поток которого изменяется во времени по синусоидальному закону $\Phi = \Phi_{max} \sin \omega t$, причем ось этого потока неподвижна в пространстве, то для создания вращающегося магнитного поля нужна пусковая обмотка. Более подробно процесс создания вращающегося

ся поля выглядит следующим образом. Пульсирующий магнитный поток можно условно представить в виде двух одинаковых потоков одинаковой величины, вращающихся в противоположные стороны со скоростью ω_0 . Каждый из них равен половине амплитуды пульсирующего потока. Поле Φ_1 , вращающееся в ту же сторону что и ротор, называют прямым, а поле Φ_2 , вращающееся в противоположную сторону называют обратным.

Скорость прямого потока относительно ротора равна разности скоростей поля и ротора:

$$\omega_1 - \omega_2 = \omega_1 - \omega_1(1 - s) = s\omega_1. \quad (3.19)$$

Скорость обратного поля относительно ротора равна сумме скоростей поля и ротора:

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_1 + \omega_1(1 - s) = \omega_1(2 - s). \quad (3.20)$$

При неподвижном роторе оба вращающихся поля индуцируют в роторе одинаковую силу тока. При вращении прямое поле (со скоростью $s\omega_1$) индуцирует в роторе ток с частотой $f_2 = sf_1$, то есть примерно 2..8 Гц. Значение этой силы тока можно определить по формуле:

$$I_1 = \frac{E_1 \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2 \cdot s^2}}, \quad (3.21)$$

где E_1 - электродвижущая сила в роторе от потока Φ_1 при $s=1$; R_2 X_2 - сопротивления ротора соответственно активное и индуктивное.

Обратное поле (скорость $\omega_1(2-s)$) наводит в роторе силу тока с частотой соответственно $f_2 = (2-s)f_1$, то есть примерно 94...98 Гц. Значение этого тока также можно определить по формуле:

$$I_2 = \frac{E_2 \cdot (2 - s)}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2 \cdot (2 - s)^2}}, \quad (3.22)$$

где E_2 - электродвижущая сила в роторе от потока Φ_2 при $s=1$

Ток, индуцируемый прямым полем создает вращающий момент:

$$M_1 = k_M \Phi_1 I_1 \cos \varphi_1, \quad (3.23)$$

где φ_1 - угол сдвига фазы тока I_1 и эдс E_2 .

Величина момента M_1 значительна, так как активная составляющая силы тока весьма велика (из-за малой частоты тока).

Ток, индуцируемый обратным полем создает вращающий момент:

$$M_2 = k_M \Phi_2 I_2 \cos \varphi_2, \quad (3.24)$$

где φ_2 - угол сдвига фазы тока I_2 и эдс E_2 .

Величина момента M_2 невелика, из-за практически двойной частоты тока.

На рисунке 3.46 представлены механические характеристики электродвигателя с двумя моментами и одним результирующим. Из приведенных

графиков, а также полученных аналитических выражений видно, что когда ротор неподвижен вращающиеся моменты уравновешиваются и результирующий момент равен нулю.

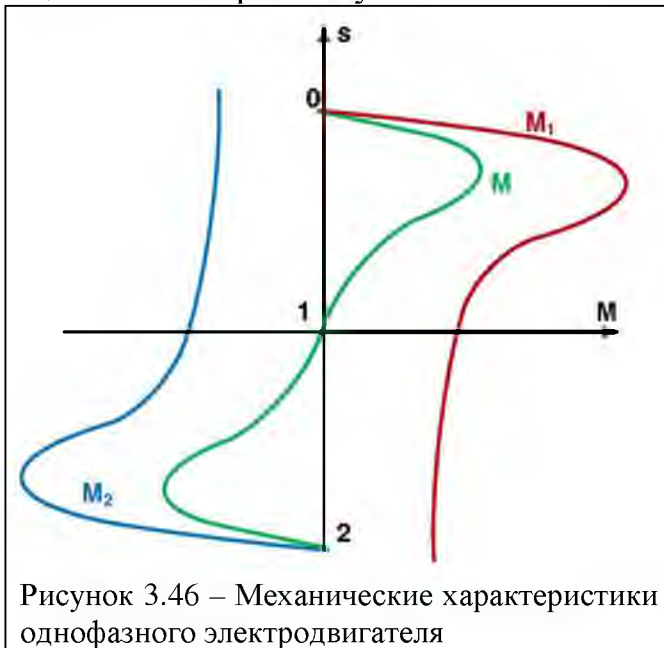


Рисунок 3.46 – Механические характеристики однофазного электродвигателя

Для обеспечения запуска необходимо подключить третью обмотку (если трехфазный электродвигатель) или вторую, сдвинутую на 90 электрических градусов (если электродвигатель однофазный). Эти обмотки дают пространственный сдвиг, но для создания вращающегося магнитного поля необходимо также временной сдвиг. Для получения угла сдвига тока пусковой обмотки по отношению к току главной обмотки применяют фазосдвигающие элементы: активные и индуктивные сопротивления, но чаще всего конденсаторы.

Двигатели с пусковой обмоткой (рис. 3.47) являются распространенными однофазными двигателями. В них, кроме рабочей обмотки Р на статоре имеется также пусковая обмотка П, сдвинутая относительно рабочей обмотки на 90 электрических градусов. Последовательно с пусковой обмоткой включается фазосдвигающий элемент Z_{Π} для создания сдвига фаз между токами обмоток и намагничивающими силами двух обмоток.

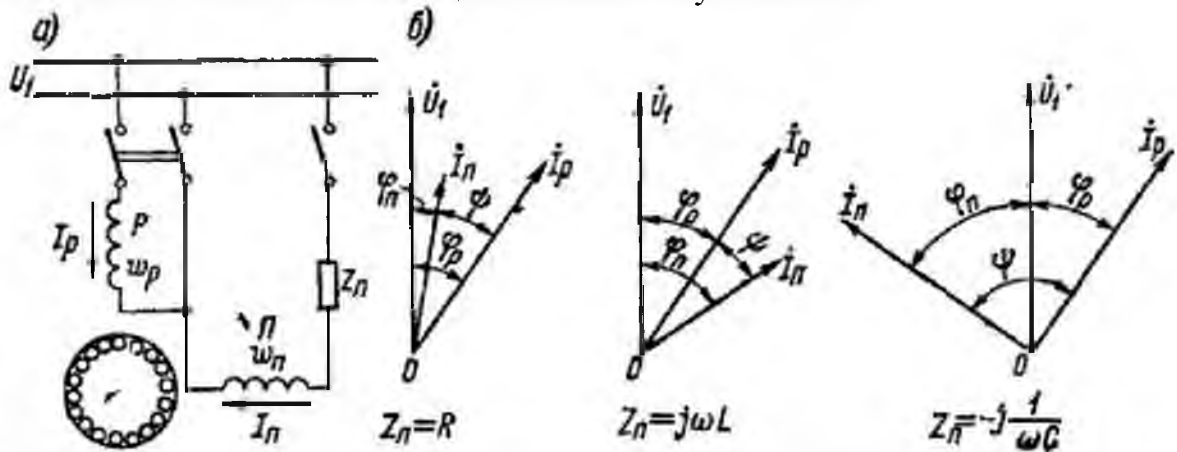
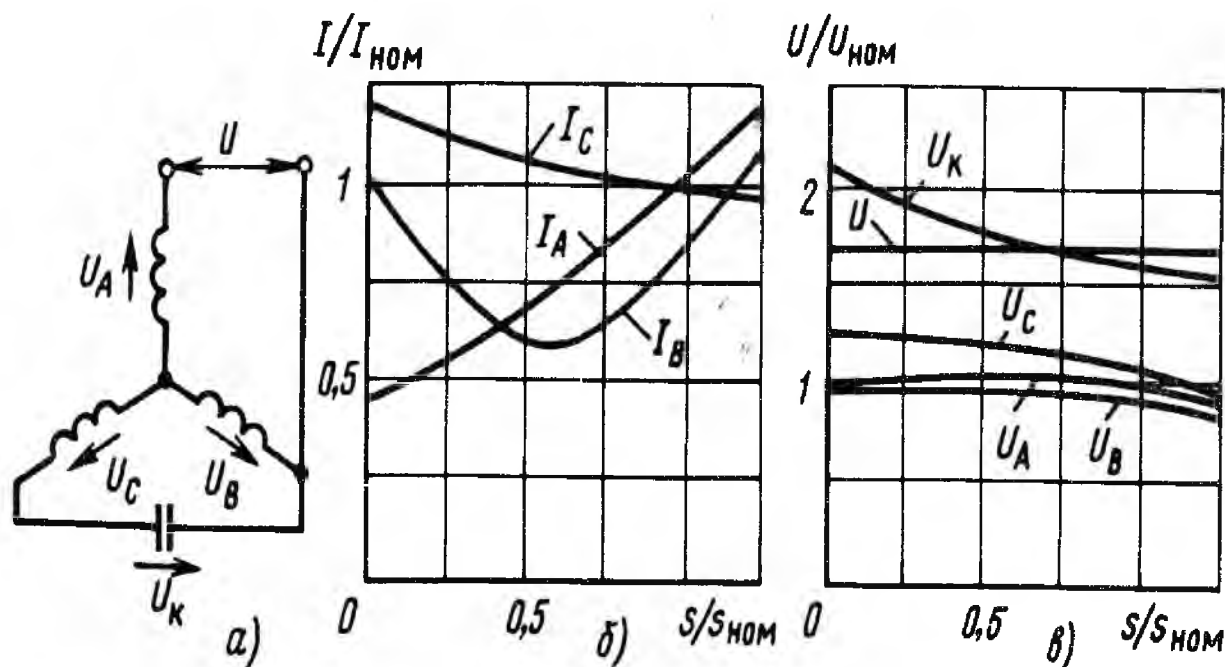


Рисунок 3.47 - Схема (а) и векторные диаграммы (б) однофазного асинхронного двигателя с пусковой обмоткой

Как видно из рисунка 3.47 сдвиг фазы (угол ψ) равный 90° можно получить только при использовании емкостного сопротивления. В двух других случаях всегда создаются два поля, вращающиеся в разные стороны, но одно из них будет сильнее, в результате чего развивается пусковой момент и двигатель запустится. Пусковые условия будут лучшими при включении емкости в пусковую фазу. Пуск с помощью индуктивного сопротивления дает

наихудшие результаты и в настоящее время почти не используется. Чаще всего применяется пуск с помощью активного сопротивления. При этом обычно сама пусковая обмотка выполняется с повышенным активным сопротивлением (уменьшенное сечение обмоточного провода, а также намотка части витков катушек в бифиляр). После того как двигатель при пуске достигнет определенной скорости вращения, пусковая обмотка отключится с помощью центробежного выключателя, реле времени, токового реле или вручную. Двигатели с пусковым активным сопротивлением применяются в стиральных и холодильных машинах, доильных аппаратах, машинах для стрижки овец, центрифугах.

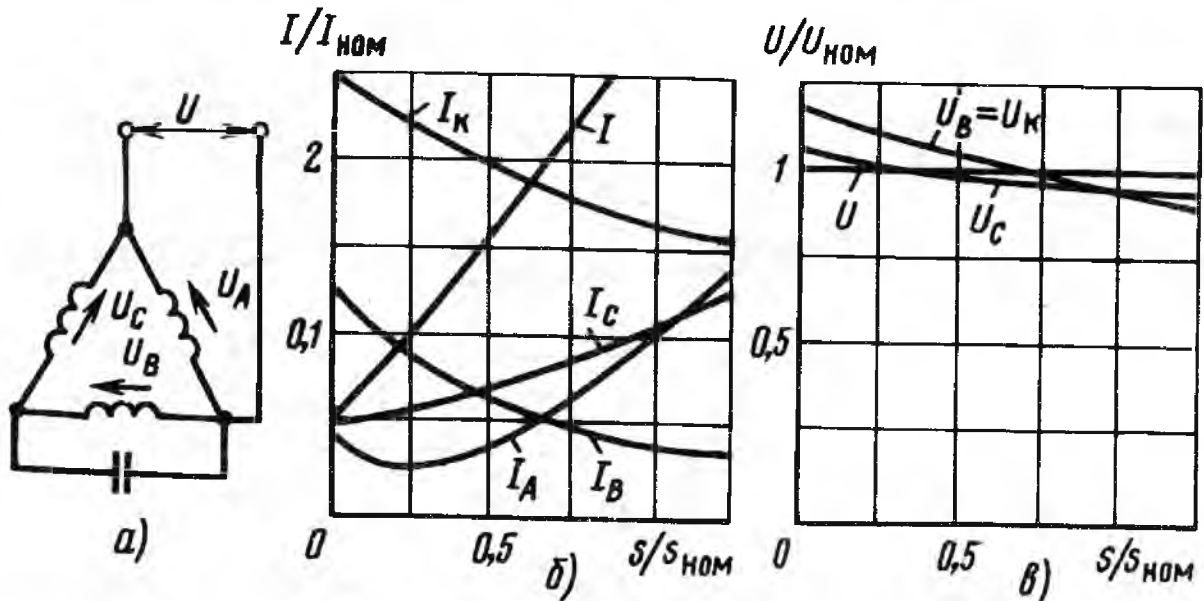
Для работы от однофазной сети могут быть использованы также трехфазные двигатели (рис. 3.48). Асинхронный конденсаторный двигатель имеет на статоре две обмотки, которые обе являются рабочими, и в одну из этих обмоток включается емкость C_p , величина которой рассчитывается так, что при номинальной нагрузке существует только вращающееся поле прямой последовательности. Конденсаторный двигатель, в сущности представляет собой двухфазный двигатель, который подключен посредством конденсатора C_p к однофазной сети и при номинальной нагрузке имеет симметричную нагрузку фаз. При других нагрузках симметрия намагничивающих сил фаз нарушается и появляется также обратное поле, так как при различных нагрузках величины емкости, необходимые для достижения симметричной нагрузки, также различны. Зависимости токов и напряжений фаз от скольжения приведены на рисунках 3.48, 3.49.



а - принципиальная схема; б - графики зависимостей токов в обмотках от скольжения; в - графики зависимостей напряжений на обмотках и конденсаторе от скольжения, при емкости конденсатора при номинальном режиме работы

Рисунок 3.48 Принципиальная схема соединения «звездой» и графики зависимостей токов и напряжений от скольжения.

Как видно из рисунка 3.48 ток фазы А пропорционален скольжению, ток фазы В имеет перегиб и при уменьшении нагрузки с начало уменьшается, а потом увеличивается; ток фазы С с уменьшением нагрузки - увеличивается.

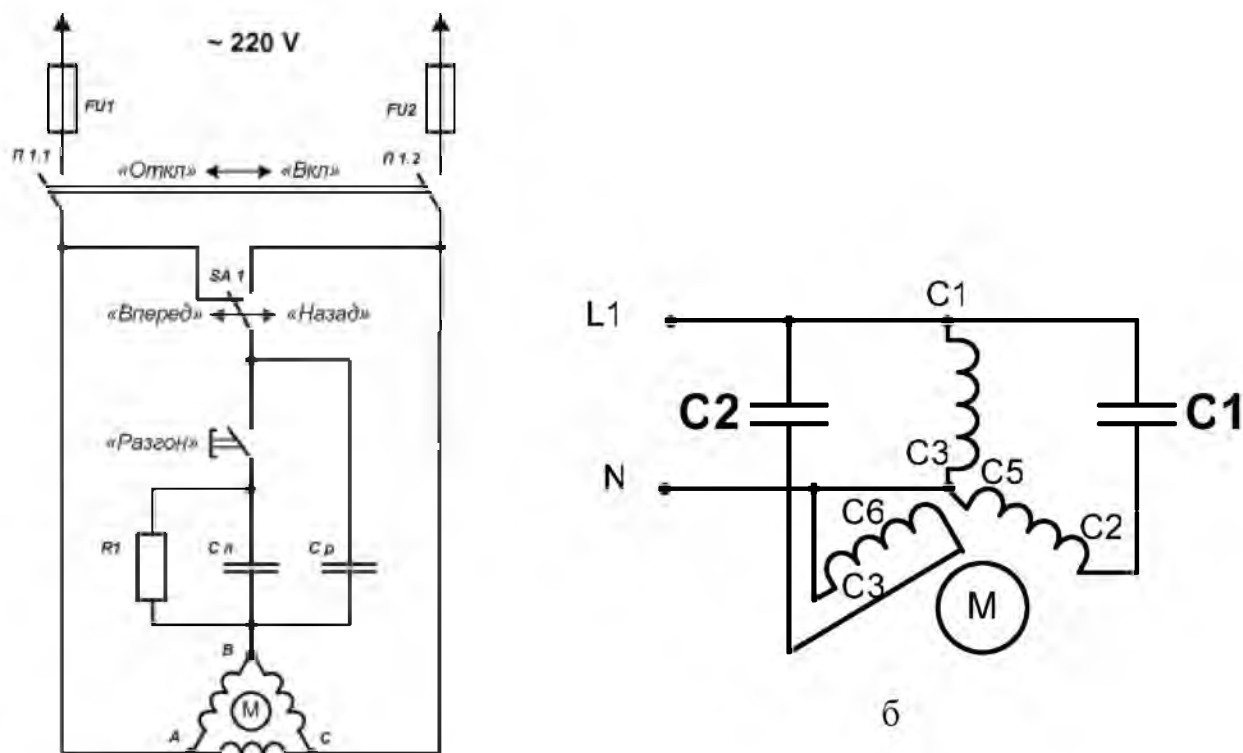


а - принципиальная схема; б - графики зависимостей токов в обмотках от скольжения; в - графики зависимостей напряжений на обмотках и конденсаторе от скольжения, при емкости конденсатора при номинальном режиме работы

Рисунок 3.49 Принципиальная схема соединения «треугольником» и графики зависимостей токов и напряжений от скольжения

Как видно из рисунка 3.49 ток фазы В с уменьшением нагрузки увеличивается. Увеличение тока в одной из фаз необходимо учитывать в условиях эксплуатации, так как это может привести к перегрузки по току и выходу из строя электрической машины при малых нагрузках.

Схемы управления бытовых измельчителей содержат систему запуска асинхронного электродвигателя через фазосдвигающий элемент – конденсатор. В качестве электродвигателей часто используют обычный - с тремя обмотками для подключения к трехфазной сети. Полезная мощность, развиваемая двигателем в этом случае, составляет 50...60% от его мощности в трехфазном включении. Для нормальной работы электродвигателя с конденсаторным пуском необходимо, чтобы емкость используемого конденсатора менялась в зависимости от нагрузки. Особенно это необходимо при пуске, когда требуется повышенный пусковой момент. На практике используют двухступенчатое управление двигателем. При пуске двигателя подключают два конденсатора, а после разгона один конденсатор отключают и оставляют только рабочий конденсатор. Если электродвигатель предназначен для работы от сети напряжением 220/380 В, то двигатель включают в однофазную сеть по схеме, представленной на рисунке 3.50. На этом рисунке представлены две схемы: с одним рабочим конденсатором и с двумя. Подключение по схеме б позволяет использовать мощность электродвигателя полнее, чем по схеме а на 15-25%.



a)

Рисунок 3.50 – Схемы подключения трехфазного электродвигателя к однофазной сети.

Емкость рабочего конденсатора C_p в случае соединения обмоток двигателя в "треугольник" определяется по формуле:

$$C_p = 4800 \frac{I}{U}, \quad \text{где } C_p - \text{емкость рабочего конденсатора в мкФ;} \quad (3.25)$$

I - потребляемый электродвигателем ток в А;
 U - напряжение в сети, В

В случае соединения обмоток двигателя в "звезду" определяется по формуле:

$$C_p = 2800 \frac{I}{U}. \quad (3.26)$$

Емкость пускового конденсатора C_n выбирают в 2..2,5 раза больше емкости рабочего конденсатора. Эти конденсаторы должны быть рассчитаны на напряжение в 1,5 раза больше напряжения сети. При условии кратковременного включения в качестве пусковых конденсаторов можно использовать и электролитические конденсаторы. Электролитические конденсаторы соединяют последовательно, соединяя между собой их минусовые выводы, и шунтируют диодами (рис. 3.51)

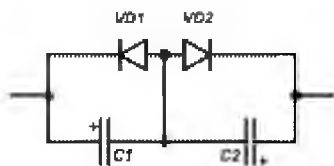


Рисунок 3.51 - Принципиальная схема соединения электролитических конденсаторов для использования их в качестве пусковых конденсаторов.

Величину емкостей рабочих и пусковых конденсаторов можно выбирать в зависимости от мощности двигателя по таблице 1.

Таблица 3.9 - Значение емкостей рабочих и пусковых конденсаторов трехфазного электродвигателя при включении в сеть 220 В.

Мощность трехфазного электродвигателя, кВт	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	2.2
Минимальная емкость конденсатора С1, мкф	40	60	80	100	150	230
Емкость пускового конденсатора С2, мкф	80	120	160	200	250	300

Как уже отмечалось, что у электродвигателя с конденсаторным пуском в режиме холостого хода по обмотке, питаемой через конденсатор, протекает ток на 30...50 % превышающий номинальный. Иногда в эксплуатации думают, что можно дать электродвигателю остыть, работая на холостом ходу. При этом в основной обмотке будет протекать меньший ток, а в пусковой – повышенный и она будет перегреваться. В этом случае нужно включать конденсатор меньшей емкости или вообще отключить емкость «на ходу». Конденсаторы часто размещают в отдельном блоке управления, но могут их устанавливать и на электродвигателе (рис.3.52).



Рисунок 3.52 - Внешний вид электродвигателей с конденсаторами и вид коробки выводов с подключением рабочей емкости.

Для автоматического отключения пусковой емкости используют специальные кнопки (рис. 3.53), где имеются специальные контакты включающиеся кратковременно. Кроме того встречаются схемы, где используют токовое реле, которое при пуске замыкает контакты и подключает пусковую емкость, а после разгона уменьшается ток в рабочей обмотке и пусковой конденсатор

отключается. Кроме трехфазных электродвигателей выпускаются серийно и однофазные – с двумя обмотками (одна – рабочая, другая – пусковая). На рисунке показана схема включения однофазного электродвигателя с включением пускового конденсатора через токовое реле. В случае использования в качестве пусковой емкости электролитических конденсаторов нужно использовать диоды, иначе при затягивании времени пуска конденсаторы могут выйти из строя.

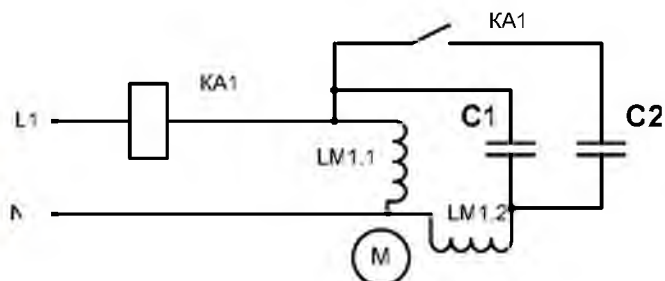


Рисунок 3.53 - Внешний вид кнопок для включения электродвигателей в однофазный режим и принципиальная схема подключения двухобмоточного электродвигателя через токовое реле.

Контрольные вопросы

1. Основные типы измельчителей кормов.
2. Способы измельчения зерна.
3. Особенности энергетических характеристик измельчителей и дробилок.
4. Приведите вид механических характеристик измельчителей и дробилок.
5. Способы достижения устойчивой и эффективной работы измельчителей и дробилок.
6. Поясните принцип работы центробежных муфт и как они влияют на пуск электродвигателей измельчителей.
7. В каком режиме работает электропривод измельчителей и как это учитывается при выборе мощности электродвигателя.
8. Принципы автоматизации работы дробилок.
9. Поясните работу схемы управления дробилки ДБ-5.
10. Зачем используют в электроприводе дробилок устройства встроенной температурной защиты электродвигателей.
11. Поясните принцип работы однофазного асинхронного электродвигателя.
12. Условие создания кругового вращающегося магнитного поля в асинхронном двигателе и как это условие выполняется при работе трехфазного электродвигателя в однофазном режиме.
13. Приведите схемы включения трехфазного электродвигателя в однофазную сеть и основные формулы по расчету фазосдвигающей емкости.

4. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

4.1. Приводные характеристики стационарных транспортеров

Электрифицированные транспортные средства подразделяются на стационарные и мобильные. К стационарным относятся ленточные, скребковые, ковшовые, шнековые, тросошайбовые, пневматические, гидравлические и т.д. транспортеры, перемещающие грузы в различных сельскохозяйственных помещениях. Транспортеры еще называют механизмами непрерывного транспорта, а также конвейерами. Основной конструктивной частью этих механизмов является замкнутый, непрерывно движущийся тяговый орган, который может быть в виде ленты специального изготовления, цепи, троса и т.п.

Одной из главных характеристик перемещаемых грузов является их плотность (количество массы груза единице объема, кг/м^3) (Таблица 4.1).

Таблица 4.1– Плотность сельскохозяйственных грузов

Тип груза	Плотность, кг/м^3	Тип груза	Плотность, кг/м^3
Пшеница, рожь, кукуруза, горох	650...810	Полова, сено, солома	70...150
Ячмень, рис, комбикорм	500...750	Мука овсяная, трава	300...400
Мука ржаная, овес	400...600	Навоз слежавшийся	700...750
Картофель, силос	600...750	Земля, гравий, песок	1200...2000
Сено и солома пресованные	270...290	Удобрения минеральные	750...900

Важной характеристикой грузов является коэффициент трения, который зависит не только от свойств самого груза, но и от свойств соприкасающегося материала. Значения коэффициентов трения некоторых сельскохозяйственных продуктов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Коэффициенты трения сельскохозяйственных продуктов

Тип груза	Коэффициент трения по		
	металлу	дереву	резине
Зерно	0,32...0,47	0,37...0,47	0,74
Свекла	0,48	0,53	0,74
Силос	0,66...0,7	0,75	0,74
Сено	0,25	0,3...0,33	0,74
Кукуруза (зерно)	0,25...0,57	0,24...0,34	0,74

Технологические характеристики. Электродвигатели конвейеров работают в различных условиях окружающей среды, часто в запыленных, влажных помещениях с высокой или низкой температурой, с агрессивной

средой, а также на открытом воздухе. Характерной особенностью некоторых конвейеров (навозоуборочные транспортеры, отдельные кормораздатчики) является повышенный статический момент сопротивления, который может превосходить даже номинальный момент, из-за нескольких причин - примерзания рабочих органов, перегрузки и завалов рабочей машины.

Используют различные типы конвейеров (рис. 4.1) в агропромышленном комплексе. Большая часть их находит применение в растениеводстве и переработке его продуктов.



шнековый



скребковый



ленточные



Рисунок 4.1 - Внешний вид различных конвейеров

Для подъема сыпучих материалов применяют вертикальные элеваторы – **нории**. Внешний вид нории типа НЦ представлен на рисунке 4.2. Верхняя часть нории носит название головки, нижняя - башмака. Башмак и головка соединены посредством норийных труб. Тяговым элементом является цепь с ковшами (рис.4.2), движение тягового элемента осуществляется с участием натяжного ролика и приводной звездочки. Приводная звездочка находится в головке нории, и вращаясь, приводит цепь в движение. Продукт попадает в башмак через загрузочный патрубок, после чего ссыпается самотеком. Загрузка ковшей происходит при зачерпывании продукта из башмака нории или засыпкой через приемный патрубок непосредственно в ковши. Основные технические характеристики норий типа НЦ представлены в таблице 4.3. По этим характеристикам и производят заказ на поставку оборудования.

Таблица 4.3 - Основные технические характеристики норий типа НЦ

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателя		
		НЦ-10	НЦ-20	НЦ-50
1.	Производительность по зерну (при 0,75 т/м ³) при влажности 17%, т/ч, не менее	8	12	25
2.	Установленная мощность привода при высоте нории, кВт:			
	- 10 м	1,1	1,5	3
	- 20 м	2,2	3	4
	- 30 м	3	4	5,5
	- 40 м	4	5,5	7,5
3.	Частота вращения приводной звездочки, об/мин.	77,5	65,8	50,5
4.	Скорость цепи, м/с	1,8	1,8	1,8
5.	Шаг ковшей, мм	250	500	250
6.	Размеры ковшей, мм			
	- ширина	110	165	180
	- вылет	90	125	125
	- высота	106	150	150
7.	Диаметр приводной звездочки, мм	443,7	522,3	680,3

Примечание: производительность норий указана по зерну пшеницы объемным весом 0,75 т/м³ и влажностью до 17%. Для определения производительности нории при транспортировании продуктов переработки зерна значение производительности, указанной в таблице, должны быть умножены на коэффициент: 0,7 - для муки; 0,6 - для комбикормов; 0,45 - для подсолнечника.

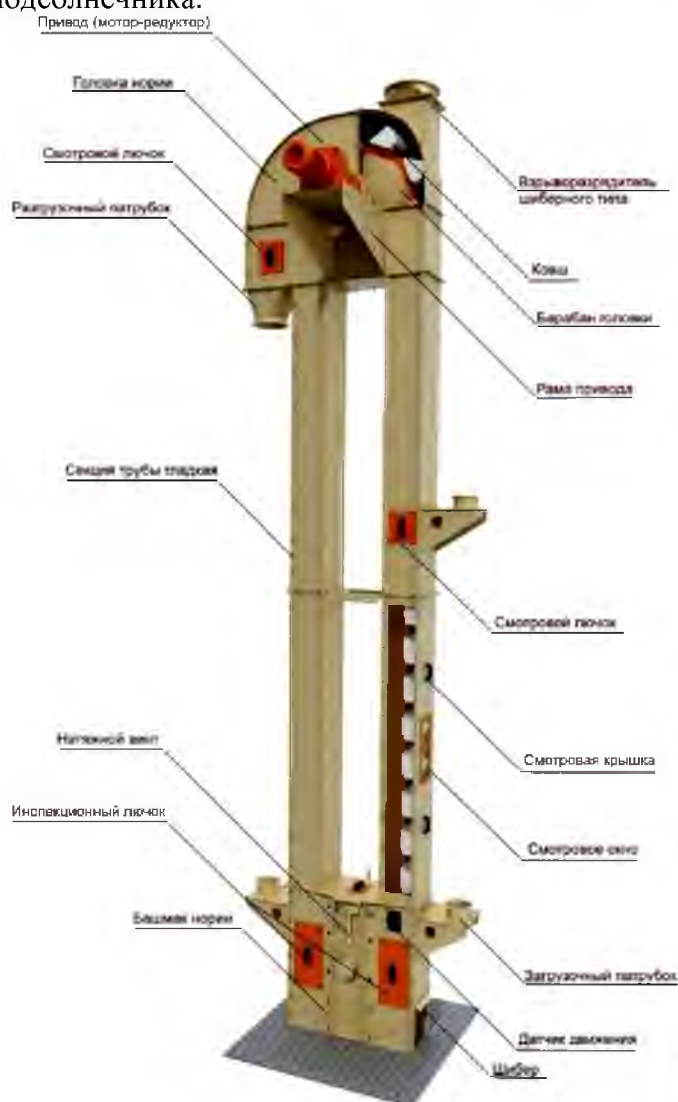


Рисунок 4.2– конструкция нории типа НЦ и вид ковша

Производительность нории можно рассчитать по формуле:

$$Q = \varphi \cdot \frac{i}{l} \cdot v \cdot \rho, \quad (4.1)$$

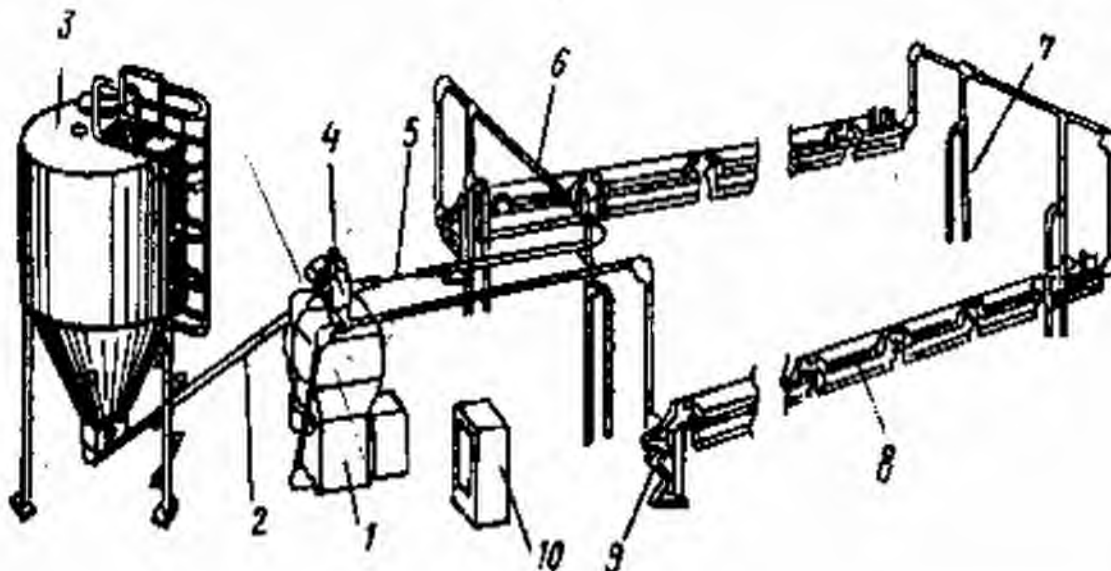
где φ - коэффициент заполнения ковшей, для зерна 0,75...0,9; продуктов помола 0,33; i - вместимость ковша, м³; l - расстояние между ковшами, м, принимается равным 2,5...3,2 от высоты ковша; v - скорость движения, м/с, для зерна принимается 2...4, для муки - 1...1,5, для корнеклубнеплодов - 0,3...0,5; ρ - насыпная плотность материала, кг/м³, для корнеплодов - 450, зерна 450...750, силоса -270, зерновой дерты - 370...630, навоза - 1000.

Тросошайбовые транспортеры применяются на животноводческих и птицеводческих Фермах для раздачи сухих сыпучих кормов по трубам с помощью тросошайбового рабочего органа (рис.4.3). Они просты по конструкции, надежны, позволяют делать повороты в любом направлении, не занимают полезной площади пола и могут транспортировать корм на десятки метров (рис.4.3).



Рисунок 4.3 – Рабочий орган транспортера и использование тросошайбовых транспортеров для кормления свиней

Стационарный шайбовый кормораздатчик КШ-0,5 предназначен для дозированной раздачи комбикормов в свинарниках. В зависимости от способа содержания животных в станках (индивидуальный или групповой) предусмотрены два модифицированных кормораздатчика: КШ-0,5-I с индивидуальными дозаторами; КШ-0,5-II с групповыми дозаторами. На рисунке 4.4 представлена технологическая схема такого раздатчика кормов. Работа установки происходит следующим образом. Комбикорм из наружного бункера 3 шнеком 2 поступает в промежуточный бункер 4. Из бункера 4 шайбовым тросом по кормопроводу 6, 7 корм заполняет индивидуальные и групповые дозаторы 9. После заполнения последнего дозатора выключается тросошайбовый кормораздатчик и включаются приводы дозаторов для заполнения кормушек 8. При опорожнении бункера 4 привод 1 шнека 2 автоматически включается, а при заполнении отключается. В кормораздатчике предусмотрено устройство увлажнения комбикорма в кормушках.



1- привод; 2- шнек; 3- бункер; 4- промежуточный бункер; 5-; 6,7 – кормопроводы; 8- кормушки; 9-дозаторы; 10- станция управления
 Рисунок 4.4 - Технологическая схема стационарного шайбового кормораздатчика КШ-0,5

Канатные транспортеры (разновидность тросошайбового транспортера) Для раздачи корма на фермах часто применяют тросошайбовые транспортеры, например, фирмы TRANSPORK (рис.4.5). Принцип действия конструкции состоит в том, что специально смазанный транспортный канат из проволоки покрыт специальной пластмассой. Покрытие очень мягкое и свободно повторяет изгибы троса, не лопааясь при этом. Покрытие обеспечивает сохранение смазки троса. Еще одним положительным качеством пластикового покрытия является то, что никакая часть проволоки каната не попадает в корм. Направляющие ролики изготовлены из износостойчивого пластика и их можно монтировать под как под наклоном так и вертикально. Производительность кормораздатчиков данной фирмы может быть от 400 до 2100 кг/ч.

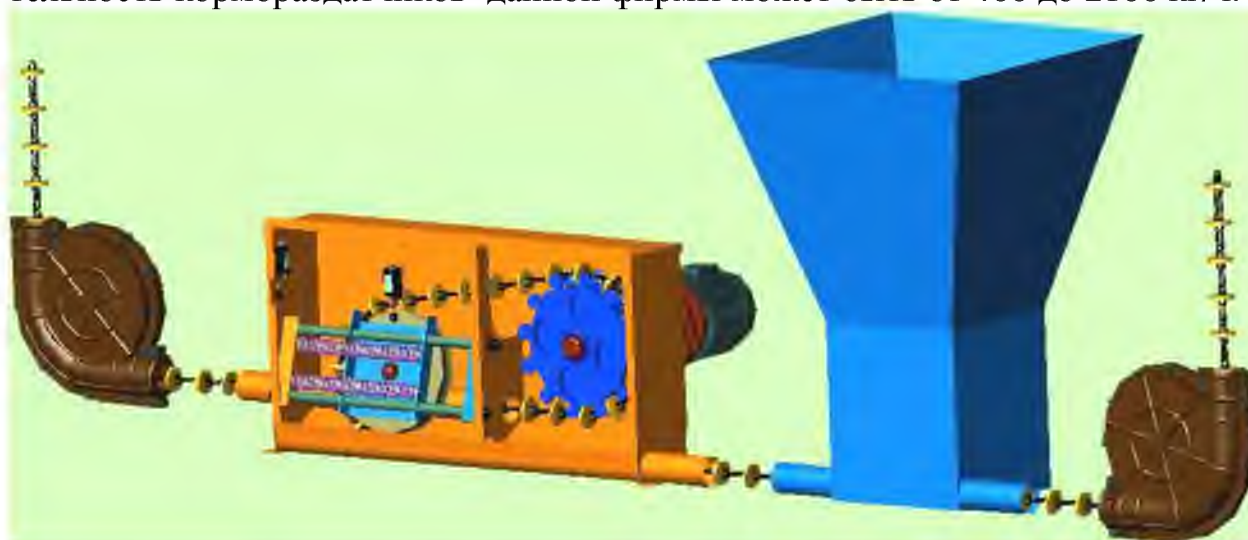


Рисунок 4.5 - Конструктивный вид канатного транспортеры для раздачи корма

Производительность тросошайбового транспортера определяется по формуле:

$$Q = \rho \cdot F_{\text{п}} \cdot v_m \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (4.2)$$

где $F_{\text{п}}$ - площадь поперечного сечения транспортируемого материала, м^2 ; v_m - скорость транспортирования, $0,1 \dots 0,8$ м/с; k_1 - коэффициент заполнения желоба, $0,8 \dots 0,9$; k_2 - коэффициент, учитывающий уплотнение груза, $1,05 \dots 1,1$.

Имеется еще одна формула определения производительности транспортера:

$$Q = \frac{V_d \cdot \rho \cdot v_m}{s_d}, \quad (4.3)$$

где V_d - объем порции корма перед диском (шайбой), м^3 ; s_d - шаг дисков, $0,05 \dots 0,2$, м.

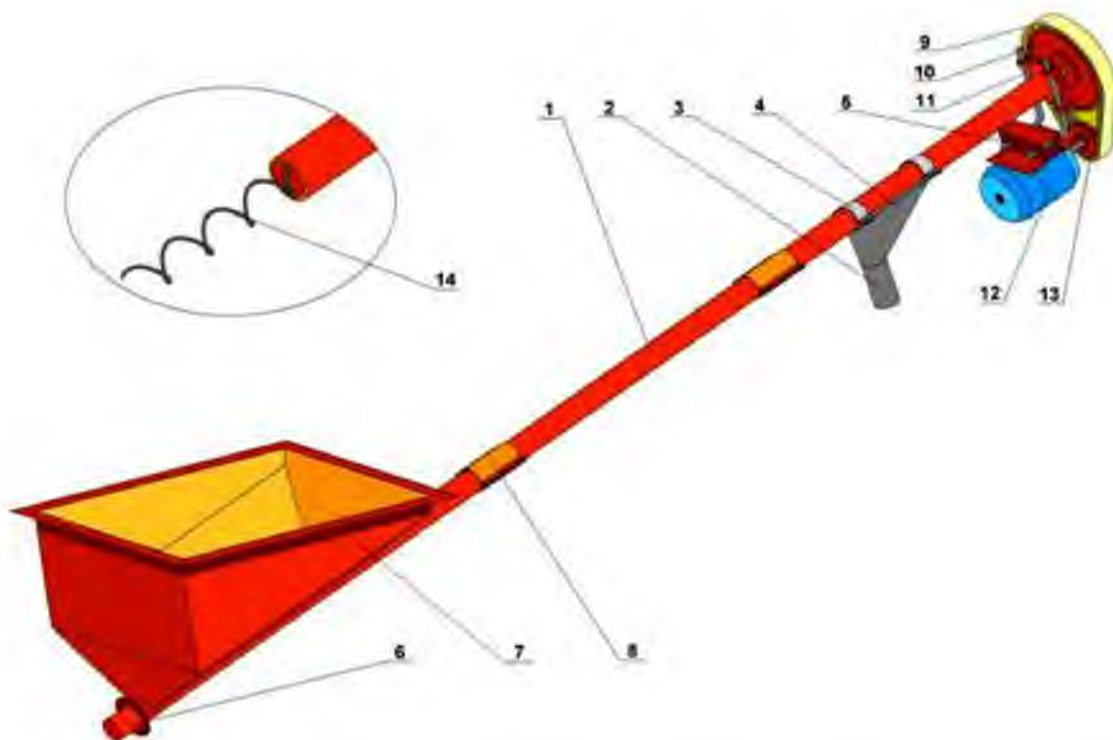
Спиралевидные транспортеры (спирали) предназначены для кормораздачи и на небольших фермах являются более дешевым способом раздачи корма, чем традиционные кормораздаточные установки (рис.4.6).



Рисунок 4.6 - Внешний вид спиралевидных транспортеров и рабочего органа транспортера

Спираль изготовлена из плоской пружинной стали, которая имеет большую прочность. Трубы спиралей изготовлены из специального прочного пластика. Приводы оснащены редукторными электромоторами (с числом оборотов до 350 в мин). Для передачи транспортируемого материала с одной спирали на другую имеются специальные пересыпки, оснащенные мотор-редукторами.

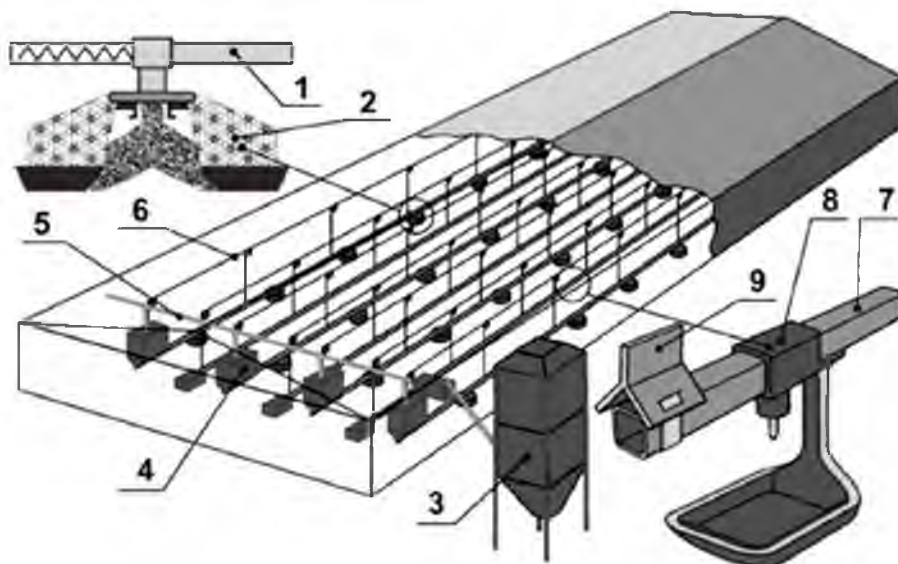
На рисунке 4.7 представлена конструкция спирального транспортера ТНШ, предназначенного для раздачи корма с производительностью 2,1 т/ч.



1 – труба; 2 – рукав; 3 – хомут; 4 – горловина; 5 – скоба; 6 – опора нижняя, 7 – приемник; 8 – полухомут; 9 – кожух; 10 – шкив; 11 – кронштейн; 12 – электродвигатель; 13 – шкив двигателя; 14 – спираль.

Рисунок 4.7– Составляющие элементы спирального транспортера ТНШ

На рисунке 4.8 показана технологическая схема раздачи корма с помощью спиральных транспортеров.



1 – спиральный кормораздатчик; 2 - бункерная кормушка; 3 - бункер сухих кормов БСК-10; 4 - бункер спирали; 5 – транспортер ТНШ; 6 - система подъема; 7 - линия поения; 8 - nippleная поилка; 9 - ребро жесткости

Рисунок 4.8 – Технологическая схема раздачи корма с помощью спиральных транспортеров.

Ленточные транспортеры. Ленточные транспортеры ТЛС-30, ТЛС-70 применяют для транспортировки измельченного сенажа, силоса, сена и соло-

мы. Ленточные транспортеры ЛТ-6 и ЛТ-10 подают сыпучие корма. Ленточные конвейеры типа КЛ (рис.4.9) предназначены для бережного горизонтального и полого-наклонного (под углом до 22°) транспортирования зерна и продуктов его переработки, маслосемян, гранул и других подобных по физическим свойствам материалов. Конвейеры устанавливаются на зерноперерабатывающих предприятиях в приемных отделениях железнодорожного и автомобильного транспорта, а также в надсилосных и подсилосных галереях элеваторов, мельниц, крупяных, комбикормовых, маслоэкстракционных заводов. Ленточные транспортеры обычно схожи по конструкции и имеют в своем составе типовые элементы (рис.4.10, 4.11). При приобретении ориентируются по основным характеристикам, приведенным в таблице 4.4.



Рисунок 4.9 - Ленточный транспортер типа КЛ

Конвейер ленточный

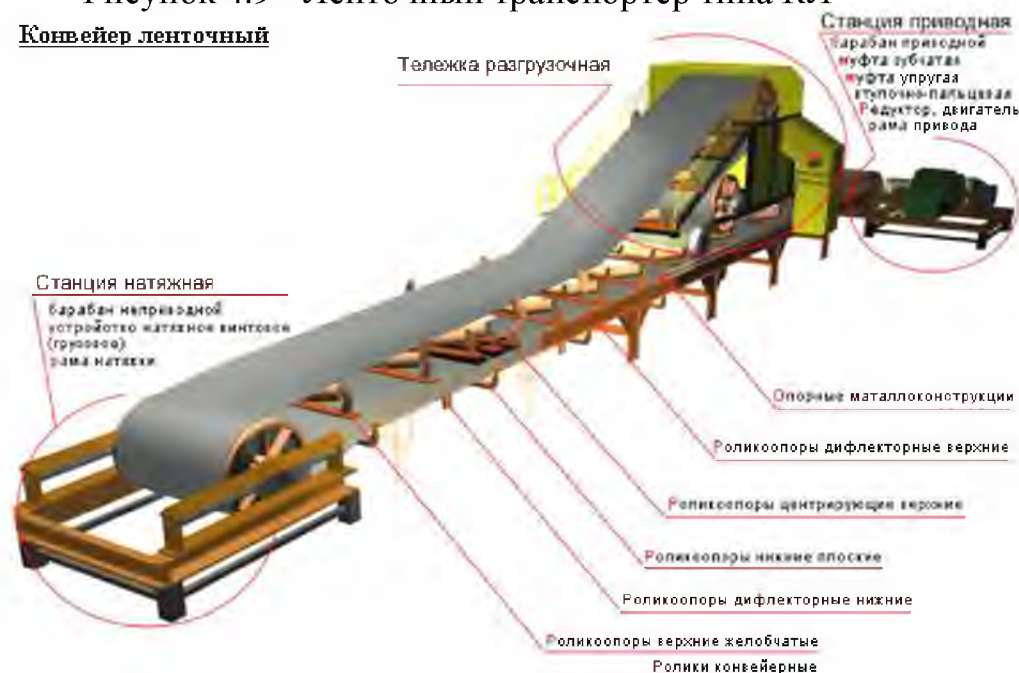


Рисунок 4.10 – Составные элементы и конструкция ленточного транспортера



Рисунок 4.11 – Общий вид ленточных транспортеров типа ТЛ

Таблица 4.4 – Основные характеристики ленточных конвейеров

Ширина ленты, мм	500	650	800
Производительность (по зерну 0,75 т/м ³)			
- при скорости ленты 1,0 м/с	50	85	130
- при скорости ленты 2,0 м/с	100	170	260
- при скорости ленты 3,0 м/с	150	255	390
Длина конвейера, м (максимальная)	90	150	200
Натяжное устройство	Винтовое, грузовое тележечное		

Производительность ленточного транспортера при перемещении сыпучего груза с равномерной подачей на ленту определяют по формуле:

$$Q = c \cdot S_{\Pi} \cdot v \cdot \rho, \quad (4.4)$$

где c – коэффициент, учитывающий ссыпание груза при наклоне транспортера на угол 20° , $1 \dots 0,75$; S_{Π} – площадь поперечного сечения материала на ленте, м².

Скорость движения ленты v принимают в зависимости от вида перемещаемого продукта: для пшеницы, ржи, кукурузы – $2,0 \dots 4,5$ м/с; овса, ячменя, подсолнечника – $2,0 \dots 3,0$ м/с; дробленого зерна, отрубей – $1,0 \dots 2,0$; корнеплодов – $0,75 \dots 1,5$; штучных грузов – $0,5 \dots 1,5$; муки и цемента – $0,8 \dots 1,25$; удобрений, песка – $1,5 \dots 3,0$.

Винтовые конвейеры (шнеки). Винтовой конвейер (шнек) состоит из следующих узлов и деталей: корпуса (1), винта (2), подшипниковых опор (3), загрузочного и разгрузочного отверстия (4) с присоединительными фланцами (5), редуктора (6) и приводного электродвигателя (7) (рис. 4.12). При вращении винта транспортируемый материал перемещается от загрузочного отверстия к разгрузочному.

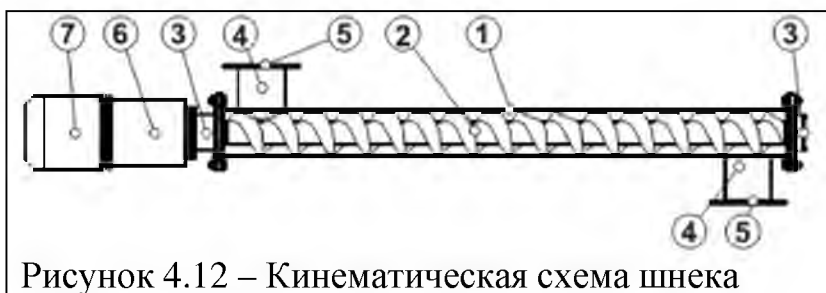


Рисунок 4.12 – Кинематическая схема шнека

Шнеки (конвейеры винтовые) могут быть разных модификаций: горизонтальные, наклонные и вертикальные. Преимущество шнеков является закрытый корпус

(рис. 4.13), компактность по сравнению с другим транспортирующим оборудованием, безопасность и пригодность для транспортировки горящих материалов. Шнек состоит из желоба, нижняя часть шнека имеет форму полуцилиндра, прикрытого сверху крышкой. Загрузка шнека подается в желоб через одно или несколько отверстий, и при вращении винта движется вдоль желоба. Разгрузка шнека производится через отверстие в днище. Шнеки выпускаются с правым или левым направлением спирали. Металлоконструкция шнека, выбор привода, вал винта изготавливается в зависимости от характеристики перемещаемого материала шнека и пожелания эксплуатационников.



Рисунок 4.13 – Вид шнеков с электроприводом



Рисунок 4.14 – Вид шнековых транспортеров типа ШЗС-40 и ШВС-40

Шнековые транспортеры ШЗС-40 и ШВС-40 (рис.4.14) служат для загрузки и выгрузки измельченных корнеклубнеплодов, травяной муки, концентрированных кормов и зеленой массы. Наклонный шнек ПИНД-26 и горизонтальный ППД-26 используются для перемещения кормовых смесей, грубых сочных и концентрированных кормов в технологических линиях кормоцехов. Производительность шнеков — 40 т/ч.

Производительность шнека зависит от следующих параметров:

$$Q = \rho \cdot S_n \cdot v_o, \quad (4.5)$$

где S_n - площадь поперечного сечения потока, м²; v_o - осевая скорость движущегося материала, м/с.

На процесс транспортирования оказывают влияние частота вращения, угол наклона шнека и способа загрузки выгрузки. В связи с этим существует более точная формула для расчета производительности:

$$Q = k_d \cdot \rho \cdot V_c \cdot n, \quad (4.6)$$

где k_d - дифференциальный коэффициент производительности; V_c - объем материала на длине одного шага, м³.

Дифференциальный коэффициент определяется по формуле:

$$k_D = k_3 \cdot k_\beta \cdot k_v \cdot k_V, \quad (4.7)$$

где k_3 - коэффициент, учитывающий способ загрузки, 1,0...0,5; k_β - коэффициент, учитывающий угол наклона шнека β (с его увеличением производительность уменьшается), 1,0...0,3; k_v - коэффициент, учитывающий влияние скорости; k_V - коэффициент использования межвиткового объема, 0,2...0,9.

Коэффициент, учитывающий влияние скорости можно определить по формуле:

$$k_v = \frac{60 \cdot v_o}{s \cdot n}, \quad (4.8)$$

где s - шаг витков шнека.

Объем материала на длине одного шага определяется следующим образом:

$$V_c = 0,785(D^2 - d_e^2) \cdot s, \quad (4.9)$$

где D - внешний диаметр шнека, м; d_e - диаметр вала шнека, м.

Скребковые транспортеры. Скребковый конвейер (рис.4.15) состоит из шарнирно-пластинчатой цепи, к которой прикреплены стальные скребки 2, перемещающие материал по желобу. К цепи прикреплены поддерживающие ролики 4, опирающиеся на направляющие. Привод цепей осуществляется от электродвигателя через редуктор и звездочки 3. Мощность привода цепных конвейеров рассчитывают так же, как и мощность привода ленточных конвейеров, методом обхода контура конвейера по точкам, принимая коэффициенты сопротивления движению цепи и материала в зависимости от способа перемещения груза по таблицам справочника. В качестве тягового органа применяют цепи с шагом 100—630 мм. К цепям крепят настилы в виде пластин, лотков или мульд. Пластины без бортов применяют для транспортировки штучных грузов, пластины с бортами — для транспортировки агломерата или руды. Применение волнистых и коробчатых настилов позволяет устанавливать конвейер под углом до 30°. У скребковых конвейеров имеются следующие преимущества: возможность транспортировать материал под большим углом (до 45°), возможность транспортирования материала верхними и нижними ветвями ленты. Недостатками скребковых конвейеров являются: большая масса конструкции движущихся частей, сложность разборки на секции и сборки, небольшая длина конвейера, возможность измельчения при трении о желоб. Во время работы наиболее подвержены износу цепи и

скребки, которые необходимо проверять каждую смену. Наличие шарниров, цепей и шарниров у пластин вызывает дополнительные потери на трение. В связи с этим мощность, потребляемая скребковыми и пластинчатыми конвейерами, значительно выше мощности, требующейся для ленточного конвейера той же производительности.

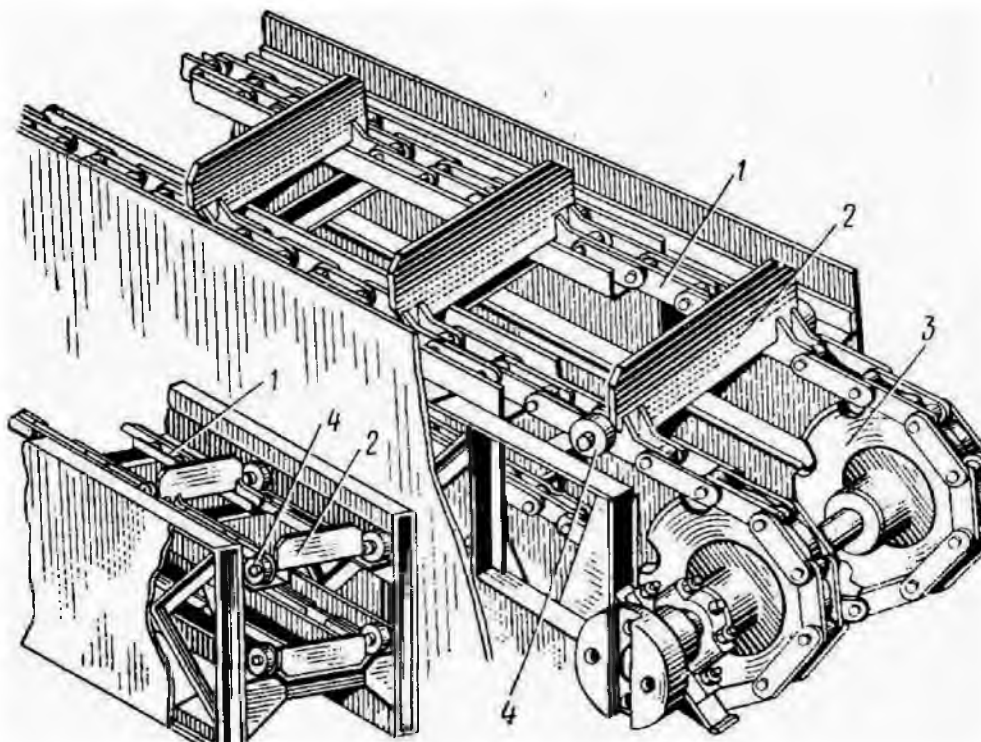
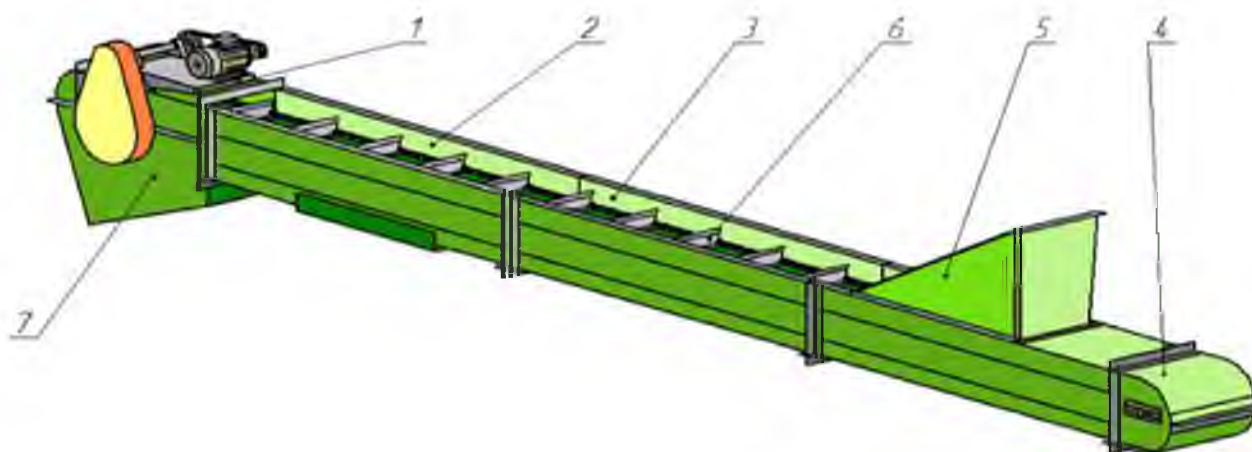


Рисунок 4.15 - Конструкция скребкового конвейера

Конвейеры скребковые КЦ представляют собой закрытые металлические короба прямоугольного сечения, составленные из типовых узлов. По концам короба установлены приводная и натяжная секции. Привод, выполненный в виде мотор-редуктора, установлен непосредственно на приводной секции и соединен с приводным валом цепной передачей. Крутящий момент от привода передается на приводной вал через срезной палец, установленный на ступице ведомой звездочки. Прямолинейные участки конвейера образуют линейные секции различных длин, позволяющие собирать трассы на любое расстояние. В местах разгрузки в дне короба предусмотрены разгрузочные отверстия, при необходимости перекрываемые управляемыми шиберными затворами. Затворы оснащены механическим приводом в виде мотор-редуктора, соединяемого с приводным валом затвора с помощью предохранительной фрикционной муфты предельного момента. В точках загрузки конвейера при его монтаже на месте эксплуатации в крышки секций врезаются точки, по которым зерно самотеком подается в конвейер. Для нереверсивного транспортирования используется цепь со скребками в виде плоских пластин, для реверсивного - комбинированная цепь, на которой плоские пластины чередуются с ковшами: прямыми и обратными. Ковши служат для зачистки торцевых зон конвейера от накапливающегося в них груза. Верхняя

(холостая) ветвь цепи в своем движении опирается на износостойкую направляющую, закрепленную на опорах между стенками короба. Нижняя (рабочая) ветвь цепи, будучи погруженной в груз, заполняющий короб, увлекает его в своем движении, заставляя его перемещаться вдоль короба. При самопроизвольной остановке скребковой цепи или изменении скорости ее движения вследствие возникших неполадок автоматическое устройство конвейера выключает привод и включает аварийную сигнализацию. На рисунке 4.16 представлена конструкция скребкового транспортера ТС-40 (кормораздатчик), производительностью 7 т/ч.



1 – станция приводная; 2 – секция средняя; 3 – секция промежуточная; 4 – секция концевая; 5- бункер приемный; 6 – цепь рабочая; 7 – патрубок.

Рисунок 4.16– Конструкция транспортера ТС-40

Конвейер цепной с погруженными скребками типа ТСЦ (рис. 4.17) представляет собой коробчатую сборную конструкцию прямоугольного сечения из листовой стали толщиной от 4 до 6,0 мм. В верхней части его закрывают крышками. В приводной секции (1) на подшипниковом валу расположены звездочки. На другом конце конвейера установлена натяжная секция (3), в которой имеются натяжные ролики и винтовой механизм натяжения. Между звездочками и роликами натянута тяговая пластинчатая катковая цепь со скребками (5). Нижняя и верхняя ветви цепи скользят по направляющим и роликам секций промежуточных и разгрузочных. Натяжное устройство монтируют со стороны загрузки транспортера. Оно обеспечивает необходимое натяжение скребковой цепи. Приводная секция (1), состоит из рамы привода, привода в сборе (2). Привод блокирован с устройством, отключающий электродвигатель при обрыве тяговой цепи (11). При включении электродвигателя приводные звездочки перемещают цепь внутри короба транспортера. Скребки на цепи захватывают груз и перемещают его по дну короба от загрузочной секции (7) к разгрузочной (8). Конструкция конвейера позволяет загружать и разгружать его в нескольких точках по длине короба, это осуществляется управлением шиберных затворов (10) и реечных задвижек. Разгрузка осуществляется через патрубки (12) в днище разгрузочной секции.

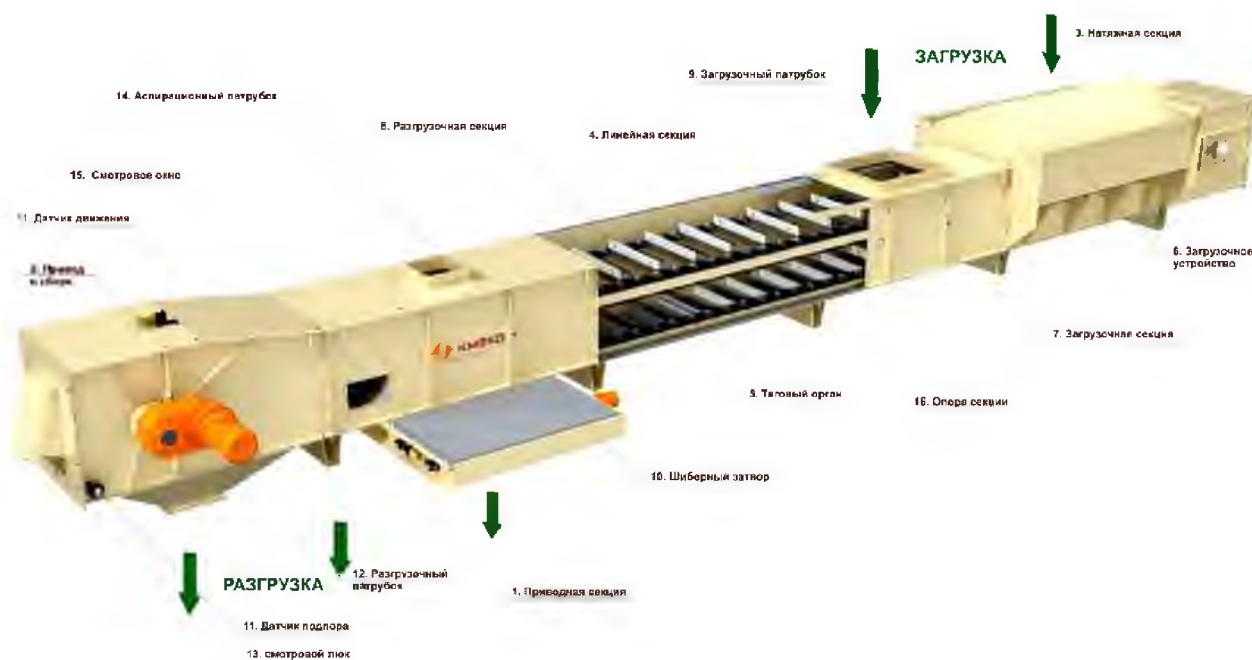
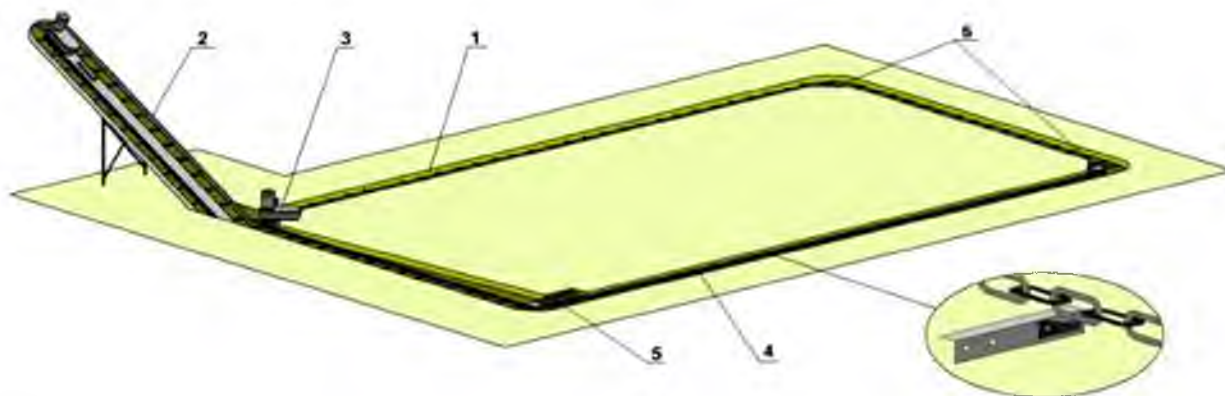


Рисунок 4.17– Конструкция транспортера ТСЦ

Для удаления навоза из животноводческих помещений применяются скребковые транспортеры кругового движения типа ТСН-2Б, ТСН-3Б, ТСН-160 (рис.4.18), КНП-10; скреперные установки УС-10, УС.12, УС-15; установки для выгрузки навоза УСН-8, УСН-800 и 1чт. По принципу действия средства для уборки навоза бывают непрерывного и периодического действия.



1 – горизонтальный транспортер; 2 – наклонный транспортер; 3 – привод; 4 – цепь со скребками; 5 – натяжное устройство; 6 – поворотные устройства.

Рисунок 4.18– Конструкция навозоуборочного скребкового транспортера ТСН-160

Скреперные установки возвратно-поступательного действия применяют для удаления навоза, транспортировки его к навозоприемникам и одновременной погрузки в транспортные средства. Скреперная установка состоит из скреперов, троса, приводного и натяжного устройств, а приводное устройство из электродвигателя, редуктора и тросовой лебедки.

Для повышения надежности работы транспортеров, также создания энергоэффективных режимов работы рекомендуется оборудование, приведенное в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Оборудование, позволяющие увеличить срок службы основных узлов цепных конвейеров

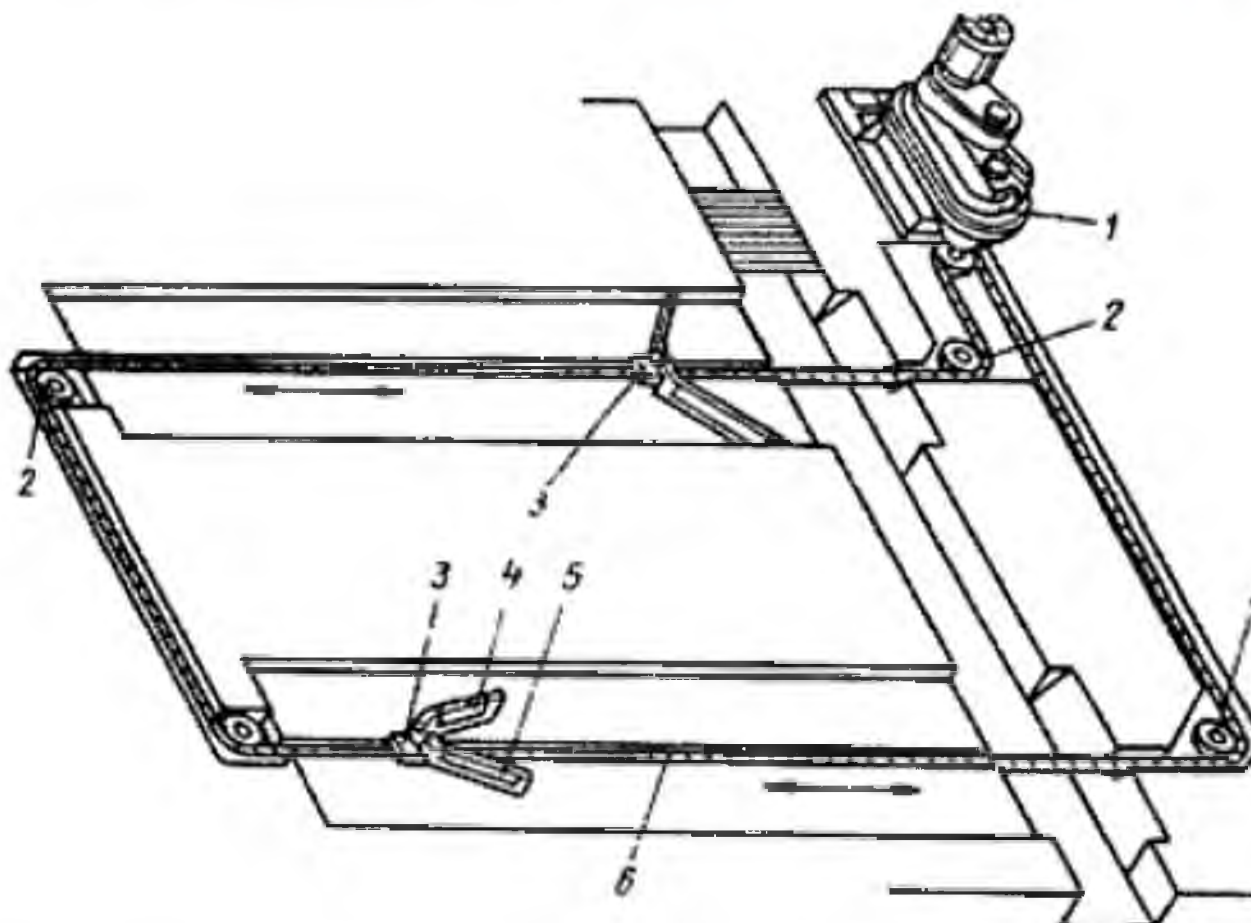
Наименование опции	Описание, характеристика	Иллюстрация
<p>Плавный пуск цепного конвейера с применением устройства плавного пуска.</p>	<p>Увеличение срока службы привода и цепи конвейера.</p>	
<p>Частотное регулирование скорости цепи с применением частотного преобразователя.</p>	<p>Увеличение сроков службы привода и других узлов цепного конвейера, дает возможность плавного регулирования скорости цепи, возможность построения современной автоматизированной системы управления цепным конвейером.</p>	
<p>Использование мотор-редукторов различных фирм</p>	<p>Увеличение сроков службы привода цепного конвейера, и повышение надежности, сервис-фактора. Уменьшение габаритов привода. Возможность исключения тихоходной муфты. Уменьшение эксплуатационных расходов.</p>	

Установки скреперные УСГ-3 и УСГ-4. Предназначены для уборки навоза из открытых навозных проходов животноводческих помещений при боксовом и комбибоксовом способах содержания животных и подачи его в поперечный канал (рис. 4.19). Установка убирает навоз одновременно из двух навозных проходов шириной 1800-3000 мм. Состоит из привода с механизмом реверсирования, цепного контура, двух скреперов и щита управления. Привод состоит из редуктора, механизма реверсирования и рамы (рис. 4.20). Механизм реверсирования приводится в движение приваренным к одному из звеньев цепи упором. Скрепер состоит из ползуна, шарнирно закреп-

ленных на нем скребков и смонтированного внутри ползуна натяжного устройства (рис.4.21). Внутри скребков имеется выдвижной резиновый чистик. Скребок складывается и раскладывается при трении его о пол навозного прохода или дно навозного лотка при уборке навоза из-под щелевых полов. Рабочая ширина захвата 1,8... 3 м. В цепном контуре может быть использована круглозвенная цепь 16x80, унифицированная с цепью транспортера ТСН-160, и кованая цепь, унифицированная с цепью транспортера ТСН-3Б.



Рисунок 4.19 - Вид рабочего процесса скреперной установки УСГ



1-Привод; 2- Устройство поворотное; 3- Ползун; 4- Скребок левый; 5- Скребок правый; 6- Цепь.

Рисунок 4.20 – Структурная схема скреперной установки УСГ

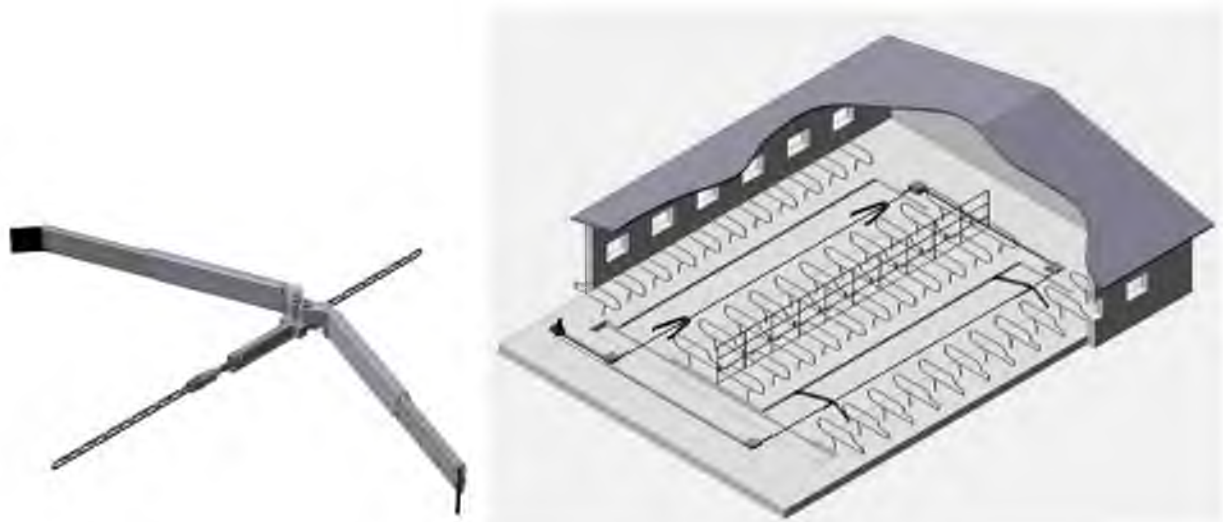


Рисунок 4.21– Вид рабочего органа – скрепер и схема движения его в помещении.

Производительность скребкового транспортера может быть оценена по формуле:

$$Q = c \cdot \psi \cdot v_{ц} \cdot \rho \cdot B_{ск} \cdot h_{ск} , \quad (4.10)$$

где c – коэффициент, учитывающий влияние угла подъема транспортера, при $\alpha=10\dots45^\circ$, $c=1,0\dots0,35$; ψ – коэффициент заполнения, $0,5\dots0,8$; $v_{ц}$ – скорость движения цепи, для корнеплодов $0,3\dots0,5$ м/с; муки, пылевидных продуктов и навоза – $0,5\dots1,0$ м/с; зерна – $1,0\dots2,0$ м/с; $B_{ск}$ – ширина скребков, м; $h_{ск}$ – высота скребков, м.

Пневматические транспортеры. Пневмотранспортеры зерна предназначены для аккуратной подачи зерна (и любого другого рассыпчатого гранулированного материала) в назначенное место (рис.4.22, 4.23). Пневмотранспорт применяется в поле и на территории фермы. Всасывание зерна осуществляется из засыпных ям, силосов хранения и прямо с земли. Пневматический транспорт может перемещать зерно на расстояние до 200 метров за один проход. Перемещение зерна возможно как по горизонтали, так и по вертикали. Применение временного трубопровода позволяет без особых затрат производить закладку и распределение любых объемов зерна в помещение напольного хранения.

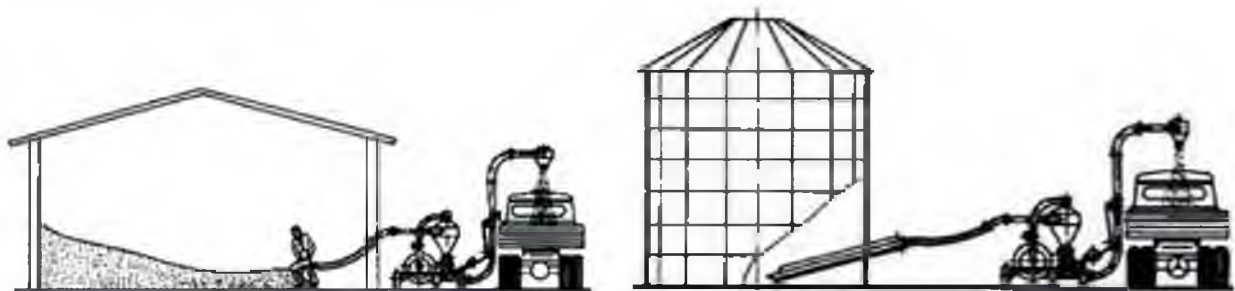


Рисунок 4.22 -Технология транспортирования зерна с помощью воздуха



Рисунок 4.23– Внешний вид пневмотранспортеров

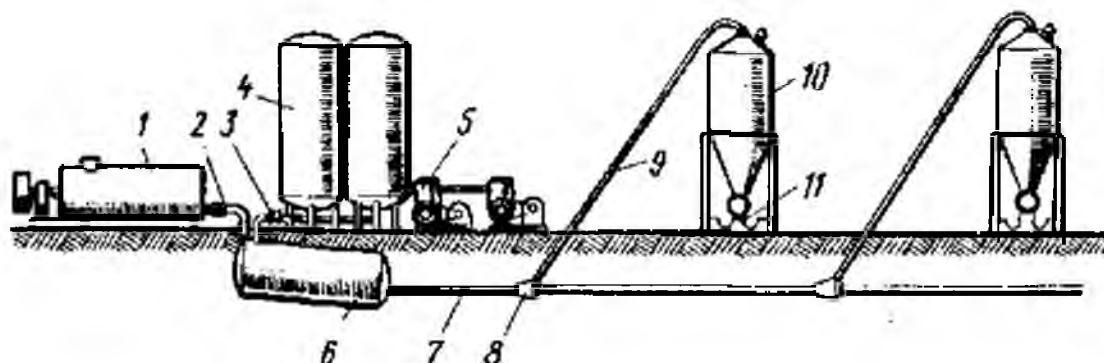
Принцип работы основан на всасывании зерна насадкой и передача его по гибкому шлангу в основной циклон. В днище циклона находится роторный клапан, который дозируя зерно, пропускает его в трубопровод равными порциями. Вентилятор высокого давления формирует поток рабочего воздуха, скорость которого ограничена клапаном на уровне 25 м/с. Поток воздуха подхватывает порции зерна и доставляет их по трубопроводу, созданному из компонентов системы, до циклона-гасителя, который производит отделение зерна от отработанного воздуха. По принципу работы транспортеры разделяются; на всасывающие, нагнетательные и всасывающе-нагнетательные. Всасывающие используются для выгрузки зерна и других сыпучих материалов из вагонов, складов мельниц и элеваторов в автомашины. На заборном конце всасывающего гибкого трубопровода установлено специальное сопло. Нагнетательные транспортеры применяются для транспортировки зерна, пшеницы, сена, соломы и других продуктов. Подача продукта в таких транспортерах осуществляется через загрузочную воронку или боковое отверстие вентилятора. Всасывающе-нагнетательные транспортеры перемещают материал из емкости через гибкий шланг, вентилятор по трубопроводу в хранилище. На животноводческих фермах применяют главным образом нагнетательные и всасывающе-нагнетательные транспортеры. Серийно выпускаемые транспортеры изображены на рисунке 4.24.

Пневматический способ транспортировки и раздачи полужидких кормовых смесей (подача под давлением) используется на крупных молочнотоварных фермах и фермах по откорму свиней. При таком способе транспортировки в кормоцехе наряду с машинами по приготовлению кормов устанавливают компрессоры 5 (рис.4.25), которые нагнетают сжатый воздух в ресиверы 4 (большие металлические емкости-баки). Кормовые смеси из смесителя 1 самотеком поступают в расположенный ниже продувочный котел 6. По мере заполнения продувочного котла закрывается задвижка 2 и в котел из ресивера подается сжатый воздух. Под действием сжатого воздуха (создается разность давлений воздуха: в ресивере выше, а в трубах-кормопроводах — ниже) корма из продувочного котла по трубам 7, 9 поступают в бункеры-накопители кормов 10, устанавливаемые около каждого свиначника. Из бункеров-накопителей корм самотеком поступает в трубопровод-дозатор 11,

расположенный под кормушкой. Кормушки в данном случае могут располагаться как в отдельном помещении — «столовой», так и в кормонавозном проходе, который может быть общим для нескольких свинарников.



Рисунок 4.24 - Внешний вид серийно выпускаемых транспортеров типа УПН -15 и ПТЗ



1—Смеситель; 2 — задвижка; 3 — вентиль воздушный; 4 - ресиверы. 5 — компрессоры; 6 — продувочный котел; 7, 9 — кормопроводы; 8 — переключатель направления подачи кормов; 10 - бункер-накопитель; 11 — кормушка с трубопроводом-дозатором.

Рисунок 4.25 - Технологическая схема пневматического способа подачи кормов в свинарник:

Производительность пневматических установок зависит от физико-механических свойств транспортируемого материала, потребного расхода воздуха, скорости его в трубопроводах, напора, создаваемого в трубопроводах, по которым подбирается производительность вентилятора и мощность электродвигателя на привод вентилятора. Скорость воздуха должна быть достаточной для перемещения материала по трубам. Завышение скорости приводит к перерасходу энергии на транспортирование, а занижение может привести к забиванию трубопроводов. Скорость воздуха в трубопроводах зависит от скорости витания и весовой концентрации смеси. Скорость вертикально-восходящего потока воздуха, при которой частицы материала находятся

во взвешенном состоянии, называется скоростью витания v_e . От величины скорости витания зависит скорость транспортирования продукта. В таблице 4.6 даны опытные скорости витания некоторых материалов.

Таблица 4.6– Опытные скорости витания материалов

материал	Скорость витания, м/с	материал	Скорость витания, м/с
Пшеница, ячмень	9,0...11,5	Мука, опилки	7,5...8,1
Рожь, овес	8,0...10,0	Солома	6,4...8,7
Горох, вика	14,0...17,0	Полова	0,67...3,1
Фасоль, кукуруза	12,5...14,0	Силос (при $\varphi=72...82\%$)	8,0...20,0
Семя льняное, цемент	5,2...5,3	Солома (длиной 100 мм)	3,5...4,25
Соя, песок, удобрения	17,0...20,0	Подсолнечник, гречиха	7,0...8,6

Скорость движения груза для всасывающих и нагнетательных установок рекомендуется определять по формуле:

$$v_{возд} = k_{\varphi} \cdot v_e, \quad (4.11)$$

где k_{φ} - коэффициент сложности трассы, концентрации смеси, физико-механических свойств груза, для зерна – 1,25...2,5; колосьев – 1,5...3,7; соломы сена – 1,5...2,5.

Скорость груза, независимо от начальной скорости, равна на вертикальном участке $v_z = v_{возд} - v_e$, на горизонтальном участке - $v_z = 0,85v_{возд}$.

Еще один характерный параметр для такого вида транспортеров является коэффициент массовой концентрации – отношение массы груза к массе воздуха, перемещаемых в единицу времени:

$$\mu = \frac{Q_y}{Q_{возд}}, \quad (4.12)$$

где Q_y - производительность установки, кг/с; $Q_{возд}$ - расход воздуха, кг/с.

Коэффициент массовой концентрации для зерна и продуктов его переработки равен 1...25, цемента и угольной пыли – 20...60, песка и щебня – 3...20, соломы – 0,3...2.

Большинство установок работает при коэффициенте массовой концентрации $\mu < 8...10$ со скоростью $v_e = 10...30$ м/с.

Расход воздуха связан с его плотностью соотношением:

$$Q_{возд} = \frac{Q_y}{\mu \cdot \rho_e}, \quad (4.13)$$

где ρ_e - плотность воздуха, зависящая от его влажности и температуры, в среднем можно принимать 1,24 кг/м³.

Сечение воздуховода $S_{тр}$ можно определить по формуле:

$$S_{тр} = \frac{Q_{возд}}{v_{возд}} \quad (4.14)$$

Кинематические схемы. Данный вид схем может изображаться как упрощенном виде так и в более подробном. Упрощенные кинематические схемы транспортеров представлены на рисунках 4.26, 4.27 более подробные и для отдельных типов - на рисунках 4.28, 4.29 .

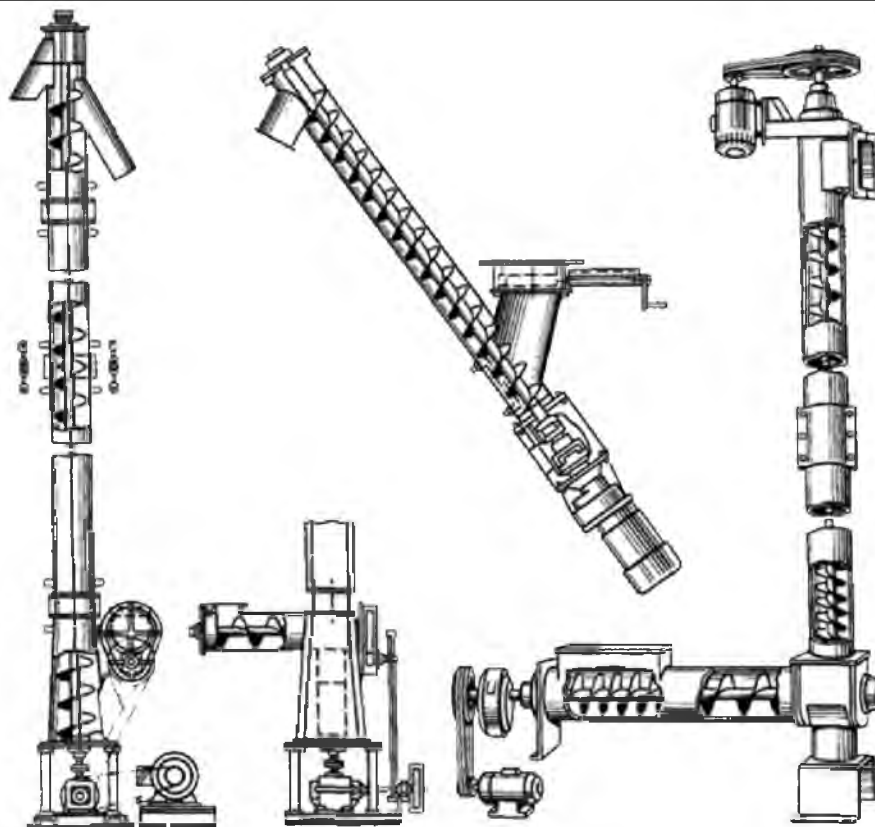
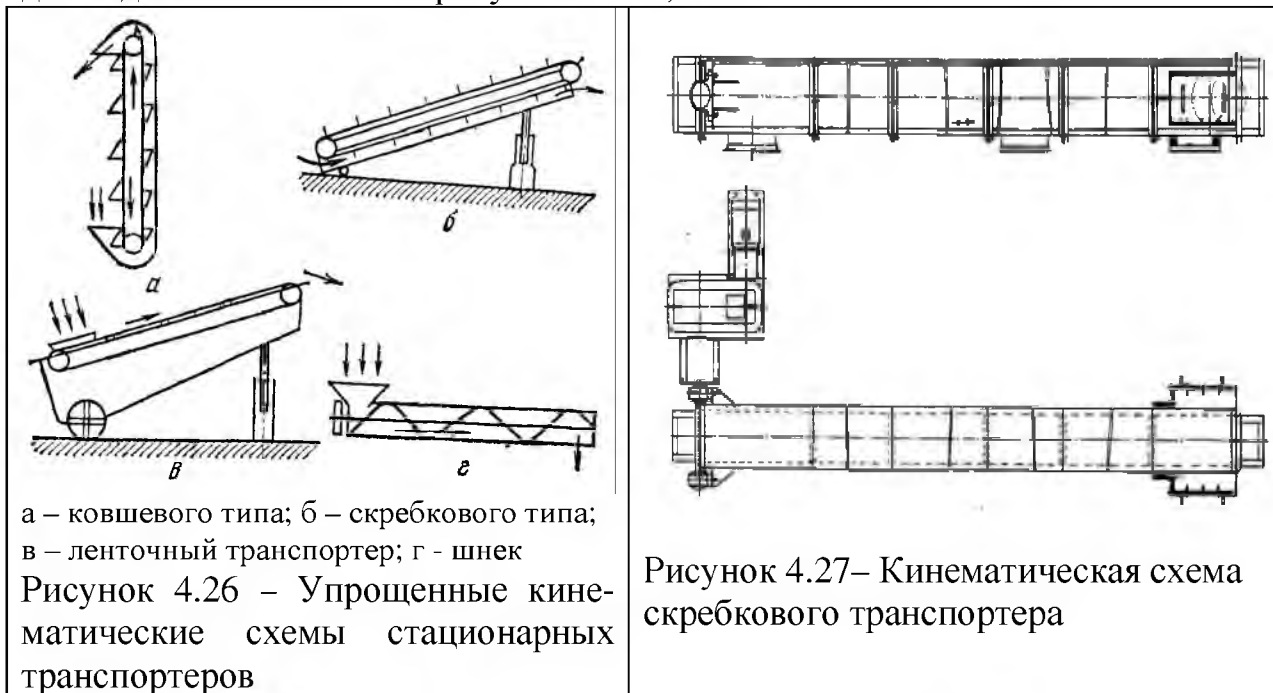


Рисунок 4.28 – Кинематические схемы шнеков

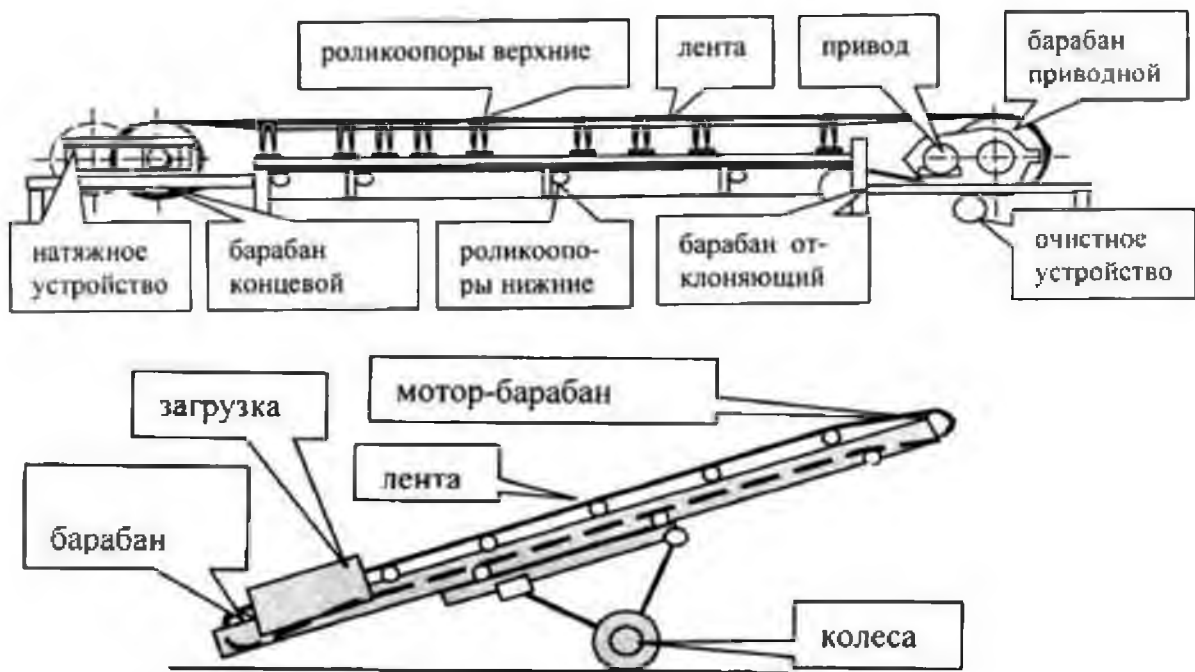


Рисунок 4.29 – Кинематические схемы стационарного и передвижного ленточных конвейеров

Как правило, все транспортеры имеют общие конструктивные элементы такие как, приводная и натяжная станции, рабочий орган (лента, цепь, трос и т.д.), редуктор, приводной орган (звездочка, шкив), электродвигатель. Внешний вид приводной станции представлен на рисунке 4.30. Виды приводных станций с другим типом механической передачи представлены на рисунках 4.31 -4.33.

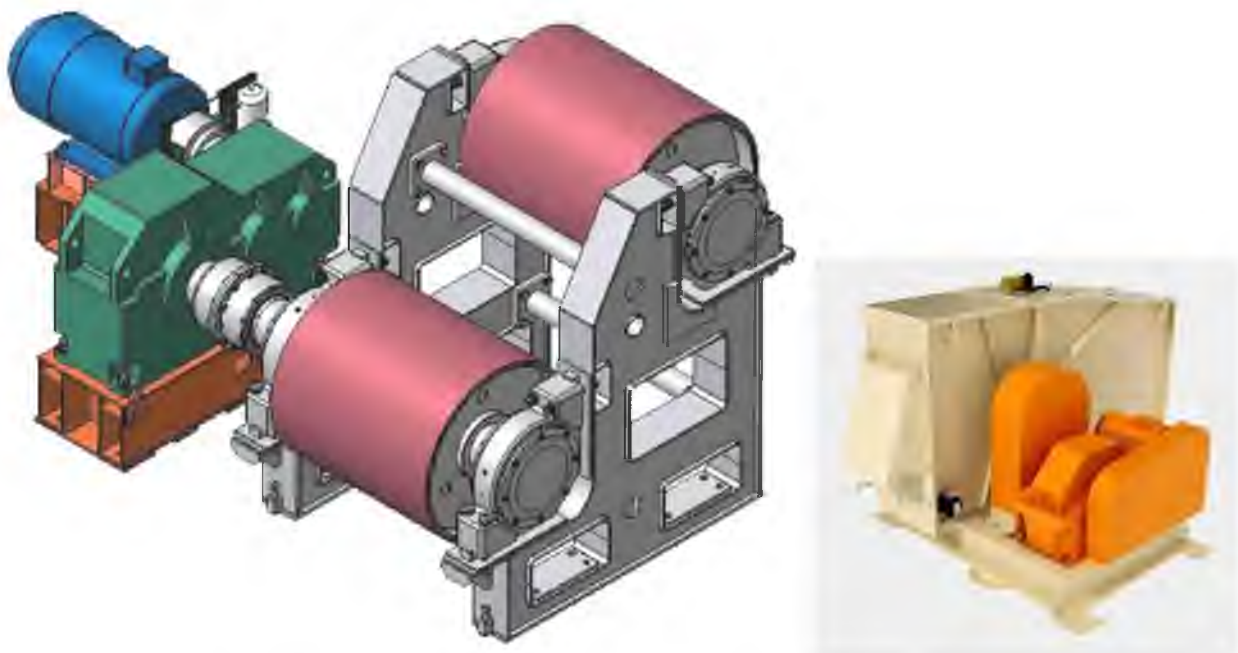


Рисунок 4.30– Внешний вид редукторной приводной станции ленточного транспортера

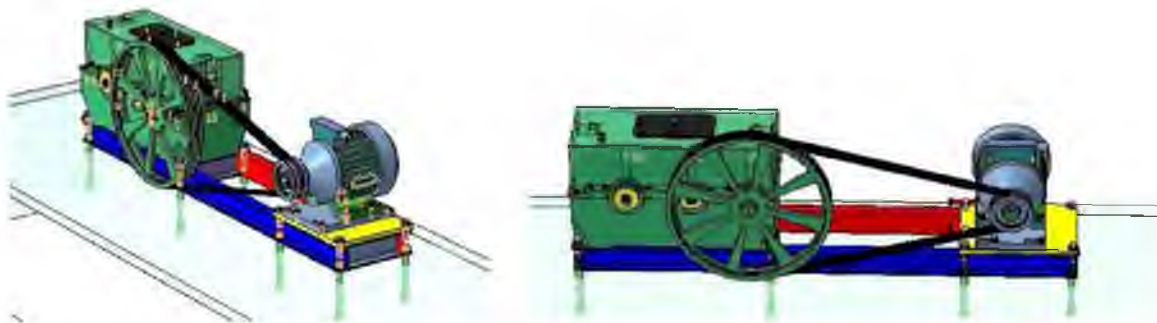


Рисунок 4.31 - Приводная станция ленточного транспортера с ременной передачей.

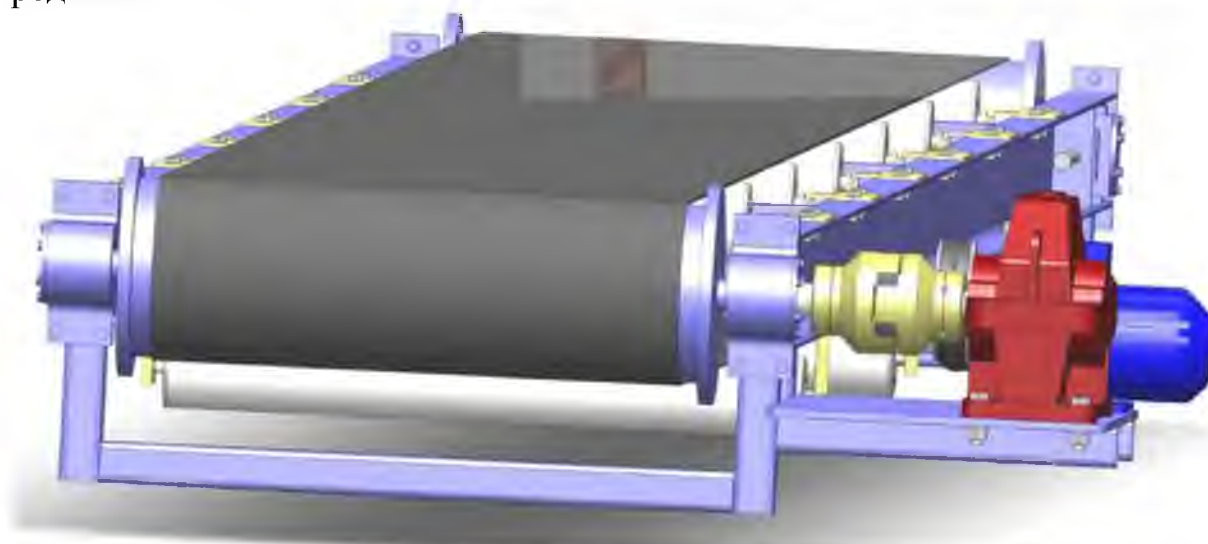


Рисунок 4.32 - Редукторный привод ленточного транспортера со специальной соединительной муфтой

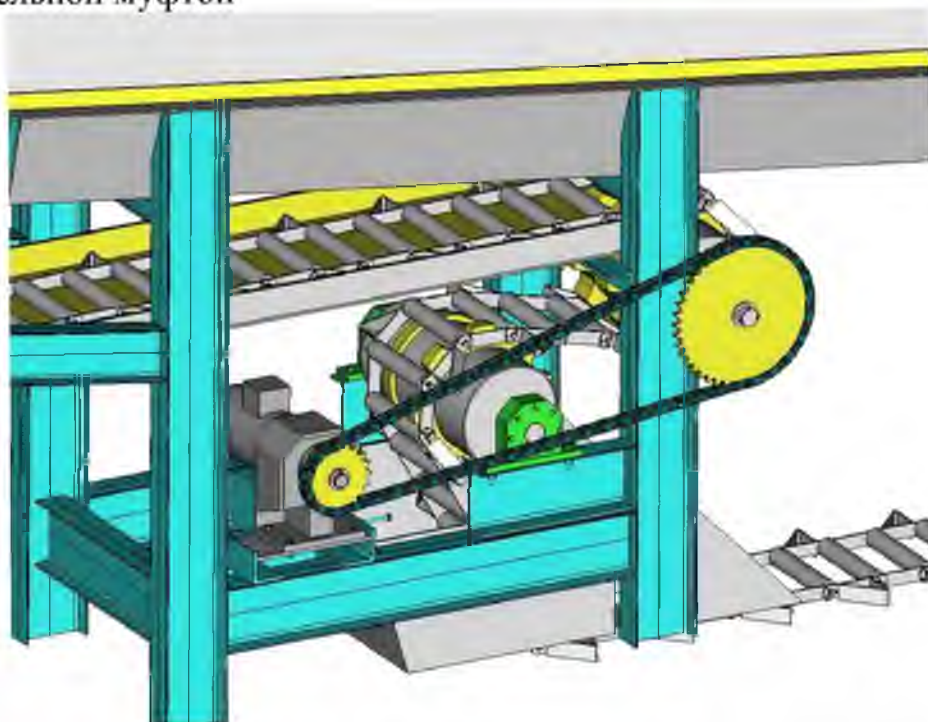


Рисунок 4.33 - Кинематическая схема привода транспортера цепного типа ТСЦ

Механические характеристики. Зависимость момента сопротивления от частоты вращения для данного типа машин необходимо разделить на два режима: пуск, работа под нагрузкой. При запуске механическая характеристика имеет постоянный вид – не зависит от угловой скорости (рис. 4.34).

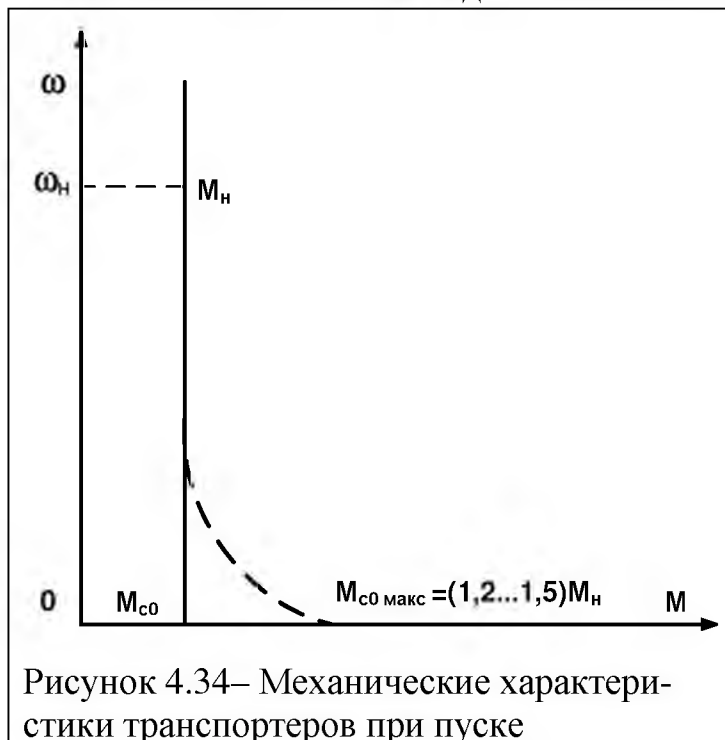
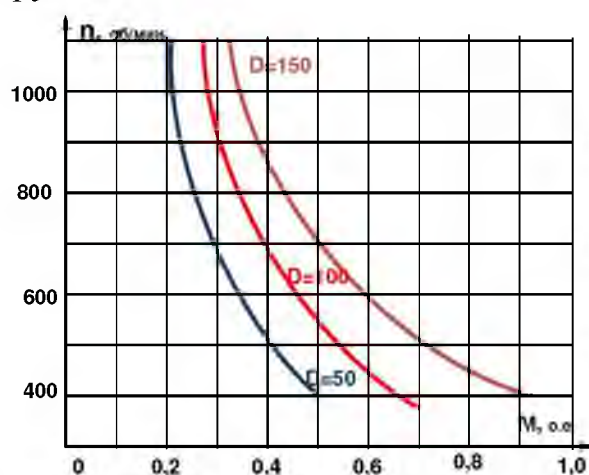


Рисунок 4.34– Механические характеристики транспортеров при пуске

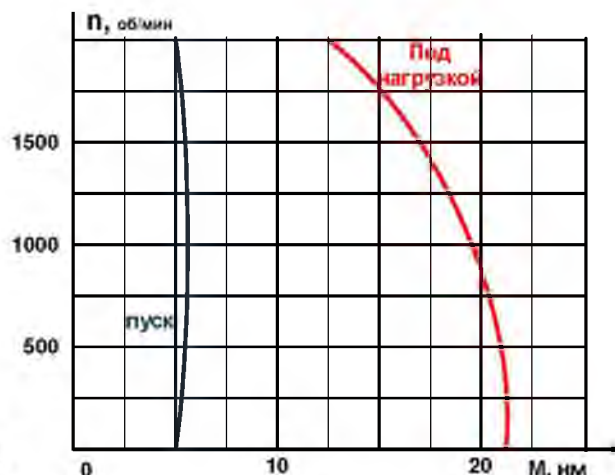
Однако для отдельных транспортеров – навозоуборочных и кормораздатчиков наблюдается повышенное значение момента сопротивления при пуске из-за завалов рабочих машин, а также примерзания скребков в зимний период. В связи с этим лучше применять электродвигатели с повышенным пусковым моментом.

При работе под нагрузкой вид механических характеристик для некоторых транспортеров меняется (рис.4.35). Так на рисунке 4.35, а представлены характеристики шнеков различных диаметров, а на рисунке

4.35, б - механические характеристики зерновой нории при пуске и под нагрузкой.



а) ленточный шнек



б) зерновая нория НЗ-20

Рисунок 4.35 -Механические характеристики транспортеров

Как видно из графиков (рис. 4.35) под нагрузкой при уменьшении частоты вращения момент сопротивления увеличивается - за счет увеличения коэффициента заполнения рабочих органов. Момент трогания холостого хода нории составляет примерно 10% от номинального момента сопротивления.

Под нагрузкой начальный момент сопротивления может превышать номинальный момент на 30...35%.

Вид механических характеристик нужно учитывать особенно при применении частотных преобразователей и выбора закона регулирования.

Энергетические характеристики. Одним из энергетических показателей является коэффициент энергоёмкости – расход энергии на единицу массы груза на единицу расстояния:

$$K_э = \frac{\sum P}{Q \cdot \sum l} \quad (4.15)$$

Значения коэффициентов энергоёмкости даны в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Коэффициентов энергоёмкости различных транспортеров

коэффициент	Транспортеры				
	ленточный	ковшовый	скребковый	винтовой	пневматический
$K_э$	1,0	2,0	3,0...4,0	4,0...6,0	5,0...12,0

Определение мощности приводных электродвигателей может производиться, как по универсальным формулам, так и по частным – уточненным. В процессе научных исследований по отдельным транспортерам появляются уточняющие коэффициенты и специальные формулы для расчета усилий и общей мощности на привод. Однако с достаточной степенью точности можно пользоваться и универсальными формулами такой как, например:

$$P = \frac{9,81 \cdot Q(f_c \cdot L \cos \alpha \pm H)}{\eta_{общ}} \quad (4.16)$$

где f_c - коэффициент сопротивления перемещению груза, для скребкового транспортера при использовании втулочно-роликовой цепи, 1,05...2,25; для скользящей цепи – 1,6...4,2; для ленточных конвейеров – 0,26...0,33; для шнеков, при перемещении зерна и продуктов помола – 1,5, при перемещении корнеклубнеплодов, навоза силоса и минеральных удобрений – 2,5...4 L - длина транспортера, м; α - угол наклона транспортера к горизонту; H - уровень подъема или опускания груза, м; $\eta_{общ}$ - общий КПД передач, равен произведению КПД отдельных ступеней, червячная передача – 0,65...0,85, клиноременная – 0,9...0,95, редуктор – 0,9...0,96, для приводного органа (звездочка, барабан, шкив) – 0,95, для ковшей нории – 0,5...0,7.

При проектировании **ленточных** транспортеров применяют следующую формулу для расчета мощности электродвигателя на привод:

$$P_{де} = \frac{F_{общ} \cdot v}{\eta_{общ}} \quad (4.17)$$

где $F_{общ}$ - общее усилие необходимое на преодоление всех видов сопротивлений движению, Н.

Общее усилие на преодоление всех видов сопротивлений состоит из следующих слагаемых:

$$F_{общ} = F_n + F_{\delta} + F_{заг} + F_{разг}, \quad (4.18)$$

где F_n - усилия на прямолинейных участках; F_{δ} - усилия при огибании лентой барабана; $F_{заг}$ и $F_{разг}$ - усилия соответственно при загрузки и разгрузки транспортера.

Усилия на преодоление сопротивлений на прямолинейных участках определяется по формуле:

$$F_n = g(q_z + q_l) \cdot L(\pm \sin \alpha + f_l \cos \alpha), \quad (4.19)$$

где q_z и q_l - погонная масса соответственно груза и ленты; f_l - коэффициент трения между лентой и настилом (стальным 0,35...0,6).

Погонную массу ленты можно определить следующим образом:

$$q_l = 1,12B\delta, \quad (4.20)$$

где 1,12 – среднее значение массы 1 м² ленты толщиной 1 мм, кг; B - ширина ленты, м; δ - толщина ленты.

Усилия на преодоление сопротивлений на прямолинейных участках по роликовым опорам определяется по формуле:

$$F_n = L[g(q_z + q_l + q_p)f_p \cos \alpha \pm g(q_z + q_l)\sin \alpha], \quad (4.21)$$

где q_p - погонная масса роликов; f_p - коэффициент сопротивления движения ленты по роликам, при плоской ленте 0,018...0,035, желобчатой – 0,02...0,04.

Усилия на преодоление сопротивления движения при огибании барабанов можно рассчитать по формуле:

$$F_{\delta} = \varepsilon \cdot F_{наб} \cdot k_{\delta}, \quad (4.22)$$

где ε - коэффициент местного сопротивления, 0,06...0,09, большие значения принимают при совпадении натяжения ветвей с направлением силы тяжести ленты и барабана; $F_{наб}$ - натяжение набегающее ветви; k_{δ} - число барабанов.

Усилия на преодоление сопротивления при загрузке определяются по формуле:

$$F_{заг} = \frac{Q(v_l^2 - v_{нз}^2)}{v_l}, \quad (4.23)$$

где v_l - скорость ленты; $v_{нз}$ - начальная скорость груза.

Усилие на преодоление сопротивления при разгрузке может возникать при наличии плужкового сбрасывателя, которое определяется по формуле:

$$F_{\text{разг}} = 2,7 g q_{\Gamma} B, \quad (4.24)$$

При расчете мощности **скребкового** транспортера используется формула (4.16), но с поправкой на повышенное значение сил сопротивления при пуске:

$$P = \frac{k_n \cdot 9,81 \cdot Q (f_c \cdot L \cos \alpha \pm H)}{\eta_{\text{общ}}}, \quad (4.25)$$

где k_n - коэффициент, учитывающий потери мощности при пуске, 1,2.

Мощность **цепочно-скребкового** навозоуборочного транспортера типа ТСН-3Б, ТСН-160 определяется по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \frac{F_{\text{полн}} \cdot v_{\text{ц}}}{\eta_{\text{общ}}}, \quad (4.26)$$

где $F_{\text{полн}}$ — полное усилие на цепочно-скребковом транспортере, Н; $v_{\text{ц}}$ — скорость цепи, м/с (принимается 0,15...0,20 м/с); $\eta_{\text{общ}} = 0,75...0,85$.

Полное сопротивление движению цепочно-скребкового транспортера определяется по формуле:

$$F_{\text{полн}} = 9,81 \frac{Q_{\text{сут}}}{k_{\text{сут}}} k_n f_{\text{ж}} + L \left(\frac{F_1}{s_{\text{ск}}} + q_{\text{тр}} f_{\text{оп}} \cdot 9,81 \right), \quad (4.27)$$

где $Q_{\text{сут}}$ — суточный выход навоза, кг/сут; $k_{\text{сут}}$ — число включений в течение суток; $k_n = 3...5$ — коэффициент, учитывающий неравномерность накопления навоза в интервалах между уборками и добавочные усилия, связанные с перемещением навоза по каналу; $f_{\text{ж}}$ - коэффициент трения навоза о желоб; L — длина цепи, м; F_1 — усилие, приходящееся на один скребок, Н, для навоза - 15 ... 80; $s_{\text{ск}}$ — шаг скребков, м, 0,1...1,0; $q_{\text{тр}}$ — погонная масса транспортера, кг/м; $f_{\text{оп}}$ — опытный коэффициент 0,4...0,5.

Мощность многоскреперного навозоуборочного транспортера определяется по формуле (4.26) с отличием по скорости – принимается 0,2...0,4 м/с и по КПД – в интервале 0,85...0,9. Коэффициенты трения навоза о поверхность канала даны в таблице 4.8.

Определение мощности электродвигателя **ковшового элеватора** (нории) можно вести по формуле:

$$P = \frac{k_{\Pi} \cdot 9,81 \cdot Q \cdot H \left(1,15 + \frac{k_{\text{то}}}{\rho} \right)}{\eta_n}, \quad (4.28)$$

где k_{Π} - коэффициент, учитывающий потери мощности при пуске, 1,2...1,7; $k_{\text{то}}$ - коэффициент, учитывающий тип тягового органа, для ленточных 1,5...1,15, для цепных – 1,05...0,75; η_n - КПД нории, 0,6...0,85.

Таблица 4.8– Значения коэффициента трения навоза в зависимости от типа подстилки и материала канала (при влажности навоза 60...70%)

Материал канала	Коэффициент трения			
	Без подстилки	Солома	Торф	Опилки
Сталь	0,9	0,7	1,1	0,8
Бетон	1,0	0,7	1,3	0,9
Сосна	1,2	0,8	1,1	1,0
Дуб	1,1	0,7	1,1	0,9

Предварительное определение мощности электродвигателей **винтовых** транспортеров производится по формуле:

$$P = \frac{k_{\text{дон}} \cdot K_n \cdot c \cdot 9,81 \cdot Q(L + H) \cdot f_n}{\eta_{\text{ш}}}, \quad (4.29)$$

где $k_{\text{дон}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительные усилия при перемещении, 1,05...1,4; K_n - коэффициент перегрузок, 1,3..1,5; c - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона шнека ($\beta=20...90^\circ$), 1,0...3,0; f_n - коэффициент сопротивления перемещению, 1,2...4,0, для гибких шнеков – 7...22; $\eta_{\text{ш}}$ - КПД шнека, 0,7...0,9.

Для определения мощности электродвигателя **тросошайбового** транспортера необходимо первоначально определить общее усилие по формуле:

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{к}} + F_{\text{хх}} + F_{\text{зак}}, \quad (4.30)$$

где $F_{\text{к}}$ - сопротивление корма о кормопровод, Н; $F_{\text{хх}}$ - усилие холостого хода, Н; $F_{\text{зак}}$ - сопротивление движению при заклинивании корма между дисками и трубопроводом, Н.

Сопротивление корма о кормопровод можно рассчитать по формуле:

$$F_{\text{к}} = \frac{9,81 \cdot \pi \cdot D_{\text{ш}}^2}{4} L \cdot \rho \cdot \psi_{\text{к}} \cdot f_{\text{ж}}, \quad (4.31)$$

где $D_{ш}$ - диаметр шайбы (диска), м; L - длина кормопровода, зависит от фронта кормления, м; ψ_k - коэффициент заполнения кормопровода, $\sim 0,72$; $f_{жк}$ - коэффициент трения корма о желоб, $0,5 \dots 0,7$.

Усилие холостого хода определится следующим образом:

$$F_{xx} = 9,81 \cdot L \cdot q_{mp} \cdot f_{np}, \quad (4.32)$$

где q_{mp} - погонная масса транспортера, кг/м; f_{np} - коэффициент трения, $0,4 \dots 0,5$.

сопротивление движению при заклинивании корма между дисками и трубопроводом определяется по формуле:

$$F_{зак} = \frac{L}{s_{ш}} F_{ш}, \quad (4.33)$$

где $F_{ш}$ - сопротивление одной шайбы (диска), Н, рекомендуется 15; $s_{ш}$ - шаг между шайбами (дисками), м.

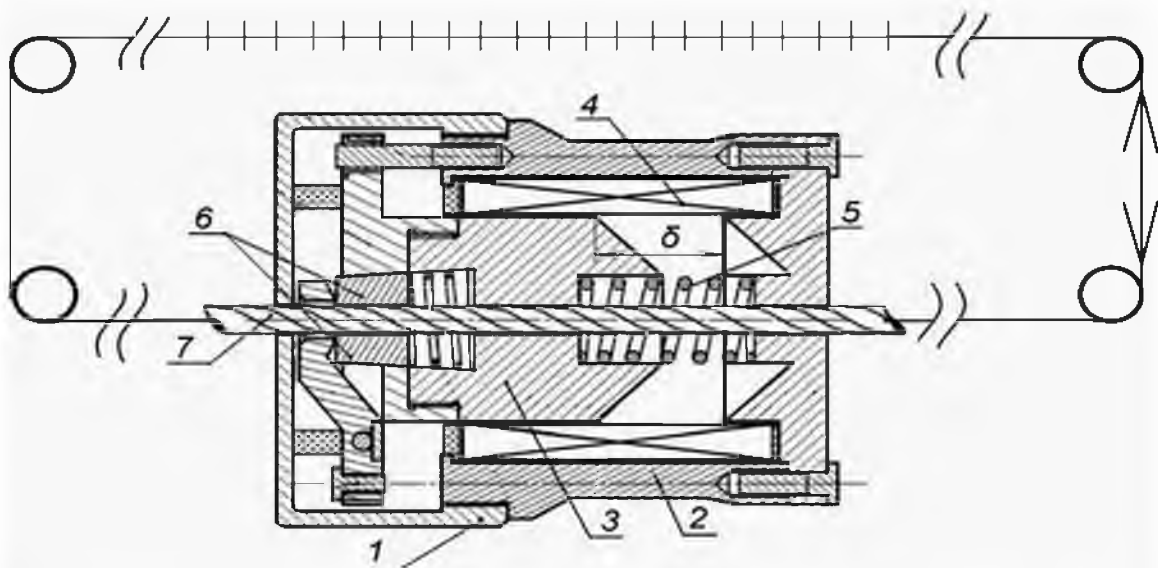
Необходимая мощность электродвигателя определится по типовой формуле:

$$P_{дв} = \frac{F_{общ} \cdot v_{mp}}{\eta_{mp}}, \quad (4.34)$$

где v_{mp} - скорость движения троса, м/с, $0,3 \dots 0,8$; $\eta_{тр}$ - КПД транспортера, $0,75 \dots 0,85$.

Прогрессивным направлением совершенствования оборудования транспортных средств представляются использование импульсных и вибрационных механизмов, позволяющие эффективно расходовать энергию. Одним из перспективных модернизационных методов совершенствования приводов кормораздаточных транспортеров является применение силовых дискретных систем, создаваемых на базе линейных электромагнитных двигателей (ЛЭМД), отличающихся относительно малым энергопотреблением, сравнительно высокими удельными показателями и обеспечивающих непосредственное преобразование электрической энергии в механическую работу перемещения рабочего органа по линейной траектории. Отсутствие преобразователей движения, редукторов и других передач обеспечивает этим приводам конструктивную простоту и лучшие массогабаритные показатели, а возвратно-поступательное движение якоря позволяет передать механическую энергию непосредственно рабочему органу. Установлено, что применение силовой системы с ЛЭМД в приводе шайбовых кормораздаточных транспортеров позволяет уменьшить металлоемкость привода в 1,8–2 раза, снизить эксплуатационные затраты на 20–23 %. Секционная конструкция некоторых шайбовых кормораздаточных транспортеров позволяет подстраивать под габариты животноводческих помещений и особенности выбранного технологического оборудования для содержания животных или птицы.

Важным этапом разработки и создания нового решения транспортера представляется обоснование конструктивной схемы устройства передачи механической энергии от двигателя к рабочему органу транспортера, например, тросу или штанге. Один из примеров конструктивного решения, предложенный сотрудниками Саратовского ГАУ, приведен на рисунке 4.36.



1 – крышка; 2 – статор; 3 – якорь; 4 – обмотка; 5 – возвратная пружина; 6 – зажимной механизм; 7 – рабочий орган

Рисунок 4.36 – Конструктивное решение использования ЛЭМД для привода рабочего органа кормораздатчика

Для транспортеров, работающих в кратковременном режиме вопрос энергосбережения не очень актуален, так как в течение года они работают около 200-400 часов. Электродвигатели, как правило, работают в недогруженном, в тепловом отношении, режиме. Более актуальны проблемы надежности и металлоемкости. В связи с этим установку электрических машин необходимо вести с учетом вида нагрузочных диаграмм. Это позволит выбрать электродвигатель меньший по массогабаритным показателям.

Мощность электродвигателя вентилятора в приводе пневмотранспортера определяется по формуле:

$$P = \frac{Q_{\text{возд}} \cdot P_c}{\eta_v \cdot \eta_{\text{ши}} \cdot \eta_n}, \quad (4.35)$$

где P_c - разность давлений, необходимая для преодоления всех сопротивлений при транспортировании груза, Па; η_v - кпд вентилятора, 0,55...0,8; $\eta_{\text{ши}}$ - кпд подшипников, 0,95...0,97; η_n - кпд передачи, 0,96...1,0.

При пропуске груза через вентилятор мощность привода вентилятора возрастает пропорционально $(1+\mu)$.

Опытно установлено, что с уменьшением скорости воздуха и с повышением концентрации смеси удельный расход энергии снижается.

Разность давлений с учетом всех потерь составляет:

$$P_c = P_d + P_m + P_{\mu} + P_n, \quad (4.36)$$

где P_d - потери давления связанные с динамическими потерями; P_m - потери давления связанные с трением при движении по трубам смеси воздуха и груза; P_{μ} - потери давления в местных сопротивлениях; P_n - потери давления, связанные с подъемом груза.

Полную разность давлений с учетом всех составляющих потерь в конечном итоге можно определить по формуле:

$$P_c = \frac{\rho_{возд} \cdot v_{возд}^2}{2} \left[(1 + 0,72\mu) + \lambda_{мп} \frac{L_{мп}}{d_{мп}} (1 + c\mu) + \sum \xi \right] + g \cdot \mu \cdot \rho_{возд} \cdot H, \quad (4.37)$$

где $\lambda_{мп}$ - коэффициент сопротивления трению; $L_{мп}$ - длина трубопровода, м; $d_{мп}$ - эквивалентный диаметр, м; c - коэффициент, зависящий от концентрации смеси, скорости и физико-механических свойств груза, при $v_{возд}=13...26$ м/с $c=0,68...0,31$; $\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений; H - высота подъема груза, м.

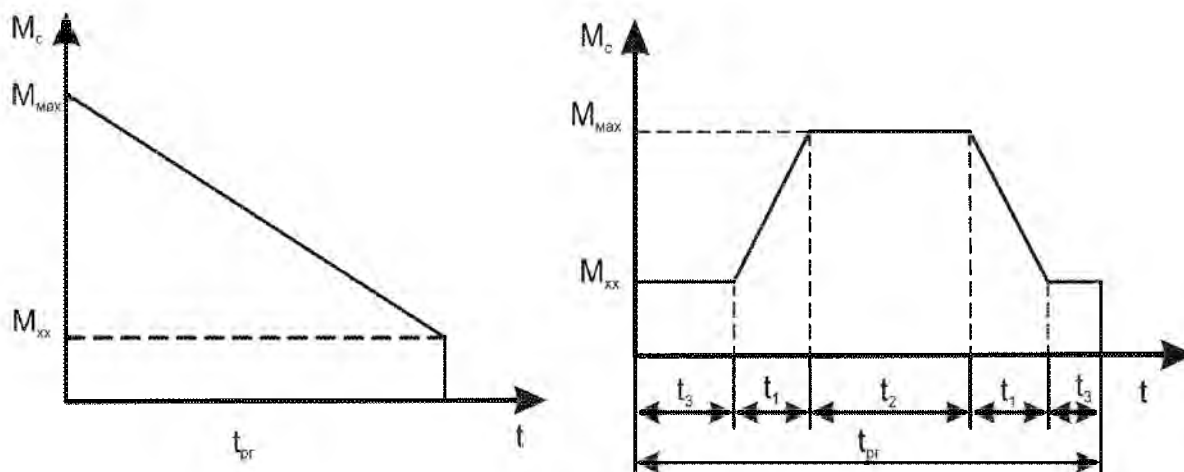
Инерционные характеристики. Так как кинематические схемы такого типа механизмов включают редукторы и ременные передачи с понижением частоты вращения от электродвигателя, то приведенный момент инерции обычно очень мал – коэффициент инерции находится на уровне единицы. Для механизмов, запускающихся под нагрузкой, коэффициент инерции имеет повышенное значение – до 5. Несмотря на это время пуска электрических машин транспортеров обычно очень мало – до 1..2 с. Время пуска электродвигателя также сокращается за счет выбора зазоров в ступенях механической передачи. Тем не менее, общий момент инерции системы необходимо рассчитывать по формуле:

$$J_{сист} = J_{рэл.дв} + J_{ред} + J_{дон} + (m_{ро} + m_{мат}) \frac{v^2}{\omega_{дв}^2}, \quad (4.38)$$

где $J_{рэл.дв}$ - момент инерции ротора электродвигателя, кг·м²; $J_{ред}$ - момент инерции валов редуктора, кг·м²; $J_{дон}$ - момент инерции приводного вала транспортера, кг·м²; $m_{ро}$ - масса рабочего органа (штанга, цепь или трос со скребками), кг; $m_{мат}$ - масса материала в момент пуска (навоз, корм).

Нагрузочные диаграммы. Электропривод транспортеров работает практически во всех стандартных режимах (S1... S8). Приводные машины

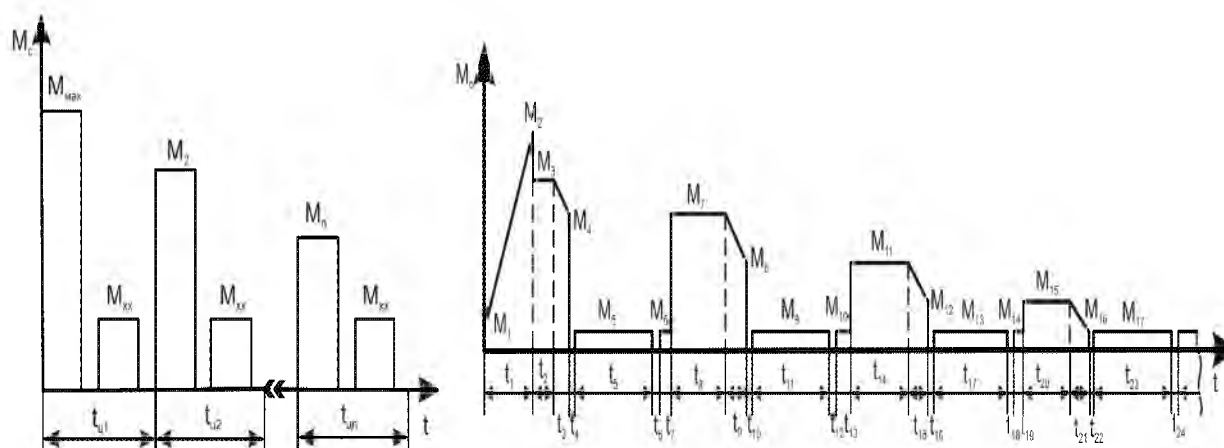
транспортных механизмов, работающих на объектах переработки и хранения продукции работает чаще в длительном режиме (S1) с постоянной нагрузкой, а также в повторно-кратковременном (S3). Электроприводы навозоуборочных и кормораздающих установок работают в кратковременном режиме (S2) и с переменной нагрузкой (рис. 4.37, 4.38)



а) горизонтальный транспортер

б) наклонный транспортер

Рисунок 4.37 – Нагрузочные диаграммы электродвигателей навозоуборочного транспортера типа ТСН-160



а) штанговый транспортер

б) канатно-скреперная установка

Рисунок 4.38 – Нагрузочные диаграммы электродвигателей штангового навозоуборочного транспортера типа и канатно-скреперной установки

Выбор мощности электродвигателя необходимо проводить по нагрузочным диаграммам и с соответствующими проверками на запуск и перегрузочную способность.

Пример 1: Для зерновой норрии производительностью 350 т/ч или $Q = 100$ кг/с; с высотой подъема $H = 25$ м; $\eta_n = 0,77$; $k_{mo} = 1,4$; $k_n = 1,2$; . Мощность привода определим по формуле (4.28):

$$P = 1,2 \cdot 9,81 \cdot 100 \cdot 25 \cdot (1,15 + 1,4 / 450) \cdot 10^{-3} / 0,77 \cdot 0,9 = 44,07 \text{ кВт.}$$

Выбираем асинхронный двигатель из условия $P_{н дв} \geq P$.

Тип электродвигателя - АИР250S6, номинальная мощность $P_n = 45$ кВт.

Пример 2: Имеются данные шнекового транспортера: $Q = 3$ кг/с; $k_{дон} = 1,2$; $L_1 = 10$ м; $c=1$; $H = 3$ м; $K_n = 1,3$, $f_n = 1,6$;

Мощность привода в соответствии с формулой (4.29):

$$P = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot (10 + 3) \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} / 0,9 = 1,06 \text{ кВт.}$$

Выбираем асинхронный двигатель из условия $P_{н\text{ дв}} \geq P$.

Тип электродвигателя - АИР80B6, номинальная мощность $P_n = 1,1$ кВт.

Пример 3: Определить мощность приводного электродвигателя горизонтального навозоуборочного транспортера в помещении для содержания 100 коров. Исходные данные: $Q_{сут} = 1,5$ т/сут, $k_{сут} = 3$, $k_n = 3$, $f_{жс} = 0,9$, $L = 150$ м, $F_I = 25$ Н, $s_{ск} = 1$ м, $q_{тр} = 15$ кг/м, $f_{он} = 0,4$, $v_u = 0,2$ м/с. Мощность на валу электродвигателя определим по формуле (4.27):

$$P = 9,81 \cdot \frac{1500}{3} \cdot 3 \cdot 0,9 + 150 \left(\frac{25}{1} + 15 \cdot 0,4 \cdot 9,81 \right) = 25822 \text{ Н}$$

$$P = 25822 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 0,9 = 5,7 \text{ кВт.}$$

Так как, электродвигатель работает в кратковременном режиме, то для выбора приводного электродвигателя необходимо произвести дальнейшие расчеты.

Определим время одного включения:

$$t_p = \frac{L}{v} = \frac{150}{0,2} = 12,5 \text{ мин.}$$

Определим коэффициент тепловой перегрузки:

$$k_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_p}{T_H}}} = 2,16$$

Принимая постоянную времени нагрева электродвигателя $T_H = 20$ мин

Определим коэффициент механической перегрузки:

$$k_M = \sqrt{k_T (\alpha + 1) - \alpha} = \sqrt{2,16(0,5 + 1) - 0,5} = 1,66,$$

где α - отношение постоянных потерь к переменным, 0,5.

Тогда необходимая мощность электродвигателя составит:

$$P_{дв} = \frac{P}{k_M} = \frac{5,7}{1,66} = 3,4 \text{ кВт}$$

Выбираем асинхронный двигатель из условия $P_{н\text{ дв}} \geq P$.

Тип электродвигателя - АИР112MB6, номинальная мощность $P_n = 4,0$ кВт, номинальная частота вращения вала $n_n = 950$ мин⁻¹.

4.2 Особенности приводных характеристик мобильных машин

К мобильным транспортным средствам относятся электрифицированные тележки, самоходные кормораздатчики, погрузчики, мостовые краны, тельферы, электротали. В принципе все их можно разделить на **грузоподъемные** и **транспортирующие** машины.

К основным **технологическими** характеристикам **грузоподъемной** машины относится: грузоподъемность, скорость подъема, скорость перемещения, высота подъема, пролет вылет, база, габаритные размеры, масса.

Всякая грузоподъемная машина состоит из тягового органа, грузозахватного устройства, механизма подъема, передвижения, тормозного устройства и электропривода. В качестве тягового органа используются цепи и канаты. В зависимости от категории груза грузозахватные устройства (рис.4.39) разделяются на две группы: для штучных грузов – крюки, петли, скобы, стропы, захваты электромагниты; для сыпучих и связных грузов – ковши, когти, гарпуны, контейнеры, грабли, вилы и т.д.



Рисунок 4.39 - Вид грузозахватных механизмов

Для подъема, удержания на заданной высоте и плавного опускания груза используют: лебедки, тали, полиспасты и т.п.

Составные элементы электротали видны на рисунке 4.40. Технологическая схема электротали показана на рисунке 4.41. Груз 1 из положения А зацепляется крюком 2 и поднимается с площадки S1 до необходимой высоты. Затем отключают электродвигатель 4 и включают электродвигатель 3 горизонтального перемещения. Идет процесс перемещения по балке 5 до места В после чего отключается электродвигатель 3. Далее включают электродвигатель 4 на опускание. Опустив груз на площадку S2, отключают электродвигатель 4, отцепляют груз и включают электродвигатель на подъем крюка. Далее включают электродвигатель 3 на перемещение в исходное положение. От-

ключив двигатель 3 включают электродвигатель 4 на опускание крюка. Конечные выключатели SQ2...SQ5 ограничивают перемещение электротали по горизонтали.

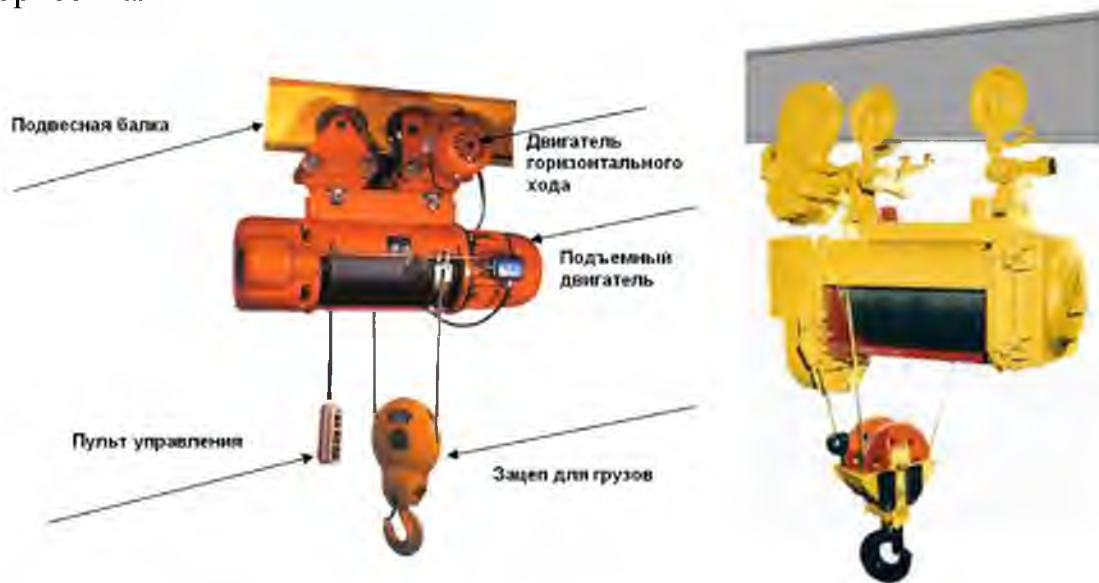


Рисунок 4.40 – Составные элементы электротали

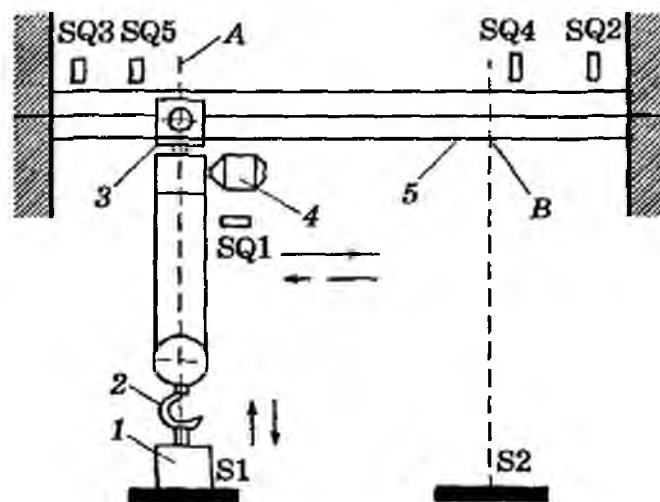


Рисунок 4.41 – Технологическая схема работы электротали

В сельскохозяйственном производстве много применяются и более простые подъемные машины – электролебедки (рис.4.42), тельферы (рис. 4.43).



Рисунок 4.42 - Внешний вид электролебедок



Рисунок 4.43 - Внешний вид тельферов

Для поднятия более тяжелых грузов и перемещения их внутри цехов применяют кран-балки, мостовые краны. Вид таких грузоподъемных механизмов, показан на рисунке 4.44.



Рисунок 4.44 – Внешний вид кран-балки и мостового крана
Технологическая схема мостового крана приведена на рисунке 4.45.

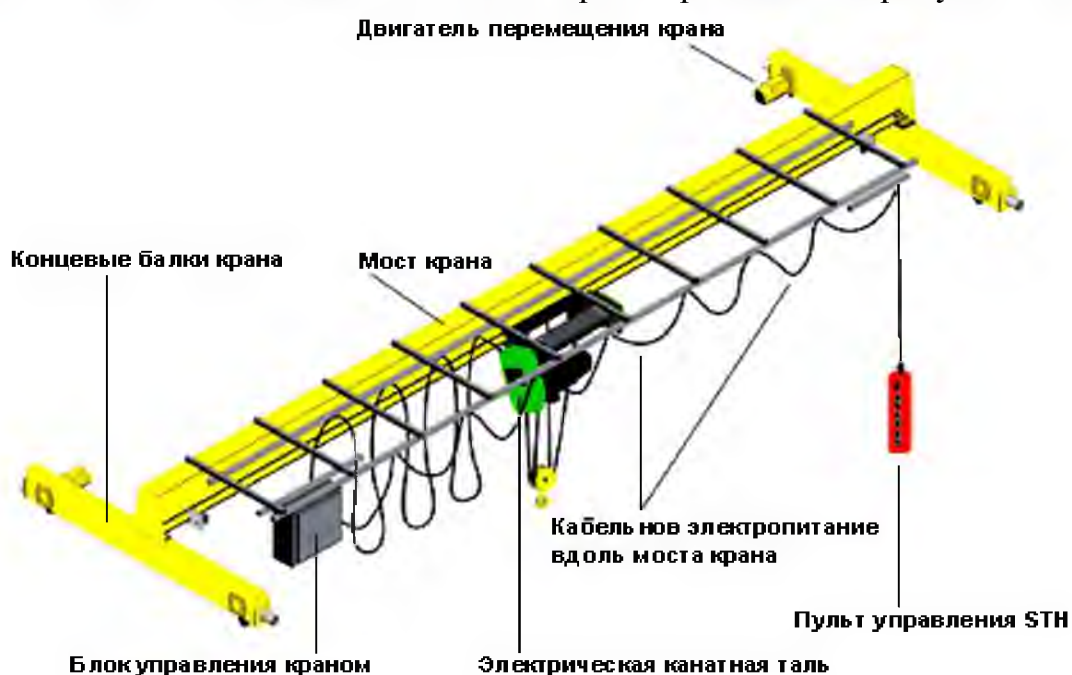
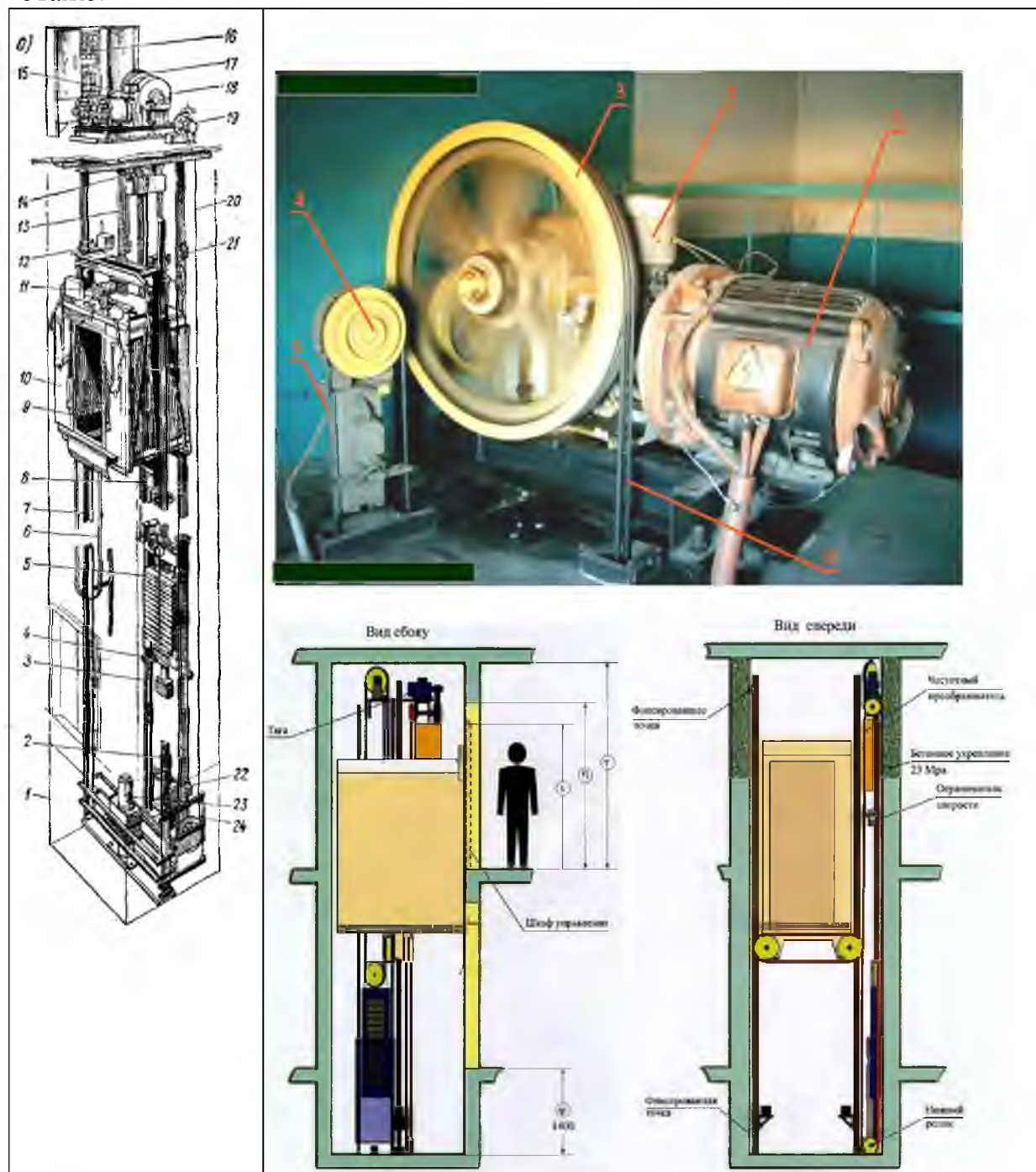


Рисунок 4.45 - Технологическая схема мостового крана

На больших объектах хранения зерна имеется большое количество грузовых и пассажирских лифтов. Лифт является разновидностью подъемника и представляет собой транспортное средство прерывного действия, предназначенное для подъема и спуска людей (грузов) с одного уровня на другой. Кабина (платформа) лифта перемещается вдоль неподвижных вертикальных жестких направляющих, установленных в шахте, снабженной на посадочных (загрузочных) площадках запираемыми дверями. Конструктивно лифт состоит из шахты, оборудованной дверями, установленными в порталах, приемком и машинным помещением с подъемной приводной лебедкой. Под шахтой понимается пространство, в котором перемещается платформа или кабина и противовес, а также установлено другое оборудование лифта, а машинное помещение — часть шахты (или иное помещение), предназначенная для установки приводного механизма, аппаратуры управления и другого оборудования лифта. Вид лифта приведен на рисунке 4.46. В специальном помещении, расположенном над вертикальной шахтой 1, проходящей через все здание, установлена подъемная лебедка 18 и шкаф управления 16. Кабина 10 и противовес 5 подвешены на канатах 13, которые переброшены через канатопроводный 17 и отводной 14 шкивы.

Внутри шахты вдоль вертикальных направляющих и движутся кабина и противовес. Кабина и противовес подвешены на стальных проволочных канатах, которые крепятся к кабине посредством подвески. Тяговое усилие на канатах создается при вращении канатопроводящего шкива при включенном приводном электродвигателе. Для остановки и удержания кабины и противовеса в неподвижном состоянии при отключенном электродвигателе служит тормоз. В приемке расположены натяжное устройство ограничителя скорости и буфера. Ограничитель скорости кинематически связан канатом с натяжным устройством и с ловителями, башмаки которых предназначены для остановки кабины, свободно движущейся вдоль направляющих, в случае обрыва или ослабления канатов, а также при превышении кабиной (противовесом) заданных величин скорости движения. Ограничитель скорости установлен в машинном помещении и связан с кабиной канатом. Для управления движением кабины служат кнопочные станции, расположенные внутри на стенке кабины. Электрический сигнал от кнопочного аппарата передается по подвесному кабелю и проводам в шахте в машинное помещение на шкаф управления лифтом. Привод лифта обычно обеспечивает возможность перемещения кабины в двух режимах - на большой и малой скорости. Переключение с большой скорости на малую осуществляется этажным переключателем (датчиком), на который при подходе кабины воздействует отводка (шунт). Движение кабины с малой скоростью продолжается до подхода кабины к датчику точной остановки, закрепленному на стенке шахты. По сигналу датчика точной остановки электродвигатель лебедки и катушка приводного электромагнита тормоза отключаются от сети и кабина затормаживается и удерживается тормозом в неподвижном состоянии. Одновременно подается питание на электродвигатель привода дверей кабины. Двери автоматически открываются совместно с дверями шахты и остаются открыты-

ми после выхода пассажиров из кабины в течение сравнительно малого промежутка времени, задаваемого реле времени в цепи управления лифтом. Затем реле времени замыкает свои контакты и подает питание на электродвигатель привода дверей кабины — двери закрываются. Лифт свободен и готов к работе по вызову, о чем свидетельствуют погасшие сигнальные лампы вызывных аппаратов, установленные на каждом посадочном этаже.



а) б)
Рисунок 4.46 - Технологическая схема, внешний вид лебедки и лифта

Лебедка лифта (рис. 4.46, б) может иметь нарезной грузовой барабан или канатоведущий шкив 3. Барабанные лебедки применяются в настоящее время

сравнительно редко, преимущественно в лифтах без противовеса, когда установка противовеса затруднена или невозможна. От канатоведущего шкива 3 тяговое усилие передается канатом 6 за счет действия сил трения между канатом и шкивом. Привод шкива 3 производится через редуктор 2 электродвигателем 1. Шкив имеет ручьи (углубления на образующей цилиндрической поверхности), форма которых при данном угле обхвата шкива каната, выбранном материале и конструкции шкива позволяет обеспечивать сцепление каната со шкивом, достаточное для удержания кабины при статических испытаниях, и исключает возможность подъема кабины при неподвижном противовесе или противовеса при неподвижной кабине.

Преимущественное распространение получили лифты с верхним расположением привода. Нижнее расположение привода характерно для выжимных и тротуарных лифтов. Для малых грузовых лифтов возможно расположение привода сбоку шахты. Преимущественное распространение в лифтах жилых, административных и промышленных зданий получили шахты и кабины с входом с одной стороны на всех этажах. Иногда предусматривают две двери на противоположных стенах или в двух смежных стенах, расположенных под углом.

Основными показателями лифтов являются грузоподъемность и номинальная скорость движения кабины. Ряд грузоподъемностей лифтов, следующий: 40, 100(160), 250 (320), 400(500), 630, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500(3200), 4000(5000), 6300 кг. Номинальная скорость движения кабины лифта должна составлять: 0,14; 0,2; 0,25; 0,4(0,5); 0,63(0,71); 1,0(1,4); 1,6(2,0); 2,5(2,8); 4,0(5,6); 6,3 м/с. Параметры, указанные в скобках, не являются предпочтительными. Значение фактической скорости движения кабины не должно отличаться от приведенных выше величин более чем на 15%. Средняя величина ускорения (замедления) движения кабины лифта при нормальных режимах эксплуатации должна быть не более $1,5 \text{ м/с}^2$ — у больничного и 2 м/с^2 — у прочих лифтов. Точность остановки кабины на уровне посадочной (загрузочной) площадки должна быть в пределах 20 мм у грузовых лифтов с загрузкой средствами напольного транспорта, а также у больничных лифтов и 50 мм — у прочих лифтов.

Механические характеристики. Высокая точность монтажных работ обуславливает применение электроприводов с высокой жесткостью механических характеристик на значительном диапазоне скорости регулирования. Поэтому для механизмов подъема 1 и опускания 2 груза с высокой скоростью используют электрические машины с высокой жесткостью (рис. 4.47). С мягкими характеристиками 3 используют машины для плавного пуска и получения промежуточных скоростей. С жесткими характеристиками 4 применяют для доводки грузов до необходимого установленного уровня. Характеристика 5 для спуска груза с малой скоростью в тормозном режиме.

В некоторых случаях для механизмов передвижения основным требованием к механической характеристике является постоянство ускорения при пуске, что обеспечивается характеристикой 7.

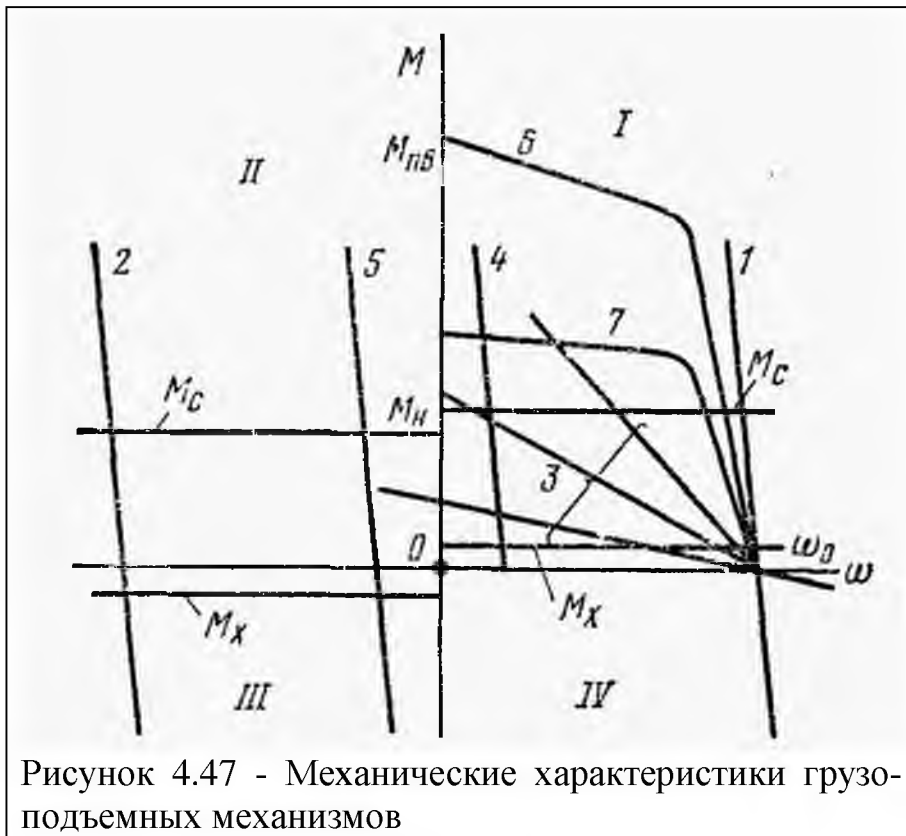
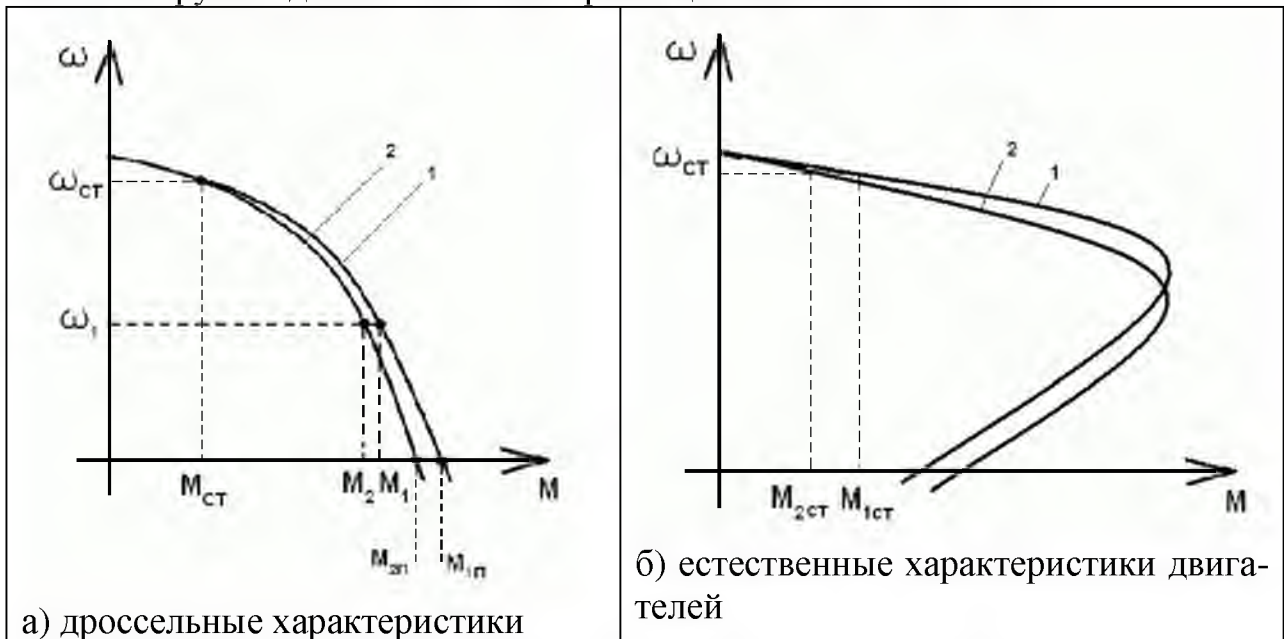


Рисунок 4.47 - Механические характеристики грузо-подъемных механизмов

Одной из проблем в крановых механизмах является синхронизация нагрузки и выравнивание скоростей двигателей передвижения моста (при двухдвигательном приводе). Решение достигается за счет большей «мягкости» механической характеристики двигателей (кривые 1 и 2, рис.4.48, а), работающих с пусковым дросселем в цепи ротора. По этой

причине относительно большое рассогласование по скорости при разгоне, компенсируется достаточно малой разницей моментов M_1 и M_2 .



а) дроссельные характеристики

б) естественные характеристики двигателей

Рисунок 4.48 - Механические характеристики двигателей

При существующей в настоящее время схеме управления ротором с активными сопротивлениями, характеристика работы двигателей более «жесткая». При выходе на статическую скорость механизмов передвижения, ротора двигателей, как правило, «закорачиваются» и выходят каждый на свою естественную характеристику (рис.4.48, б). Поскольку у двигателей, эти характеристики могут быть различны, то при одной и той же статической скорости

на валу этих двигателей, их моменты $M_{1ст}$ и $M_{2ст}$ могут оставаться различными (один недогружен, а другой перегружен). Скорости при разгоне выравниваются за счет механической жесткости фермы моста, но из-за разности моментов кран «идет» перекосом, приводя в негодность реборды колёс. Дроссельные же механические характеристики на скоростях близких к статическим «сливаются», поэтому при одних и тех же скоростях на валу двигателя, моменты практически одинаковы. Таким образом, использование пусковых дросселей в цепи ротора позволяет следующее: обеспечивает плавный пуск и торможение электропривода; увеличивает надежность работы схемы крана, за счет отсутствия в цепи ротора пускателей, контакторов, реле времени и активных сопротивлений; повышает ресурс работы реборд колес крана; «синхронизирует» работу двигателей многодвигательных электроприводов.

Нагрузочные диаграммы. Режим работы грузоподъемных машин чаще всего S3 или S2. Поэтому одной из важных характеристик является относительная продолжительность включения (ПВ):

$$ПВ = \frac{\sum t_p}{\sum t_p + \sum t_0} 100\% , \quad (4.39)$$

где $\sum t_p$ и $\sum t_0$ - суммарное время соответственно работы и отключенного состояния.

В зависимости от режима эксплуатации грузоподъемники разделяются на 5 групп, но в сельскохозяйственном производстве в основном используются три группы (табл. 4.9).

Таблица 4.9 – Группы грузоподъемных машин

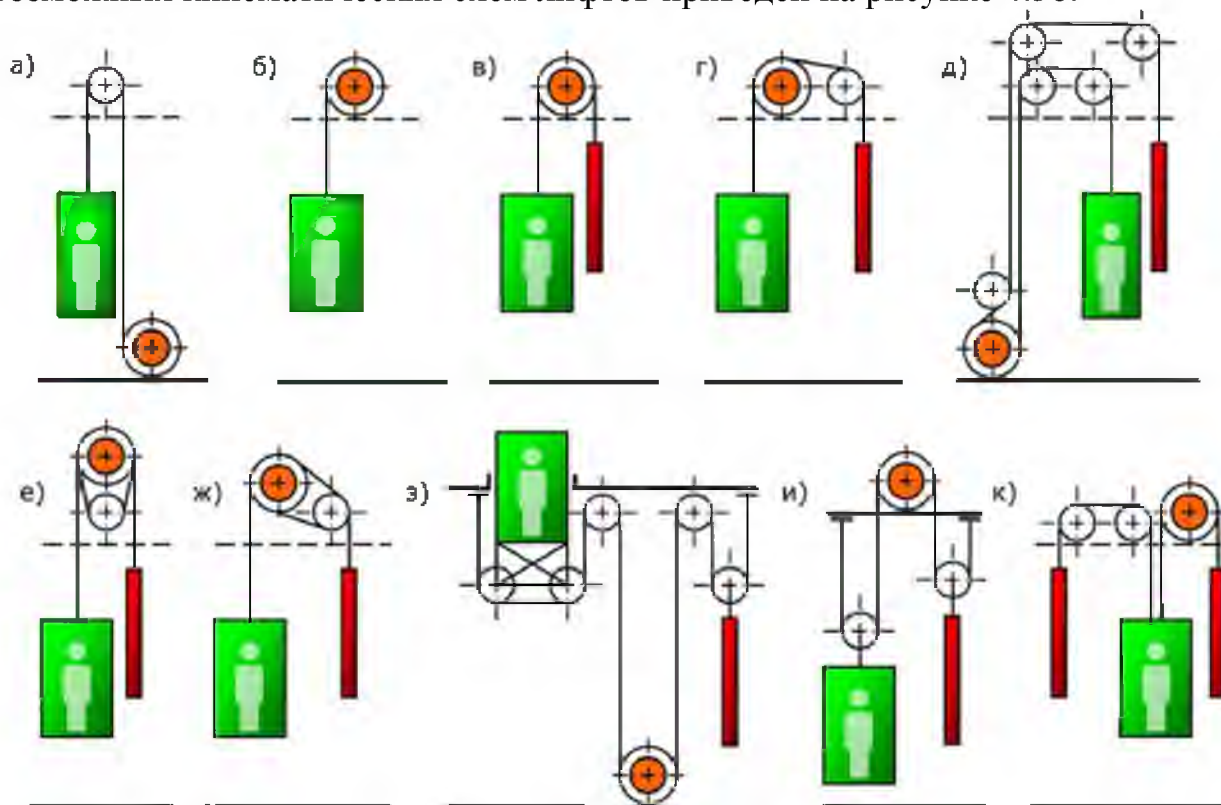
Группа	Режим эксплуатации	Коэффициент годового использования	Коэффициент суточного использования	Относительная продолжительность включения, ПВ
1	Легкий (Л)	0,25	0,33	15
2	Средний (С)	0,50	0,67	25
3	Тяжелый (Т)	0,75	0,67	40

Необходимо учитывать, что электродвигатели подъемников переходят в режимы торможения, а некоторые механизмы работают на двух или трех скоростях. Вид примерной нагрузочной диаграммы с периодами торможения лифта представлен на рисунке 4.49.



Кинематические схемы. В соответствии с общепринятым определением кинематической схемой лифта называют принципиальную схему взаимодействия подъемного ме-

ханизма с движущимися частями лифта – кабиной и противовесом. Существуют разнообразные кинематические схемы лифтов. Они отличаются друг от друга расположением машинного помещения, конструкцией канатоведущего органа, типами применяемых лебедок, гидроцилиндров, наличием или отсутствием противовеса, способами подвески кабины и назначением лифта. Ряд возможных кинематических схем лифтов приведен на рисунке 4.50.



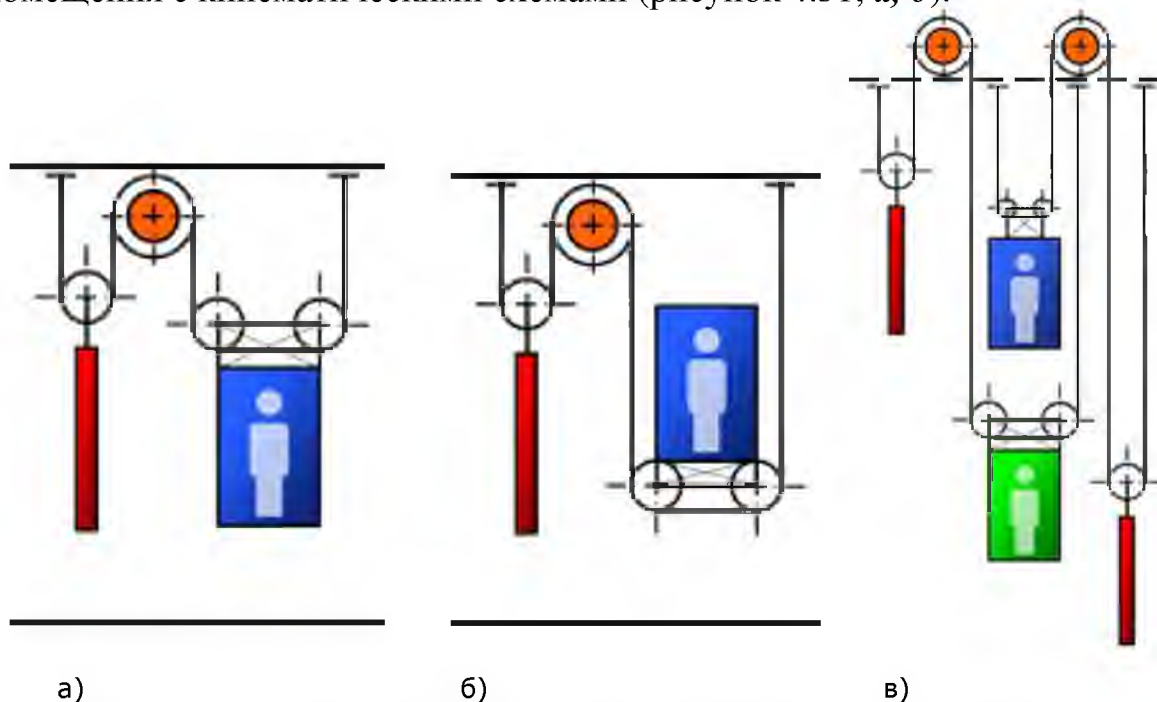
а) нижнее расположение барабанной лебедки; б) верхнее расположение барабанной лебедки; в) верхнее расположение барабанной лебедки с противовесом или верхнее расположение лебедки с канатоведущим шкивом; г) то же самое, с отклоняющим блоком; д) нижнее расположение барабанной лебедки с противовесом или верхнее расположение лебедки с канатоведущим шкивом; е) верхнее расположение лебедки с канатоведущим шкивом и контршкивом; ж) то же самое, с контршкивом, одновременно выполняющим функции отклоняющего блока; з) выжимной лифт; и) полиспастная подвеска кабины и противовеса; к) лифт с дополнительным противовесом.

Рисунок 4.50 – Кинематические схемы лифтов

На рисунке 4.50 *а* и *б* представлены кинематические схемы лифтов с барабанными приводами без противовесов, на первом изображении лебедка расположена внизу шахты, на втором – в верхней ее части. Такие схемы используют по отношению к грузовым, малогрузовым лифтам и другим подъемникам и не связано с перевозкой людей. Отсутствие у данных кинематических схем противовесов, уравнивающих массу кабины, увеличивает необходимую мощность привода и повышает расход энергии на эксплуатацию лифта. Схемы *в* и *г* являются наиболее распространенными и применяются в большинстве лифтов с верхним машинным помещением. Их отличие заключается в использовании отводного блока при больших габаритах кабины и относительно небольшом диаметре (рисунок 4.50, г). Лебедки с канатове-

дущими шкивами в некоторых условиях могут обладать недостаточной силой трения между канатами и ручьями шкива, что может привести к проскальзыванию по ним канатов. Одним из способов увеличения сил трения является включение в состав лебедки контршкива (рисунок 4.50, *е* и *ж*), который при необходимости принципиально может быть использован во всех лифтах с канатоведущим шкивом. На рисунке *ж* контршків выполняет одновременно и функцию отклоняющего блока. На рисунке 4.50, *з* и *и* – кинематические схемы с полиспастной подвеской кабины и противовеса. Первую из них применяют на выжимных и тротуарных лифтах, а вторую – на пассажирских и грузовых. Основным преимуществом является сокращение усилий в подъемных канатах и лебедке, что дает возможность уменьшить габариты самой лебедки.

Данная классификация кинематических схем постоянно пополняется. Ведущие мировые производители лифтов постоянно предлагают новые решения по компоновке и кинематике лифтов. Так завод компании OTIS во Франции выпускает лифты GeN2® Premier и GeN2® Comfort без машинного помещения с кинематическими схемами (рисунок 4.51, *а, б*).

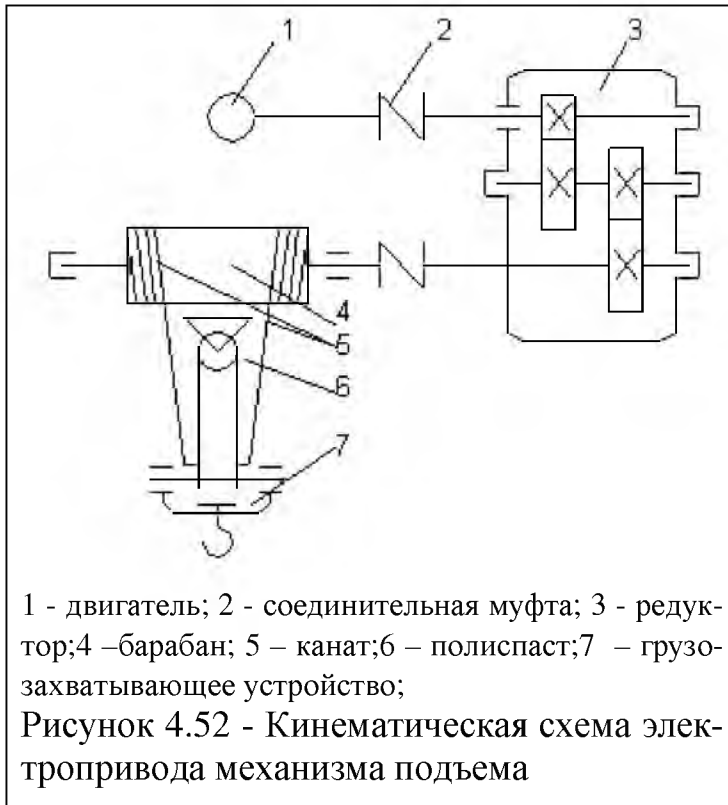


а) б) в)
Рисунок 4.51 - Перспективные кинематические схемы лифтов

Такие кинематические схемы, являющиеся вариациями полиспастной подвески кабины и противовеса, в сочетании с безредукторной лебедкой и плоскими тяговыми ремнями позволяют сэкономить полезную площадь в здании. Еще одним примером порыва конструкторской мысли в области лифтостроения является лифт TissenKrupp TWIN®, что в переводе с английского означает близнец. Особенностью лифта является размещение двух кабин в одной лифтовой шахте, по схеме (рисунок 4.51, в). Такое решение позволяет экономить пространство и время перевозки пассажиров в больших административных центрах. Необходимым является использование специ-

альной системы управления пассажиропотоками. Также производитель рекомендует использовать такие лифты в группе с традиционным лифтом.

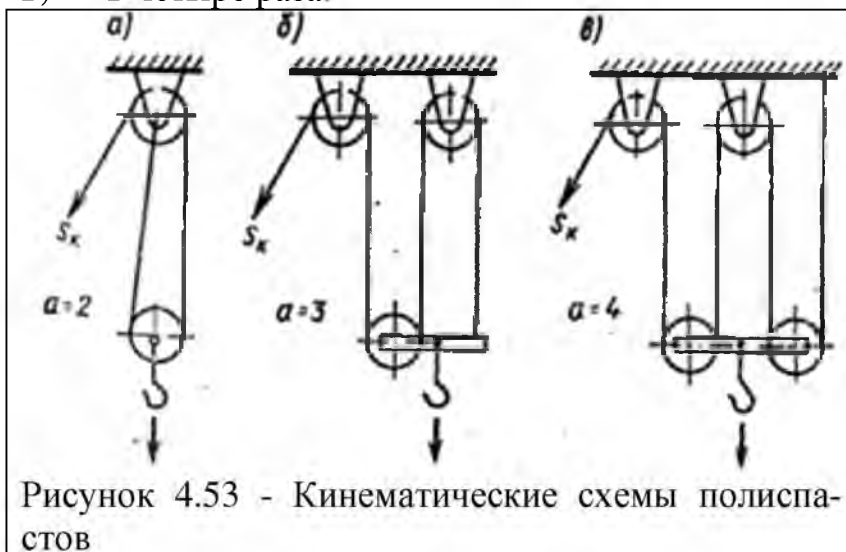
Кинематические схемы **подъемников** лебедок не сложные и обычно включают редуктор промежуточную муфту и непосредственно – электродвигатель (рис. 4.52). Вал двигателя через муфту соединен с входным валом редуктора.



Редуктор понижает скорость вращения и одновременно увеличивает момент. Выходной вал редуктора соединен через муфту с канатным барабаном. Полиспаст крепится на двух канатах. К полиспасту крепится грейфер. Полиспаст в данном случае предназначен для уменьшения линейной скорости грейфера. Канатный барабан посредством ременной передачи соединен с кабельным барабаном, предназначенным для подачи питающего кабеля.

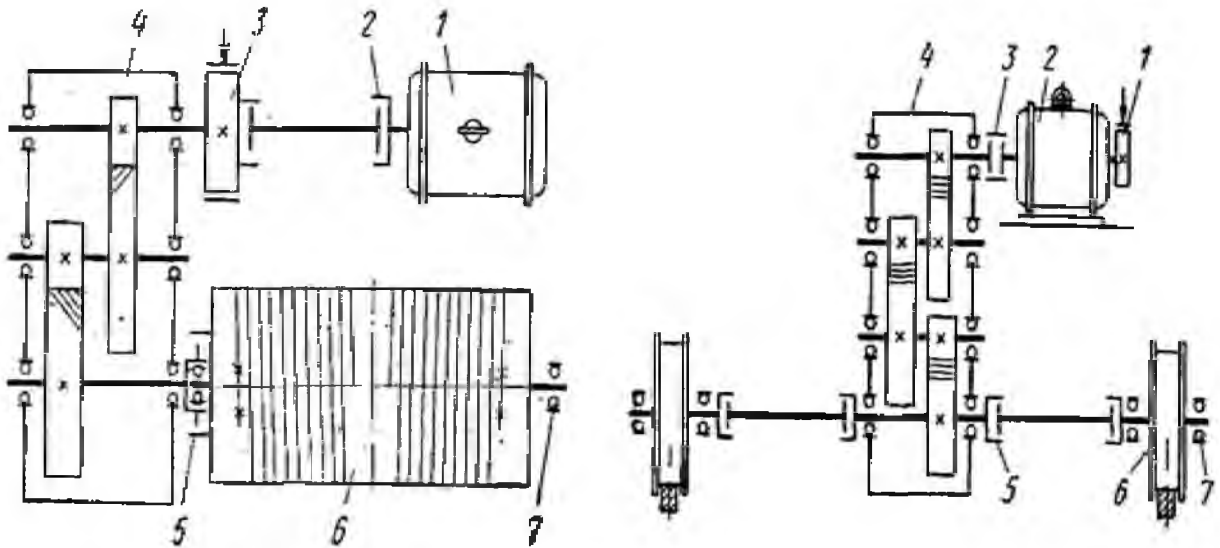
Подвеска грузов бывает безполиспастная (одноветвевая) и полиспастная (многоветвевая).

Полиспастом называется система неподвижных и подвижных блоков, объединенных канатами (рис. 4.53). Одноветвевая подвеска груза выигрыша в силе не дает. Двухветвевая система подвески груза (рис. 4.53, а) представляет собой двукратный полиспаст, позволяющий получить выигрыш в силе в два раза, трехветвевая (рис. 4.53, б) — в три раза и четырехветвевая (рис. 4.53, в) — в четыре раза.



Кинематические схемы мостовых кранов состоят из двух составляющих, так как есть два механизма – подъема (рис. 4.54, а) и горизонтального перемещения (рис. 4.54, б).

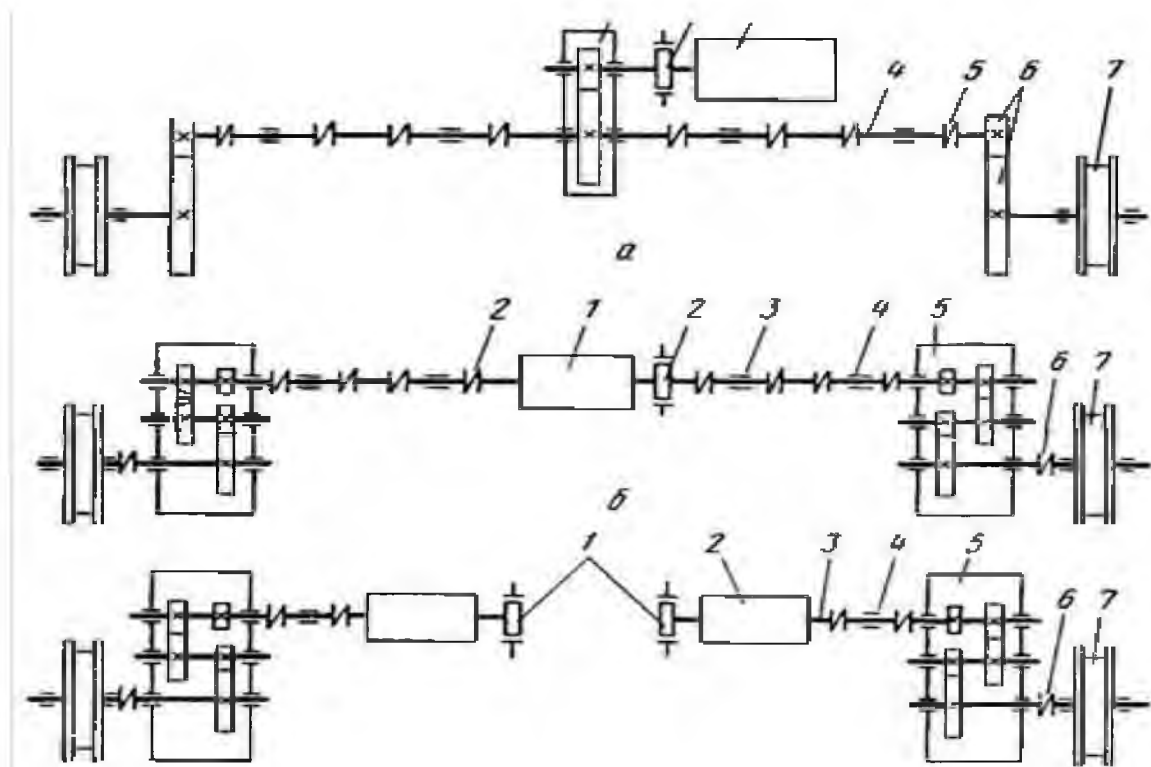
Кинематика перемещения (трансмиссии) может быть тоже в нескольких вариантах (рис. 4.55).



а) привод подъема

б) привод перемещения

Рисунок 4.54 – Кинематическая схема мостового крана



а — тихоходная трансмиссия; б — быстроходная трансмиссия; в — трансмиссия с индивидуальным приводом

Рисунок 4.55 - Кинематические схемы трансмиссии моста крана

На рисунке 4.56, а изображена кинематическая схема механизма передвижения, применяемого для кранов серии КБ с грузовым моментом до 200 т·м (КБ-60, КБ-100, КБ-160.2, КБ-401А, КБ-405). Приводной агрегат, состоящий из электродвигателя 4, редуктора 2 и тормоза 11, расположен сбоку от рамы тележки. Электродвигатель имеет фланцевое исполнение и соединен с корпусом редуктора через промежуточную деталь – фонарь 5, также имеющий фланец. На валу электродвигателя посажена цилиндрическая шестерня 3

с косым зубом, находящаяся в зацеплении с шестерней быстроходного (глобоидного) вала редуктора. Подбирая соотношение зубьев этой пары шестерен можно изменить общее передаточное отношение всего агрегата. На другом конце быстроходного вала редуктора закреплен тормозной шкив 1, совмещенный с маховиком. Маховик предназначен для повышения плавности пуска и остановки механизма. Шкив охватывают колодки тормоза 11, закрепленного на кронштейне, повернутом к нижним лапам редуктора. Глобоидный редуктор имеет неразъемный корпус со смонтированной в нем на подшипниках червячной парой. Червяк расположен под червячным колесом, что гарантирует ему лучшую смазку и отвод тепла.

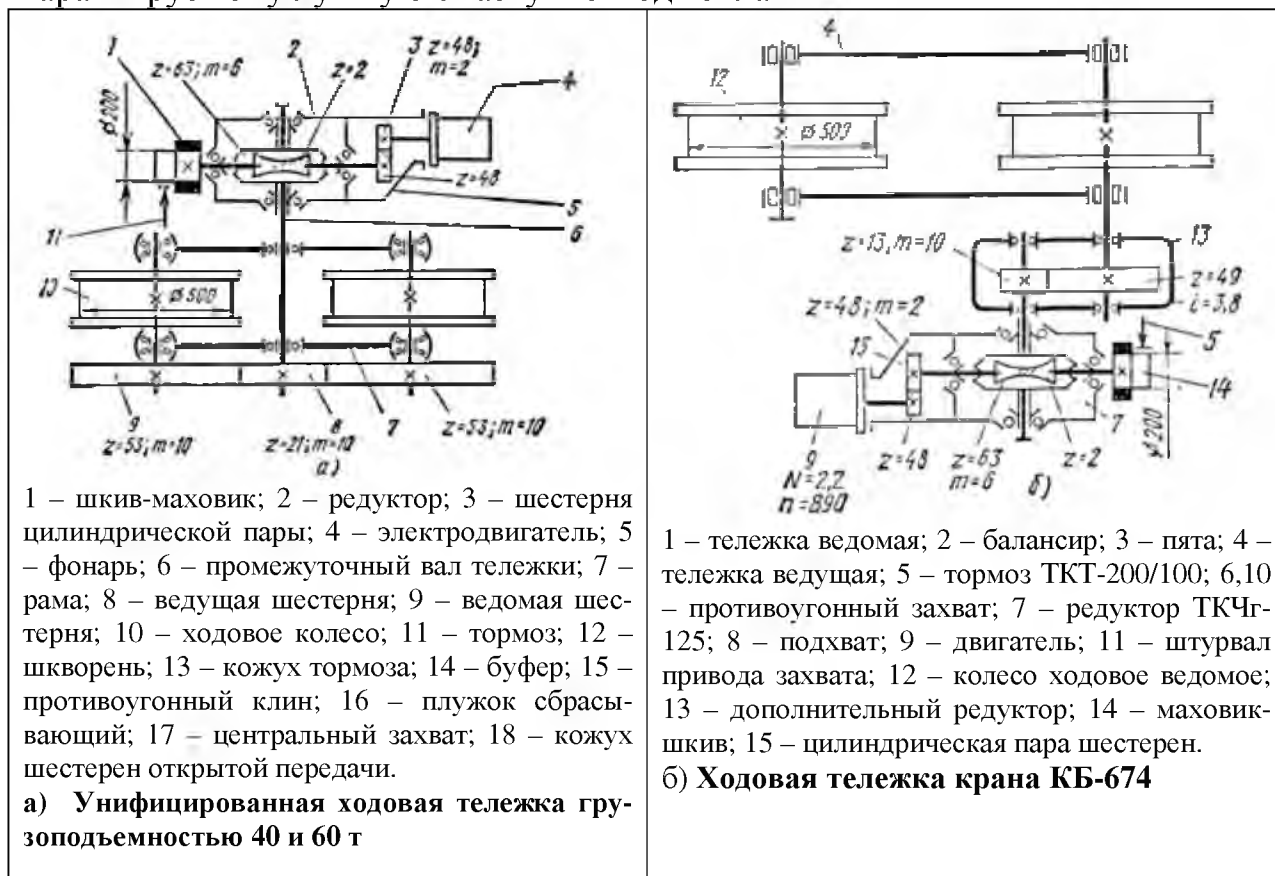


Рисунок 4.56– Кинематические схемы ходовых тележек мостовых кранов

В лифтовых лебедках довольно широкое применение находят червячные передачи с глобоидными червяками (рис. 4.57). Благодаря особенностям глобоидного зацепления эти передачи имеют меньшие габариты по сравнению с передачами с цилиндрическими червяками той же мощности.

Энергетические характеристики. Работа подъемного механизма состоит из трех периодов: пуска, установившегося движения, торможения. В первом и третьем периодах в механизме возникают дополнительные инерционные силы, которые оказывают влияние на работу электропривода. Так как пусковой период краток (1...5 с), поэтому выбор двигателя ведут по номинальной мощности установившегося движения. Номинальную мощность можно определить по формуле:

$$P = \frac{g(m_{\Gamma} + m_0) \cdot v_z}{\eta_n \eta_m}, \quad (4.40)$$

где m_{Γ} и m_0 - массы соответственно груза и грузозахватного органа; v_z - скорость подъема груза, м/с; η_n и η_m - КПД соответственно полиспаста и механизма подъема.

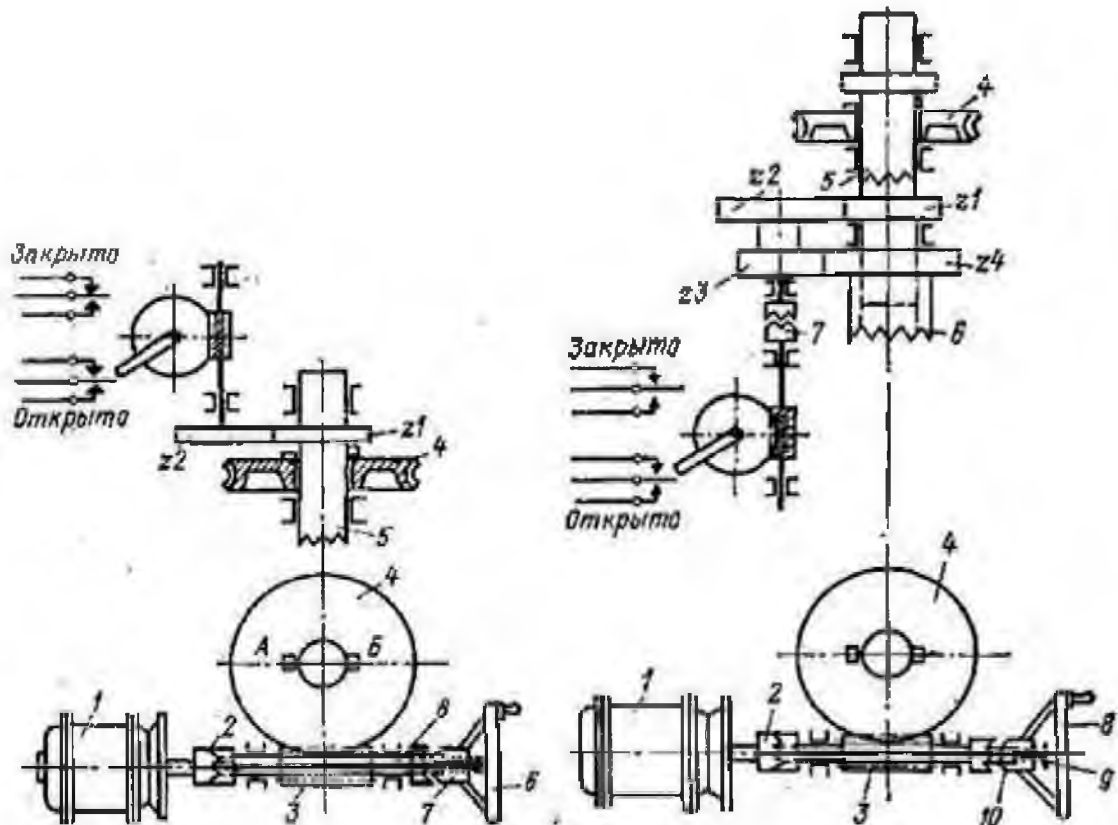


Рисунок 4.57– Кинематические схемы электропривода с червячной передачей

Коэффициент полезного действия механизма подъема не является постоянной величиной и зависит от нагрузки (рис. 4.58, а). Также на рисунке б показаны энергетические характеристики электротали. Из данного рисунка видно, что КПД электротали возрастает до значения 0,58 с увеличением массы поднимаемого груза до 1000 кг. Интересен режим работы двигателя при опускании груза: пока масса груза менее 425 кг, электродвигатель работает в двигательном режиме, а когда масса свыше 425 кг - в генераторном. Следовательно, для преодоления момента холостого хода механизма подъема достаточен груз массой 425 кг.

Для подъемников, для которых известна нагрузочная диаграмма, двигатели выбирают по эквивалентной мощности:

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (4.41)$$

После определения фактической относительной продолжительности включения $ПВ_{\phi}$, производят корректировку на каталожное значение относительной продолжительности включения $ПВ_{кат}$:

$$P = P_{кат} \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{кат}}} \quad (4.42)$$

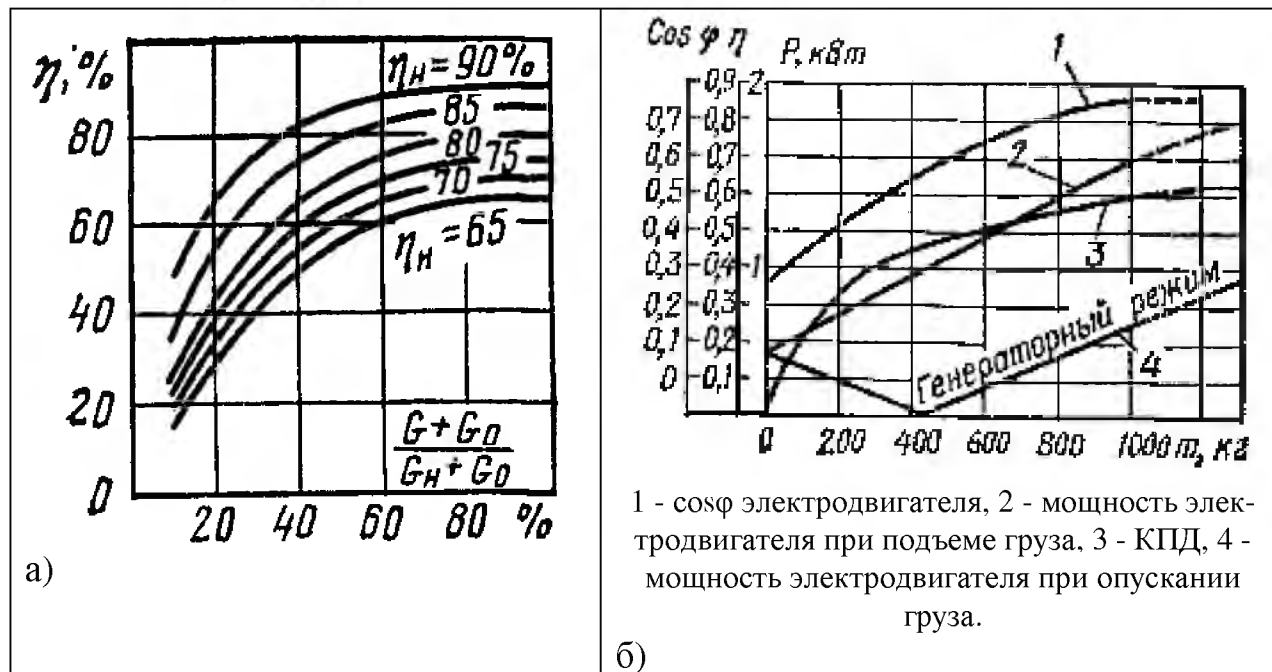


Рисунок 4.58– Вид энергетических характеристик механизма подъема от нагрузки.

Учитывая, что в момент пуска возникают дополнительные усилия от сил инерции во вращающихся частях механизма, то принимать лучше всего электродвигатели с повышенным значением пускового момента. Кроме того для грузоподъемных механизмов выпускают специализированные серии электродвигателей, имеющие повышенную перегрузочную способность и повышенное значение пускового момента. Так крановые и краново-металлургические асинхронные трёхфазные электродвигатели типа: МТ, МТН, МТКН, 4МТ, 4МТК, 4МТН, 4МТКН, 4МТМ, 4МТКМ с фазным и короткозамкнутым ротором поставляются на комплектацию башенных, козловых, порталных, мостовых и других кранов (рис.4.59). Они предназначены для работы в электроприводах металлургических агрегатов и подъемно-транспортных механизмах всех видов в макроклиматических районах с умеренным (У), тропическим (Т), умеренно-холодным (УХЛ) и общеклиматическим (О) климатом в условиях.

Расшифровка обозначения крановых электродвигателей:

- МТ, 4МТ - обозначение серии;
- К - с короткозамкнутым ротором (отсутствие буквы обозначает с фазным ротором);
- Н - класс нагревостойкости изоляции;
- М – модернизированный.

- 011, 012, 111, 112, 211, 311, 312, 411, 412, 511, 512, 611, 612, 613 – условное обозначение габарита (первая цифра) и длины станины (вторая и третья цифры) для крановых двигателей серии МТ.



Рисунок 4.59–Общий вид двигателей серии МТ, МТН, МТКН

Краново - металлургические электродвигатели серии МТ предназначены для привода крановых и других механизмов, работающих в кратковременных и повторно-кратковременных режимах, в том числе с частыми пусками и электрическим торможением. Двигатели могут быть использованы также для механизмов длительного режима работы. Электродвигатели предназначены для питания от сети 380 В, 50 Гц с тремя выведенными концами от обмотки статора, а также могут быть изготовлены на напряжение 220/380 и 380/660 В с шестью выведенными концами для соединения фаз в звезду или треугольник. Двигатели МТФ, МТН, МТИ изготавливаются с фазным ротором, двигатели МТКФ, МТКН, МТКИ - с короткозамкнутым ротором одно- и двухскоростные. Двигатели МТ(К)Ф предназначены для умеренного климата (исполнение У1), двигатели МТ(К)Н предназначены для работ при повышенных температурах (исполнение У1), для тропического климата (исполнение Т1) и для холодного климата (исполнение ХЛ1). Основные технические данные электродвигателей приведены в таблице 4.10. Как видно из таблицы электрические машины имеют значение пускового и критического моментов в интервале 2,8...3,6.

денными концами от обмотки статора, а также могут быть изготовлены на напряжение 220/380 и 380/660 В с шестью выведенными концами для соединения фаз в звезду или треугольник. Двигатели МТФ, МТН, МТИ изготавливаются с фазным ротором, двигатели МТКФ, МТКН, МТКИ - с короткозамкнутым ротором одно- и двухскоростные. Двигатели МТ(К)Ф предназначены для умеренного климата (исполнение У1), двигатели МТ(К)Н предназначены для работ при повышенных температурах (исполнение У1), для тропического климата (исполнение Т1) и для холодного климата (исполнение ХЛ1). Основные технические данные электродвигателей приведены в таблице 4.10. Как видно из таблицы электрические машины имеют значение пускового и критического моментов в интервале 2,8...3,6.

Таблица 4.10 - Основные технические характеристики двигателей для крановых механизмов

Тип двигателя	Мощность, кВт. S3-ПВ 40%	Частота вращения, об/мин	Номинальный ток, А при U=380В	Кратность пускового тока, пускового и максимального моментов			Коеф. полезного действия, %	Коеф. выносливости, о.э.	Момент инерции ротора J _р , кгм ²
				Ip/In	Mп/Мн	Мmax/Мн			
МТКН 011-6	1,4	920	4,5	4,0	2,8	2,8	70,5	0,67	0,016
МТКН 012-6	2,2	915	6,5	4,0	2,8	2,8	73,5	0,70	0,021
МТКН 111-6	3,5	865	8,9	3,8	2,75	2,75	74,5	0,80	0,037
МТКН 112-6	5,0	890	12,8	4,3	3,35	3,35	76,0	0,78	0,051
4МТКН132LA6	5,5	900	14,5	4,3	3,1	3,1	76,0	0,76	0,062
4МТКН132LB6	7,5	880	18,1	4,5	3,3	3,3	78,5	0,80	0,076
МТКН211A6	5,5	900	14,5	4,3	3,1	3,1	76,0	0,76	0,062
МТКН211B6	7,5	880	18,1	4,5	3,3	3,3	78,5	0,80	0,076
МТКН 311-6	11	900	24,9	4,8	3,3	3,3	80,5	0,83	0,281
МТКН 311-8	7,5	695	21	4,5	3,25	3,35	80,5	0,63	0,281
МТКН 312-6	15	915	32,4	5,5	3,6	3,6	82,5	0,85	0,371
МТКН 312-8	11	700	28	5,2	3,5	3,5	81,5	0,73	0,371

Также нужно учитывать, что часть грузоподъемников имеют общую конструкцию электрической машины и рабочего органа (передний подшипниковый щит электродвигателя является частью рабочей машины).

Для уверенного пуска электропривода подъемного механизма должно быть выполнено условие:

$$u^2 \mu_{нсп} = \frac{(\mu_{мин} + \mu_{макс})}{2} \geq 1,5 \mu_{с.макс}, \quad (4.43)$$

где u - кратность снижения напряжения в сети; $\mu_{нсп}$ - кратность среднего момента при пуске; $\mu_{мин}$ и $\mu_{макс}$ - кратности момента электродвигателя при пуске соответственно минимальная и максимальная; $\mu_{с.макс}$ - кратность максимального момента сопротивления.

При опускании груза электродвигатель работает в режиме торможения и его мощность равна разности мощностей силой тяжести и силами трения в подъемном механизме:

$$P_{он} = P_m - P_{тр} = g(m_{\Gamma} + m_0) \cdot v_{\Gamma} \left(\eta_m - \frac{1}{\eta_m} \right). \quad (4.44)$$

При определении эквивалентной мощности необходимо учитывать и эти периоды. Кроме того, при частых пусках нужно учитывать и периоды пуска, когда протекают повышенные пусковые токи.

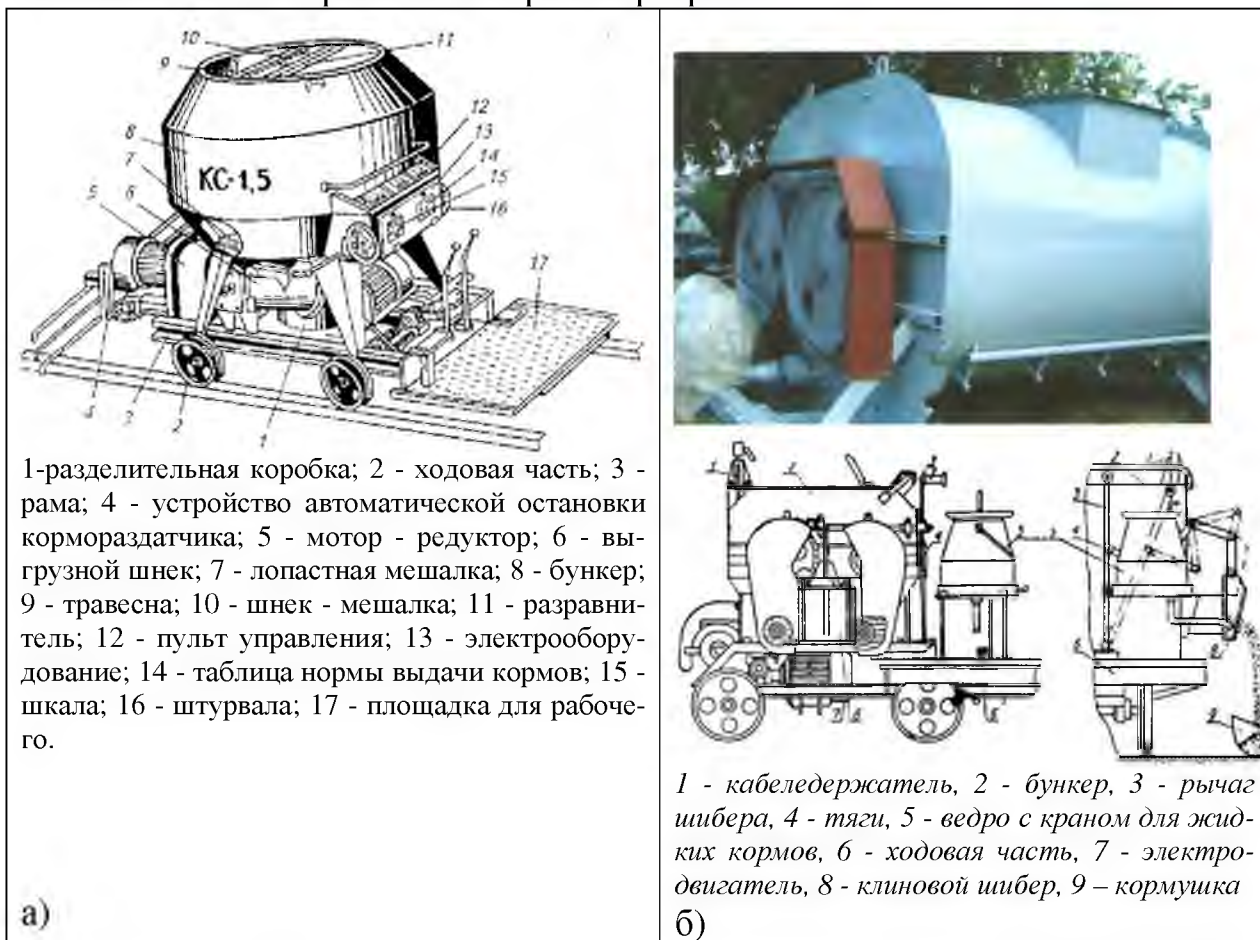
Для горизонтального перемещения груза мощность электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{g \cdot k_k (m_{\Gamma} + m_0) (\mu_{ск} \cdot r_{ш} + f_{кач}) \cdot v_{нз}}{R_k \cdot \eta_n}, \quad (4.45)$$

где k_k - коэффициент трения реборд колес о рельсы, 1,5...2,5; $\mu_{ск}$ - коэффициент трения скольжения (0,15) или качения (0,015); $r_{ш}$ - радиус шейки оси колеса, м; $f_{кач}$ - параметр, учитывающий трение качения ходового колеса по рельсу, м, 0,0003; $v_{нз}$ - скорость перемещения груза; η_n - КПД механизма передвижения; R_k - радиус колеса.

В сельскохозяйственном производстве используется целая гамма транспортных самоходных тележек (электровозов), на базе которых выполнены кормораздатчики различного типа. Движение колес этих тележек осуществляется по разному виду дорог, причем движение может быть с подъемом и по криволинейному пути. Примером транспортного средства такого типа может мобильный кормораздатчик КС-1,5 (рис. 4.60, а). Кормораздатчик КС-1,5 предназначен для перемешивания и раздачи влажных кормовых смесей всем возрастным группам свиней на репродукторных и небольших откормочных свиноводческих фермах во всех климатических зонах России. Загрузка кормораздатчика производится кормами, поступающими из кормоцеха в приго-

товленном виде, влажностью 60-80%. В этом случае кормораздатчик перемешивает корма с целью предотвращения их расслоения с последующей раздачей в кормушки. При отсутствии на ферме кормоцеха кормораздатчик может быть использован для приготовления и раздачи влажных мешанок полужидких и сухих кормов. В этом случае их загрузка в бункер производится шнековыми или скребковыми транспортерами.



1-разделительная коробка; 2 - ходовая часть; 3 - рама; 4 - устройство автоматической остановки кормораздатчика; 5 - мотор - редуктор; 6 - выгрузной шнек; 7 - лопастная мешалка; 8 - бункер; 9 - травесна; 10 - шнек - мешалка; 11 - разравниватель; 12 - пульт управления; 13 - электрооборудование; 14 - таблица нормы выдачи кормов; 15 - шкала; 16 - штурвала; 17 - площадка для рабочего.

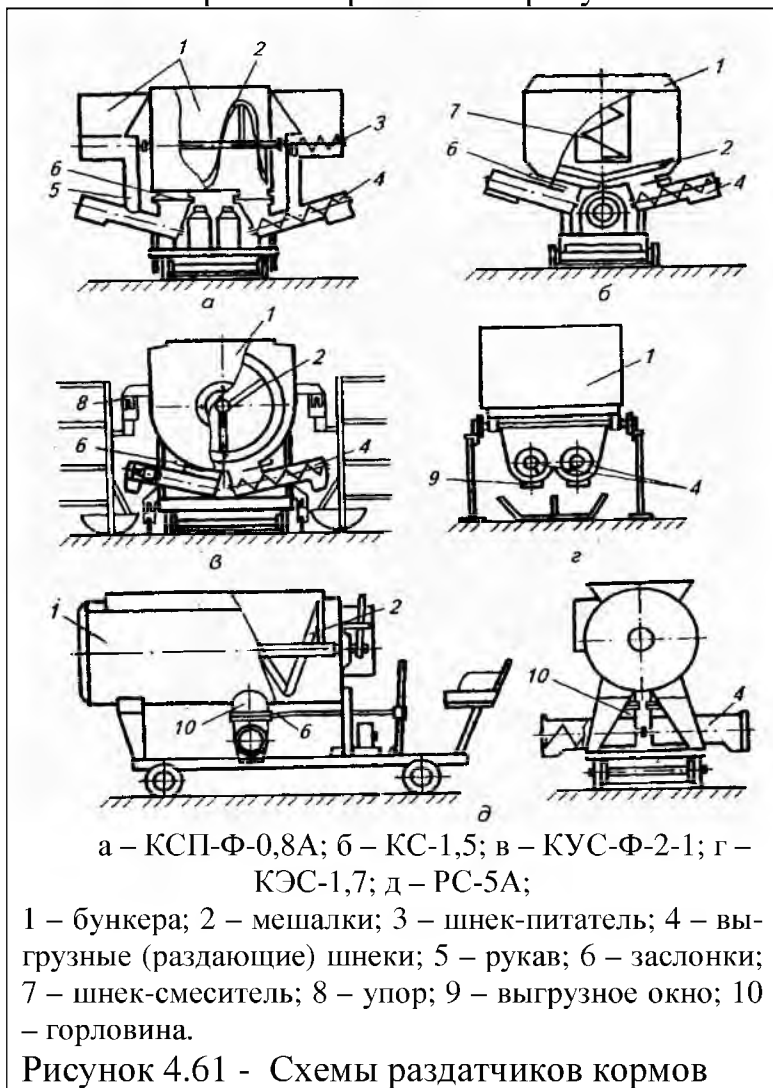
1 - кабеледержатель, 2 - бункер, 3 - рычаг шибера, 4 - тяги, 5 - ведро с краном для жидких кормов, 6 - ходовая часть, 7 - электродвигатель, 8 - клиновой шибер, 9 - кормушка

Рисунок 4.60 - Технологические схемы кормораздатчиков КС-1,5 и КС-0,4

Кормораздатчик состоит из ходовой части 2 с электропроводом, бункера 8, двух выгрузных шнеков 6 с дозирующим устройством, четырехскоростной коробкой передач для измерения выдачи корма, площадки 17 для рабочего и пульта управления 12. В бункер кормораздатчика загружают готовый к выдачи корма или компоненты кормовой смеси. В это время выгрузные окна закрыты шиберными заслонками. Если корм необходимо смешать, включают на 4...20 мин шнек - мешалку 10 и лопастную мешалку 7. Когда кормораздатчик по рельсовому пути, проложенному в кормовом проходе, подъезжает к ряду кормушек, оператор включает привод выгрузных шнеков и открывает шиберные заслонки; корм поступает в кормушки. Норму выдачи регулируют изменением открытия шиберных заслонок. При выдаче корма в индивидуальные кормушки используют тормозное устройство для остановки раздатчика у соответствующей кормушки. Подача корма 30...70 т/ч. Общая установленная мощность четырех электродвигателей 7,1 кВт. Один оператор может обслужить 600...1200 поросят - отъемышей.

В маточниках корма раздают передвижным электрифицированным кормораздатчиком КС-0,4 (рис. 4.60, б). Бункер его снабжен двумя лопастными мешалками и выгрузными шнеками, которые приводятся в движение от электромотора. Корм выдается одновременно на две стороны. Предусмотрена регулировка выдачи его в кормушки.

Применяются и другие мобильные кормораздатчики технологические схемы которых изображены на рисунке 4.61.



Расчет мощности приводного электродвигателя этих машин можно проводить по формуле:

$$P=(F_0+F_{кр}+F_i)v\eta_n^{-1}, \quad (4.46)$$

где F_0 - тяговое сопротивление на прямолинейном горизонтальном пути, Н; $F_{кр}$ - тяговое сопротивление на закруглениях пути, Н; F_i - дополнительное тяговое сопротивление на подъеме, Н; v - скорость движения транспортной тележки, м/с; η_n - к.п.д. передачи.

При прямолинейном движении по горизонтальному участку пути основное сопротивление зависит от трения качения колес в точке соприкосновения колес с поверхностью дороги, трения реборд колес о рельсы,

трения в осях колес, от конструкции ходовых колес и скорости движения.

$$F_0 = f_0 m, \quad (4.47)$$

где f_0 - коэффициент сопротивления передвижению транспорта на прямолинейном горизонтальном участке пути, Н/кг; m - масса транспортной тележки с грузом, кг.

Величина коэффициента сопротивления для условий внутриусадебных дорог находится в пределах $f_0=0,1-0,2$ Н/кг;

Дополнительное сопротивление движению на криволинейных участках

$$F_{кр} = f_{кр} m, \quad (4.48)$$

где $f_{кр}$ - коэффициент дополнительного сопротивления на закруглении пути, Н/кг.

Для вагонеток с диаметром ходовых колес 100 мм определяется по формуле:

$$f_{кр} = (0,25 - 0,35)R^{-1}, \quad (4.49)$$

где R - радиус закругления дороги, м.

Дополнительное сопротивление на подъеме определяется по формуле:

$$F_i = 9.81m \cdot \sin \alpha, \quad (4.50)$$

где α - угол подъема дороги.

Рекомендуемые скорости передвижения транспортных тележек: $v = 0,3 - 1,5$ м/с.

В складских помещениях широко используются мобильные транспортные – погрузчики, штабеллеры, электрокары и т.д. (рис.4.62).



Рисунок 4.62 - Общий вид мобильных транспортных средств

Электрокара – это самоходная безрельсовая колесная тележка с электрическим приводом от аккумуляторной батареи (АКБ). Электрокары бывают с подъемной и неподъемной платформой, а управляются сидящим или стоящим на машине водителем (рис. 4.63). Грузоподъемность таких электро-тележек – 0,5 т и выше.



Рисунок 4.63– Электрокары, управляющие стоящим и сидящим водителем.

Конструкция электрокары: рама, задний мост в сборе с электродвигателем, управляющий мост, АКБ, силовое коммутирующее электрооборудование. Электрокары используются преимуще-

ственно на крупных промышленных предприятиях, на транспорте, в складских помещениях, на предприятиях хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Достаточно высокая скорость передвижения (до 20 км/ч), хорошая маневренность, возможность перемещения в складированном пространстве, в грузовых лифтах, отсутствие вредных выхлопных газов делают

электрокары эффективным средством транспортировки грузов. В СССР получили распространение электрокары грузоподъемностью до 3 т. Их часто называли просто карами. В последние десятилетия из-за развития других, более универсальных средств наземного транспорта, в частности вилочных погрузчиков, мини-тягачей и комплектовщиков, сфера применения электрокаров несколько сузилась, однако они по-прежнему остаются весьма востребованы в вышеперечисленных отраслях. В нашей стране ведущим производителем электрокаров стал Сарапульский электрогенераторный завод (ОАО «СЭГЗ»), выпустивший первую партию электротележек ЭК-1 в июне 1956 года. Новые модели типа ET2 оснащены светотехническими приборами, позволяющими двигаться по автомобильным дорогам в темное время суток, и пневматическими шинами, хотя и старые модели с массивными шинами сегодня сохраняют свою актуальность для металлургических производств. Электротележки серии ET2 (рис.4.64) предназначены для перевозки грузов в стесненных условиях по дорогам с твердым покрытием на промышленных предприятиях, складах, базах, портах, железнодорожных станциях и т. п. Они обладают повышенной маневренностью, высокой экологической чистотой и характеризуются низкими эксплуатационными расходами. Управление электротележками осуществляется в сидячем положении.



Электротележки серии ET2 выпускаются с импульсной системой управления, обеспечивающей плавное бесступенчатое регулирование скорости движения и мягкую нагрузку на механизмы. При этом достигаются минимальный расход энергии, контроль состояния АКБ и ее защита от полного разряда. Рабочее место водителя соответствует требованиям европейских эргономических норм. В просторной зоне для ног отсутствуют выступы и острые углы. Для экстренного отключения АКБ предусмотрен аварийный выключатель, размыкающий электрическую цепь тележки. Имеются счетчик моточасов и прибор контроля состояния АКБ. Они имеют бесконтактный статический импульсный регулятор частоты вращения двигателя фирмы Curtis (США). Все это существенно повышает эффективность транспортировки грузов и снижает износ механических систем, при этом на 25% увеличивается цикл непрерывной работы машины и продлевается срок службы АКБ.

В условиях многих промышленных предприятий и складских комплексов используют специализированные электротележки, которые позволяют перевозить грузы по закрытой территории или на открытых площадках. Такие платформенные самоходные электрокары выпускают на предприятиях партнерах компании "Булгаркар" в Болгарии (рис.4.65). Они отличаются простотой конструкции и возможностью длительного использования при соблюдении правил технического обслуживания и грамотной эксплуатации.



Рисунок 4.65 - Электротележки, поставляемые компанией Булгаркар

Практически все электрокары болгарского производства имеют сходную конструкцию. Отличия могут быть в дополнительных элементах или дизайне. В основном, электротележка представляет собой прочное шасси, на которое установлен электромотор, аккумуляторы и система управления. Шасси электрокара имеет цельносварную конструкцию, для которой используют стальные профили, усиленные специальным поперечным набором балок. Это дает возможность перевозить на электротележке грузы весом в 2-3 тонны. Кроме того, балочная конструкция упрощает обслуживание и ремонт всех узлов и агрегатов благодаря простому доступу к ним. В зависимости от модели, электротележки могут оснащаться металлической платформой-самосвалом, которая облегчает разгрузку. Также предусмотрена и неподвижная площадка для перевозки таких грузов, как багаж пассажиров в аэропорту или на вокзале, небольшие изделия в промышленных цехах и многое другое. На все электрические тележки устанавливается специальная система управления. Она обеспечивает возможность разворота с минимальным радиусом, что имеет особое значение при движении в условиях складов с множеством стеллажей или торговых предприятий с узкими проходами. Такая маневренность достигается путем использования специального управляемого моста.

Электротележки типа ЕП 011 (рис.4.66) и ЕП 006 отвечают современным нормам прочности и грузоподъемности, предъявляемым к транспорту, который используется в условиях аэропортов и железнодорожных вокзалов, складских помещений или на предприятиях и фабриках. Минимальная ширина рабочего пространства для проезда этих моделей составляет всего 2,6 м, а радиус поворота - 2,9 м. В качестве источника энергии для модели ЕП 006 используется две аккумуляторные батареи с напряжением по 40 В и емкостью 160-165 А/ч (205-280 А/ч для ЕП 011). Полная масса ЕП 006 составляет 1370 кг, а ЕП 011 на 260 кг больше, что позволяет при необходимости перемещать их с объекта на объект специальной техникой. Электрокары ЕП 011 могут перевозить до 3 т груза, модели ЕП 006 - до 2 т.

Современные электрокары ЕС 301 (рис.4.67) с функцией самосвала также предназначены для эксплуатации в условиях закрытых помещений или открытых площадок с ограниченным пространством и ровным полом. Наличие самосвального механизма значительно облегчает разгрузочные работы. Эти модели электротележек имеют более удлиненную грузовую платформу,

бóльшие габаритные размеры и соответственно бóльшую массу в сравнении с ЕП 011 и ЕП 006. Из-за этого им требуется более широкое пространство для проезда (2,7 м). Остальные технические характеристики аналогичны модификации ЕП 011.



Рисунок 4.66 - Электротележка ЕП 011

Рисунок 4.67 - Электросамосвал ЕС 301

Основным назначением моделей ЕР 20 и ЕР 30 (рис.4.68) является перевозка грузов по ровным поверхностям в помещениях или на открытых площадках. Кроме того, они могут быть использованы в качестве средств передвижения в аэропортах, гостиничных, спортивных, туристических и торговых комплексах. При изготовлении таких электротележек применяют современные материалы, позволяющие создавать прочные и надежные изделия. Дизайн ЕР 20 и ЕР 30 выполнен с использованием эллипсовидных форм, улучшающих характеристики эргономичности и функциональности. В комплектацию входит закрытая кабина, которая оборудована сиденьями с амортизаторами, системой кондиционирования и дополнительными элементами. Также предусмотрено швартовочное оборудование для перевозки грузов: канаты, зацепы, буксирный крюк, обода и резиновый половой настил.



Рисунок 4.68 - Внешний вид электротележки и электротележки с кабиной серии ЕР

Большинство этих транспортных средств обладают высокой маневренностью, бесшумностью хода, при их работе отсутствуют выхлопы дыма и газа. Однако, есть и недостаток – применение аккумуляторных батарей, которые приходится периодически заряжать. Емкость батареи рассчитывают на непрерывную работу машины в течение 5 ч, и первоначально определяется необходимое количество энергии по формуле:

$$A = \frac{f_{nep} \sum (m_{i\text{зп}} + m_T) L_i}{\eta_n}, \quad (4.51)$$

где f_{nep} - коэффициент перекачивания, Н/кг; $m_{i\text{зп}}$ и m_T - масса соответственно i -го груза и транспортной единицы, кг; L_i - i -ое расстояние при перевозке i -го груза, м; η_n - КПД передачи от источника энергии к ведущим колесам.

Необходимое значение емкости батареи ($A \cdot \text{ч}$) рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{A}{U_{\delta}}, \quad (4.52)$$

где U_{δ} - напряжение батареи, В.

Статический момент сопротивления движению машины напольного транспорта, приведенный к валу электродвигателя, определяется следующим образом:

$$M_c = \frac{D_k \cdot g}{2i \cdot \eta} \left[(m_{i\text{зп}} + m_T) f_c \cos \alpha + (m_{i\text{зп}} + m_T) \sin \alpha \right], \quad (4.53)$$

где D_k - диаметр колеса, м; η - КПД механизма передвижения; i - передаточное число механизма передвижения; α - угол наклона дорожного покрытия; f_c - коэффициент сопротивления движению колес.

Исследования показывают, что для массивных шин коэффициент сопротивления движению в значительной мере зависит от диаметра колеса, геометрических размеров резинового массива шины и нагрузки на колесо. Так, например, с увеличением диаметра колеса, уменьшением толщины резинового массива и увеличением его ширины коэффициент сопротивления движению падает. При увеличении вертикальной нагрузки на колесо коэффициент сопротивления возрастает. В литературе рекомендуется следующая эмпирическая формула для определения коэффициента сопротивления движению свободно катящегося колеса с массивной шиной по твердому и гладкому покрытию:

$$f_0 = 0,0045 + 0,073 \sqrt{\frac{\Delta h_0}{R_k}}, \quad (4.54)$$

где Δh_0 - деформация резинового массива колеса в вертикальной плоскости, м; R_k - радиус колеса, м.

Соответственно коэффициент сопротивления движению колес определяется по формуле:

$$f_c = (1,2 \dots 1,3) f_0. \quad (4.55)$$

Значение деформации резинового массива колеблется довольно в широких пределах и для большинства погрузчиков составляют без груза – 0,2...0,75, а с грузом – 0,4...0,9.

В зависимости от типа дорожного покрытия значение коэффициента сопротивления движению изменяется также в широких пределах и его значения приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Зависимость коэффициента сопротивления движению от типа дорожного покрытия

Тип дорожного покрытия	f_c	Тип дорожного покрытия	f_c
Асфальт твердый	0,0129	Снег твердый	0,023
Гладкий кирпичный или цементный пол	0,0185	Гравийное шоссе	0,034
Пол из некачественного кирпича	0,026	Бетон	0,0167
Битумное покрытие	0,0217	Лед и снег	0,0195
Брусчатка	0,0259	Деревянное торцевое	0,0185

Пример 1. Определить мощность приводного электродвигателя подъемника, если $m_f = 1000$ кг, $m_0 = 50$ кг, $v_z = 0,5$ м/с, $\eta_n = 0,9$, $\eta_m = 0,85$, высота подъема $H = 10$ м, время перед опусканием 10 с, время до следующего периода 60 с. Расчет будем вести без учета периодов пуска. Найдем мощность на подъем груза по формуле (4.40):

$$P_{под} = \frac{9,81 \cdot (1000 + 50) \cdot 0,5}{0,9 \cdot 0,85} = 6,7 \text{ кВт}$$

Определим время подъема:

$$t_{под} = \frac{H}{v} = \frac{10}{0,5} = 20 \text{ с}$$

Вычислим мощность на опускание по формуле (4.44):

$$P_{on} = 9,81 \cdot (1000 + 50) \cdot 0,5 \left(0,85 - \frac{1}{0,85} \right) = 1,7 \text{ кВт}$$

Найдем эквивалентную мощность при работе:

$$P_{экс} = \sqrt{\frac{P_{нод}^2 \cdot t_{нод} + P_{он}^2 \cdot t_{он}}{t_{нод} + t_{он} + t_n}} = \sqrt{\frac{6,7^2 \cdot 20 + 1,7^2 \cdot 20}{20 + 20 + 10}} = 4,4 \text{ кВт}$$

Определим фактическую относительную продолжительность включения $ПВ_\phi$:

$$ПВ_\phi = \frac{t_p}{t_p + t_{выкл}} = \frac{50}{50 + 50} = 0,5$$

Рассчитаем мощность электродвигателя если выбирается он из режима S1:

$$P_{S1} = P_{экс} \sqrt{\frac{ПВ_\phi}{ПВ_{ст}}} = 4,4 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{1}} = 3,06 \text{ кВт}$$

Рассчитаем мощность электродвигателя если выбирается он из режима S3 при $ПВ_{ст}=0,6$:

$$P_{S1} = P_{экс} \sqrt{\frac{ПВ_\phi}{ПВ_{ст}}} = 4,4 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{0,6}} = 4,01 \text{ кВт}$$

Пример 2. Необходимо рассчитать мощность приводного электродвигателя мобильного транспортного средства, если известно, что: диаметр колеса $D_k=1$ м; $\eta=0,8$; $i=2,5$; $m_{i.п}=2$ т; $m_T=1,5$ т; $f_c=0,0129$; $\omega_{дв}=75$ с⁻¹; перемещение идет по горизонтальному пути.

Определим статический момент сопротивления движению машины напольного транспорта, приведенный к валу электродвигателя по формуле (4.53):

$$\begin{aligned} M_c &= \frac{D_k \cdot g}{2i \cdot \eta} \left[(m_{i.п} + m_T) f_c \cos \alpha + (m_{i.п} + m_T) \sin \alpha \right] = \\ &= \frac{1 \cdot 9,81}{2 \cdot 2,5 \cdot 0,8} \left[(2000 + 1500) 0,0129 \cdot 1 + 0 \right] = 111 \text{ н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Найдем мощность необходимую на привод:

$$P = \frac{M_c \cdot \omega_{дв}}{\eta} = \frac{111 \cdot 75}{0,8} = 10,4 \text{ кВт}$$

Дальнейший выбор электродвигателя необходимо вести с учетом режима работы и типа источника питания.

4.3 Схемы автоматизации стационарных транспортеров

Автоматизацию работы стационарных транспортеров ведут обычно в функции пути механизма с применением различного вида конечных выключателей. Также используют реле времени для автоматизации по времени суток работы кормораздатчиков и навозоуборочных транспортеров. На современном этапе автоматизацию работы кормораздающих и навозоубирающих транспортеров проводят на основе контроллеров, которые дают возможность управлять практически всеми технологическими процессами в животноводческом помещении. Широко используются микроконтроллеры в кормоприготавливающих предприятиях, особенно, готовящих корм на многокомпонентной основе.

Обычно для управления электроприводом сельскохозяйственных установок выпускаются комплектные устройства управления типа ЯАА. Типовые схемы навозоуборочных транспортеров построены на широко распространенной коммутационной аппаратуре. Схема управления **навозоуборочным транспортером** типа ТСН-160 представлена на рисунке 4.69.

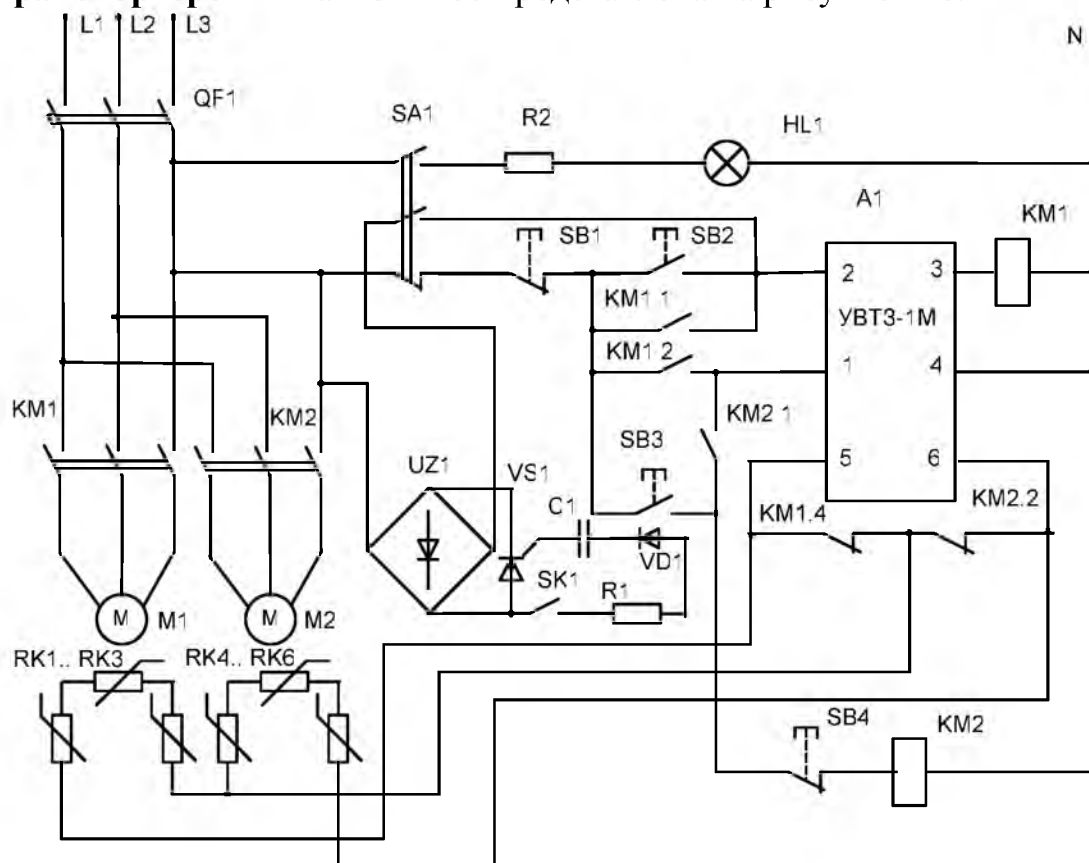


Рисунок 4.69 – Схема электрическая принципиальная электропривода навозоуборочного транспортера ТСН-160

Управление работой транспортера производится с помощью кнопок **SB1...SB4**. Первоначально запускается наклонный транспортер (**M1**) через силовые контакты магнитного пускателя **KM1**, а блокировочный контакт **KM1.2** подает напряжение на устройство встроенной температурной защиты

УВТЗ-1М (А1). При нормальной температуре обмоток двигателя и исправной цепи терморезисторов (позисторов) **РК1...РК6**, устройство **А1** оставляет замкнутыми свои контакты в цепи питания катушки магнитного пускателя **КМ1**. После этого только производится запуск горизонтального транспортера кнопкой **SB3** (такая последовательность необходима, чтобы не было завалов наклонного транспортера). Устройство **А1** контролирует температуру одновременно двух электродвигателей (**М1, М2**). При возникновении повышенной температуры обмоток статора одного из электродвигателей (например в следствии затормаживания ротора) резко повышается сопротивление позисторов (в каждом электродвигателе установлено по три позистора в каждой фазной обмотке). На такое повышение сопротивления реагирует устройство **А1**, которое отключает катушку магнитного пускателя **КМ1**. В последствии серийных выпусков устройства УВТЗ-1М модернизировались - выпускалось УВТЗ-1МГ (с герконовым контактом), УВТЗ-5М (с дополнительным блоком контроля фаз) и схемы видоизменялись. В данной схеме также предусмотрена защита электродвигателей в случае примерзания скребков наклонного транспортера в зимний период. Проверка производится переключением выключателя **SA1**, в случае значительно понижения температуры замыкается термоконтакт **SK1** и магнитный пускатель **КМ1** не включится.

Несколько измененная схема управления навозоуборочным транспортером **ТСН-3Б** приведена на рисунке 4.70.

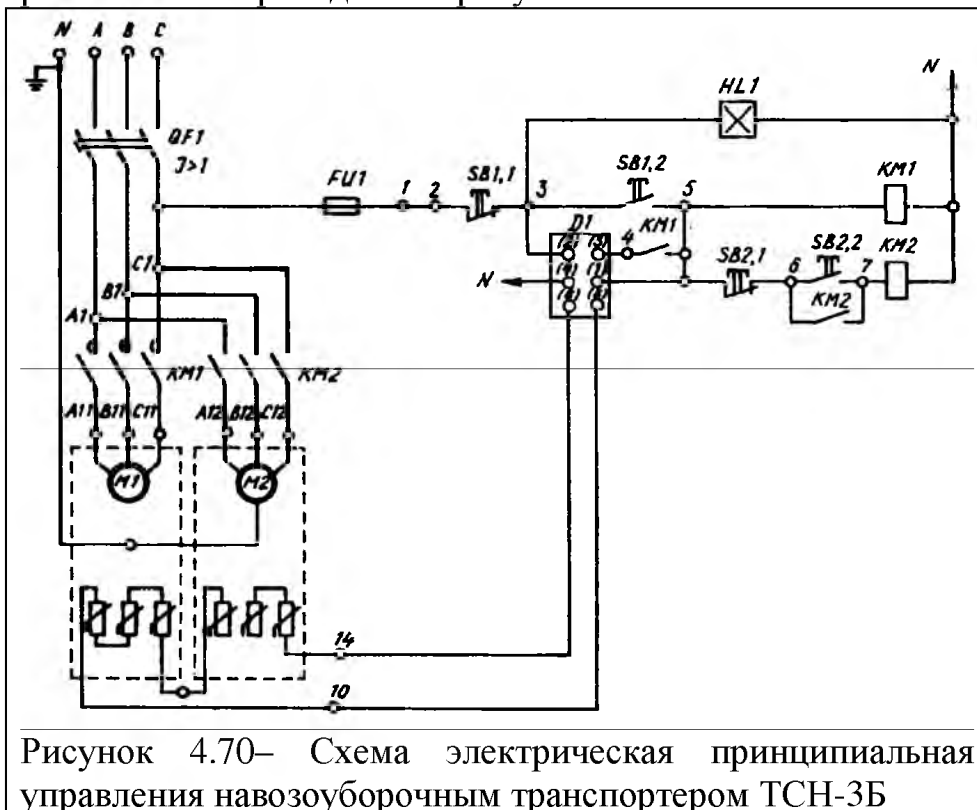


Рисунок 4.70— Схема электрическая принципиальная управления навозоуборочным транспортером ТСН-3Б

Схема управления канатно-скреперной установкой типа УСГ приведена на рисунке 4.71. Схема работает следующим образом. Подается напряжение питания с помощью автоматического выключателя **QF1** и, если идет управление в автоматическом

режиме, выключателя **S1**. Получает питание программное реле времени **КТ1**. Через первую выдержку времени замкнется замыкающий контакт с выдержкой времени на замыкание **КТ1** и получит питание катушка магнитного пускателя **КМ1**. Этот магнитный пускатель сработает, замкнет силовые контакты в цепи электродвигателя **М1** и он начнет движение «вперед», а блоки-

ровочные контакты магнитного пускателя **КМ1** зашунтируют контакты реле времени **КТ1**.

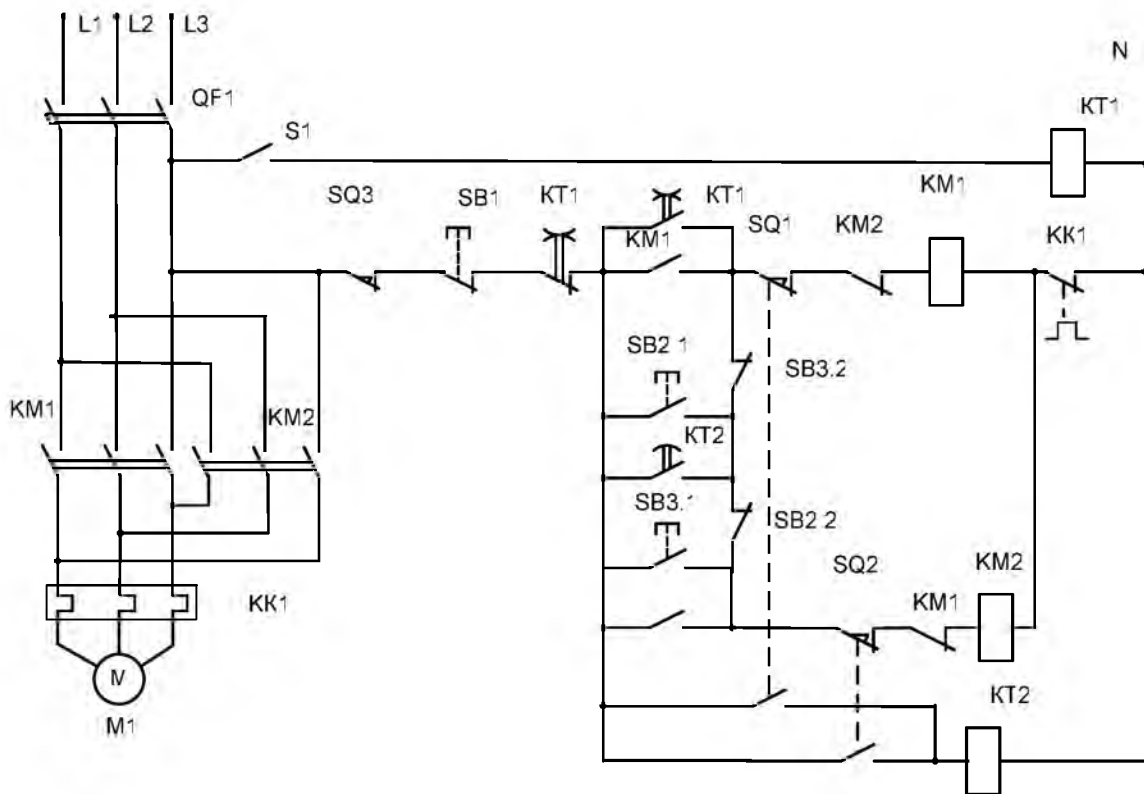
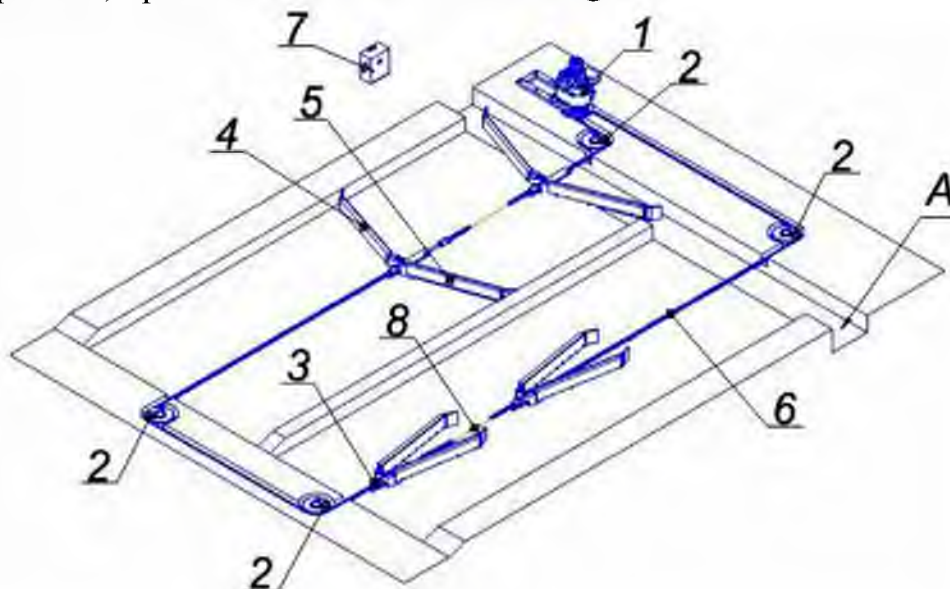


Рисунок 4.71– Схема принципиальная электрическая электропривода канатно-скреперной установки

Трос движется вместе с двумя загруженными скреперами к поперечному выгрузному каналу (рис. 4.72) и с одной части помещения навоз выгружается в канал, а со второй части – подгребается на освободившуюся часть. Два других скрепера - складываются и движутся в «холостую». Как только первый скрепер достигнет выгрузного канала, срабатывает конечный выключатель **SQ1**, при этом его размыкающие контакты разорвут цепь магнитного пускателя **КМ1**, а замыкающие подключат к сети реле времени **КТ2**. Через выдержку времени замыкающий контакт с выдержкой времени на замыкание реле **КТ2** замкнется. Так как цепь питания магнитного пускателя **КМ1** разомкнута (разомкнут **SQ1**), то получит напряжение катушка магнитного пускателя **КМ2** и электродвигатель **М1** получит реверс. Теперь два других скрепера проводят процесс очистки и выгрузки, а два первых – складываются и возвращаются в исходное состояние. При этом конечный выключатель **SQ1** возвращается в исходное состояние, реле времени **КТ2** обесточивается, но напряжение на катушку магнитного пускателя **КМ2** продолжает поступать через собственные блок-контакты, трос движется в обратном направлении «назад». При достижении крайнего положения второй группой скреперов срабатывает конечный выключатель **SQ2**, который опять подает напряжение на реле времени **КТ2**. Это реле повторно замыкает свои контакты с выдержкой времени на замыкание и теперь подается питание на магнитный пускатель **КМ1**. Движение транспортера идет в направлении «вперед» и загружен

практически только первый скрепер, так как до этого первый скрепер подгреб навоз до него. По достижению крайнего положения также сработает конечный выключатель **SQ1** и произойдет реверс. По окончании цикла программное реле времени **КТ1** разомкнет свои размыкающие контакты с выдержкой времени на размыкание и транспортер прекратит свою работу. Реле времени **КТ1** программируется на сутки, в зависимости от количества уборок. При следующей уборке работа транспортера будет происходить в такой же последовательности. При превышении силы натяжения каната (заклинивание скребок) срабатывает выключатель **SQ3**.



А - поперечная канал, который может быть расположен посередине животноводческого помещения; 1 - привод; 2 - устройство поворотное; 3 - ползун; 4 - скребок (левый); 5 - скребок (правый); 6 - цепь; 7 - пульт управления; 8 - штанги.

Рисунок 4.72– Общий вид скреперной навозоуборочной установки

Еще одна разновидность схемы управления скреперной установкой типа УС-12 представлена на рисунке 4.73.

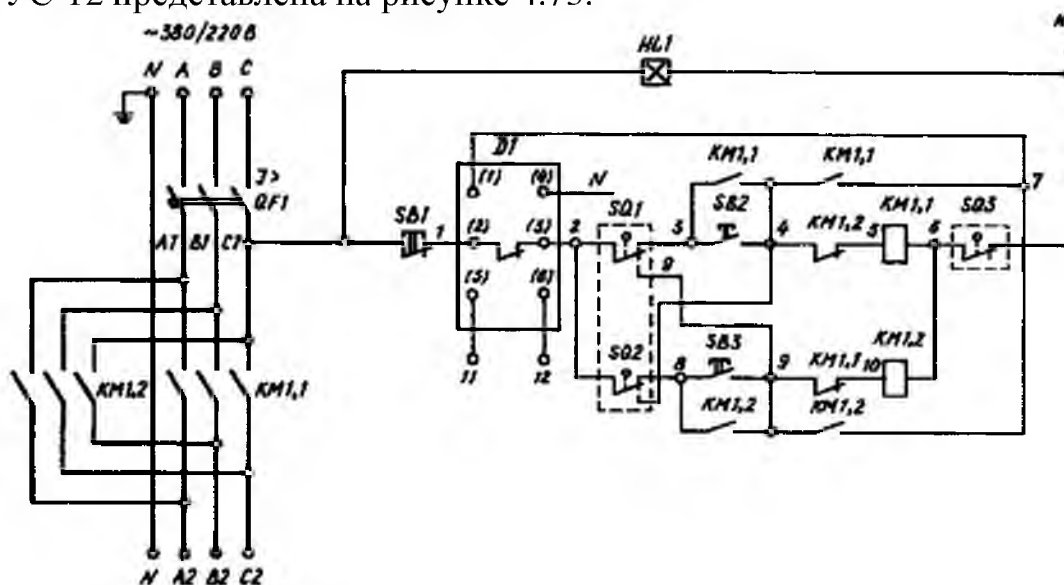


Рисунок 4.73 – Схема электрическая принципиальная скреперной установкой УС-12.

Технологическая часть оборудования совпадает с предыдущим примером. Также имеются три конечных выключателя, но дополнительно установлено устройство температурной защиты УВТЗ-1М. Реверсирование осуществляется с помощью конечных выключателей и кнопками управления. Терморезисторы на схеме не показаны. В случае их отсутствия, нужно к контактам 5 и 6 УВТЗ-1М подключить обычный резистор номиналом 0,2...1,3 кОм и рекомендуется подключить тепловое реле стандартным образом.

Для управления электрооборудованием в процессе раздачи корма используется схема, представленная на рисунке 4.74.

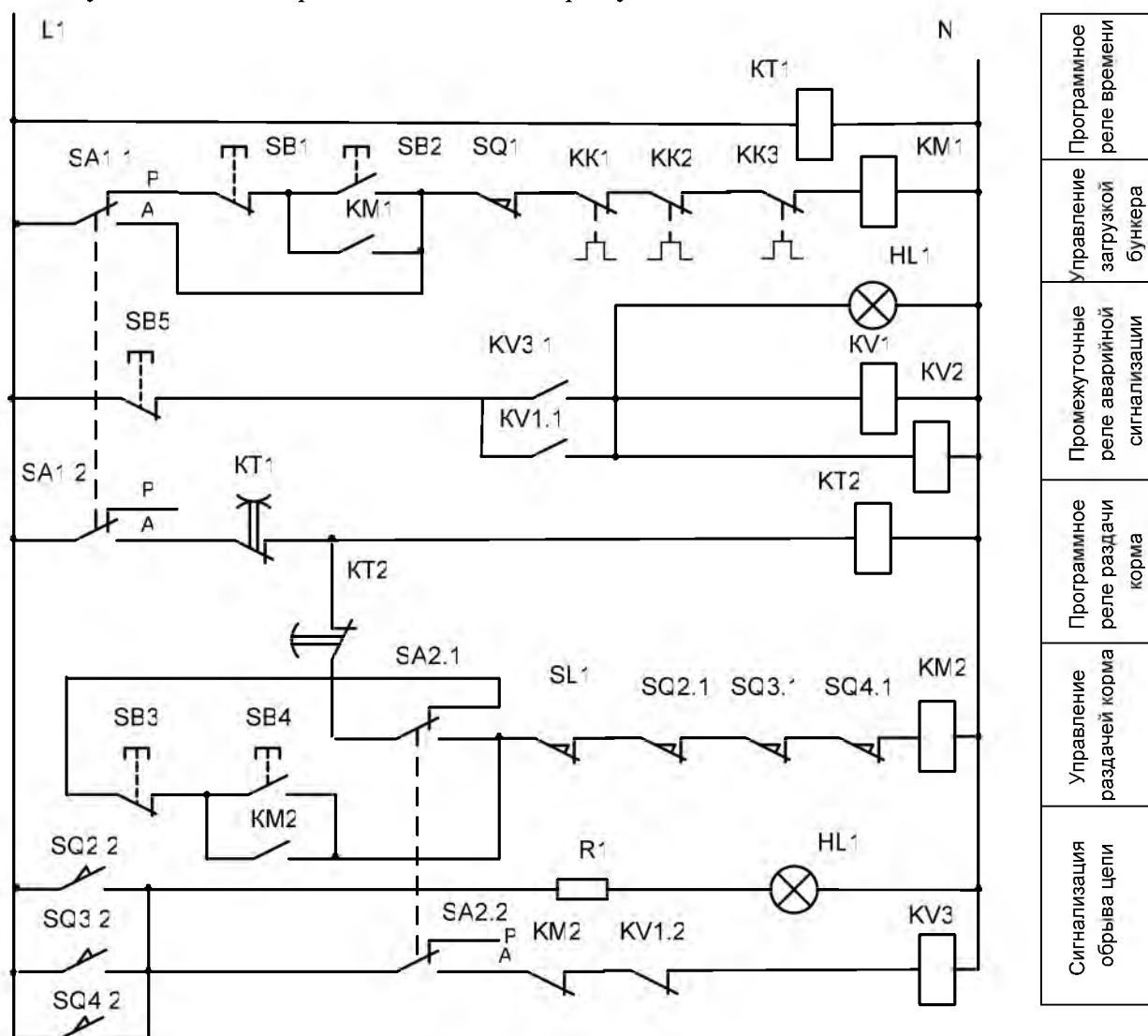


Рисунок 4.74 - Схема электрическая принципиальная кормораздачей в птичниках.

Данная схема предусматривает ручной и автоматический режимы работы, что производится с помощью переключателей SA1... SA2. Рассмотрим работу схемы в автоматическом режиме (переключатели стоят в положении А). После подачи напряжения на цепи управления получает питание программное реле времени КТ1, которое запрограммировано на включение кормораздачи по времени и в соответствии с технологическим процессом. Предварительно загружают кормом бункера клеточных батарей 1 (рис.4.75). От-

ключение всех механизмов линии загрузки кормов происходит при размыкании контактов конечного выключателя **SQ1**, установленного в последнем бункере батареи.

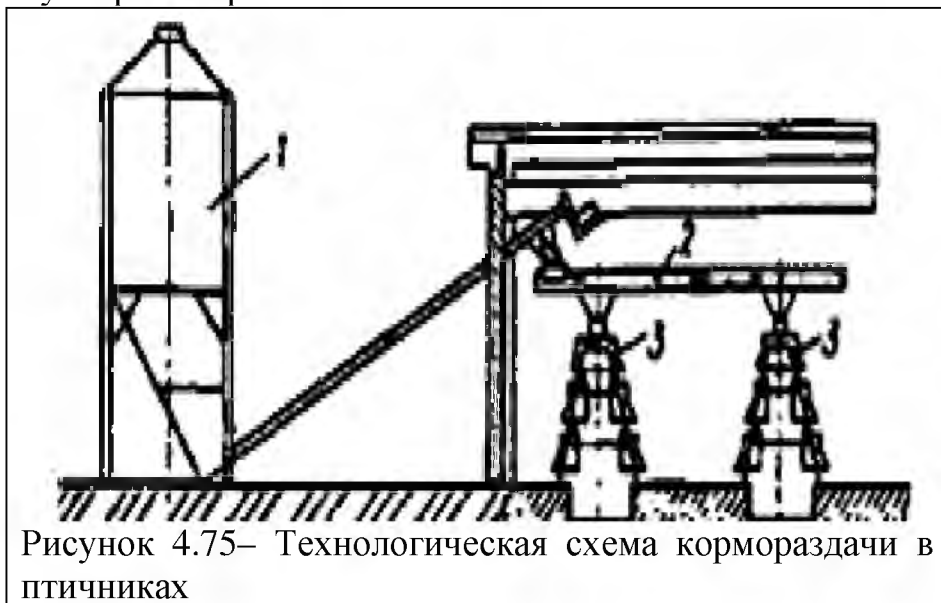
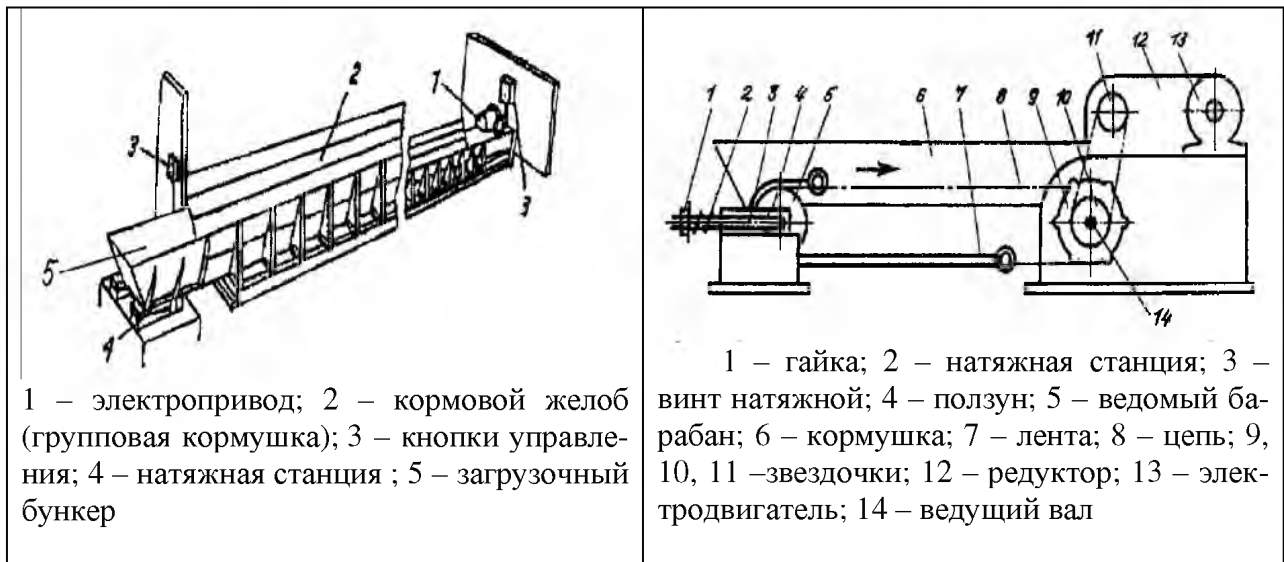


Рисунок 4.75– Технологическая схема кормораздачи в птичниках

При наступлении времени кормления срабатывает контакт с выдержкой времени на срабатывание и возврат реле времени **КТ1**. Получает питание реле времени **КТ2** и катушка магнитного пускателя **КМ2**. Включаются электродвигатели кормораздачи 2 всех батарей. Время их работы зависит от настройки реле времени **КТ2**. В птичниках напольного содержания птица раздача корма из бункера-дозатора в автокормушки 3 производится канатно-дисковым транспортером по команде от реле времени. Последняя в контуре кормораздатчика автокормушка — контрольная: датчик **SL1** уровня корма в ней отключает **КМ2** привода транспортера кормораздатчика. В случае обрыва цепи кормораздачи на любом ярусе одной из клеточных батарей размыкаются контакты конечных выключателей **SQ2.1**, **SQ3.1** или **SQ4.1**, обесточивается пускателя **КМ2** и двигатели транспортеров кормораздачи останавливаются. Одновременно через контакты **KV1.2** и **КМ2** включается реле **KV3**, а через контакты **KV3.1** — реле **KV1** и сигнальная лампа **HL1**, установленная в зале обслуживания.

Широко распространен на фермах, особенно КРС кормораздатчик ТВК-80Б, который предназначен для распределения корма по фронту кормления и уборки от остатков при реверсивном движении. Кормораздатчик (рис. 4.76, а) состоит из следующих узлов: на раме смонтирован кормовой жёлоб 2, по дну которого перемещается рабочий орган в виде цепи, половина которого имеет скребки, а у второй она отсутствует. Привод кормораздатчика 1 осуществляется от электродвигателя через редуктор и цепную передачу. Скорость цепи можно корректировать, изменяя положения звездочек: для механической погрузки 0,44 м/с, для ручной 0,11 м/с. Перед началом раздачи корма скребки размещаются под кормушкой. Загрузка корма в бункер может осуществляться любым мобильным раздатчиком.

Транспортер может комплектоваться подбункерным транспортером, для уборки остатков корма, и шнеком-питателем, установленном в приемном бункере, для подачи корма на раздатчик.



А) конструкция транспортера

б) технологическая схема

Рисунок 4.76 – Конструкция транспортера ТВК-80Б и его технологическая схема

Схема цепей управления электропривода такого кормораздатчика приведена на рисунке 4.77. Цепи управления имеют возможность автоматического и ручного режима работы. Для автоматического включения в течении суток установлено программное реле **КТ2**. Процесс управления происходит следующим образом. При наступлении времени кормления программное реле **КТ2** своим контактом с выдержкой времени на замыкание **КТ2.1** подключает катушки магнитных пускателей **КМ2** - возврат кормораздатчика в исходное положение и **КМ3** - запуск транспортера отходов. При достижении начального положения срабатывает конечный выключатель **SQ1**, отключается катушка **КМ2** и **КМ3**, транспортер отходов останавливается. Через следующий промежуток времени программного реле **КТ2** срабатывает контакт **КТ2.2**, подается напряжение на катушку магнитного пускателя **КМ1** (движение раздатчика «вперед») и на катушку **КМ4** (привод питателя кормов). При достижении крайнего положения раздатчиком (вышла вся лента и заполнилась кормом на всем фронте кормления) срабатывает конечный выключатель **SQ2**. В первую очередь отключается магнитный пускатель **КМ4**, останавливается электродвигатель питателя. Также получает питание реле времени **КТ1**, остатки корма догружаются на раздатчик, через промежуток времени срабатывает размыкающий контакт с выдержкой времени на размыкание **КТ1** и раздатчик останавливается – идет процесс кормления.

В следующий период кормления работа схемы возобновляется по вышеуказанному алгоритму. В данной схеме не показаны устройства защиты электродвигателей от аварийных режимов работы, чтобы не загромождать чертеж и сосредоточит внимание на основных функциональных операциях.

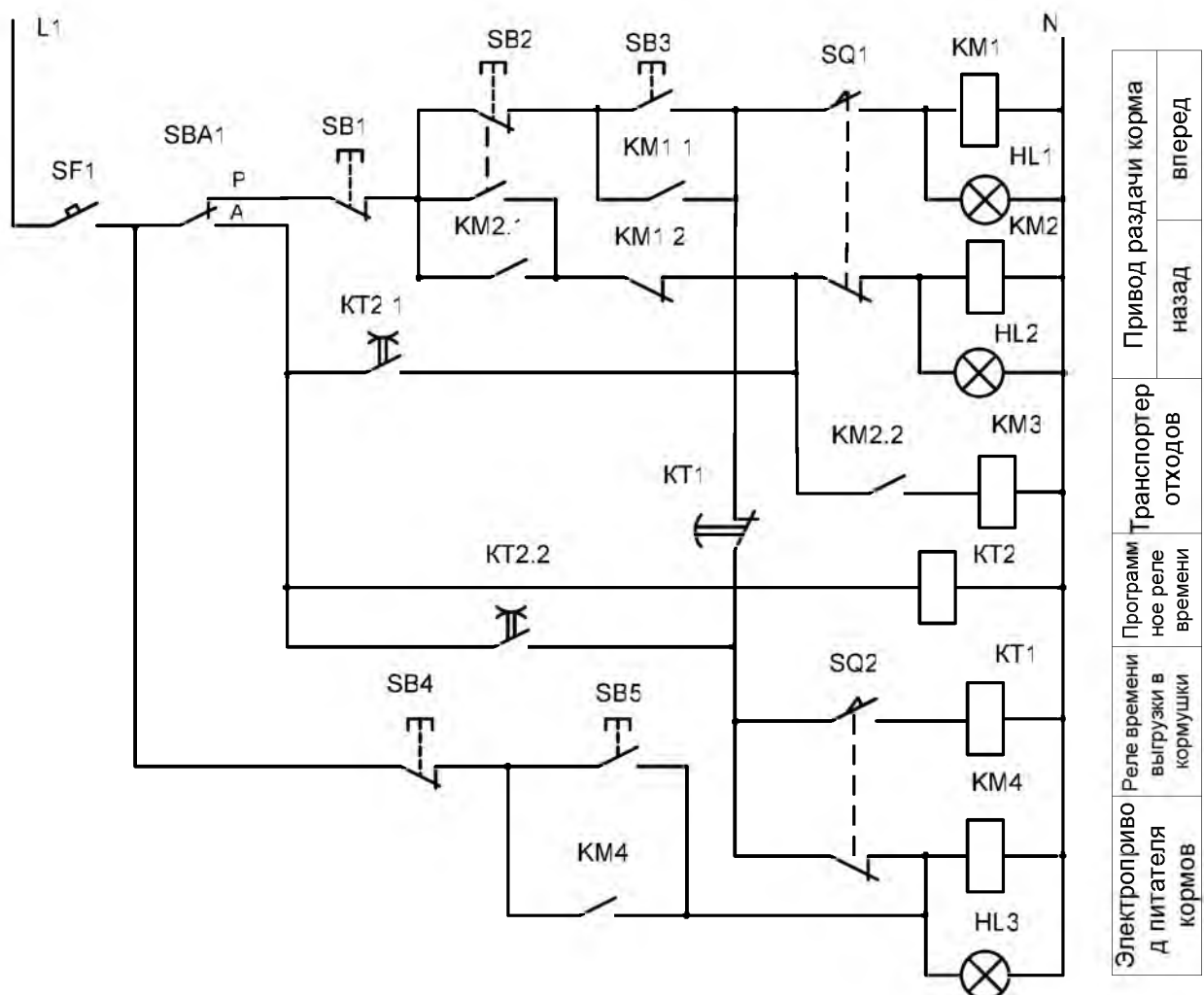


Рисунок 4.77 - Схема электрическая принципиальная управления кормораздатчиком ТВК-80Б.

Встречаются и более простые схемы управления кормораздатчиком ТВК-80Б, с меньшим уровнем автоматизации (без реле времени, без конечных выключателей), но имеющие дополнительные аппараты защиты от аварийных режимов. Кроме того комплектация кормораздатчика может иметь меньшее количество оборудования – отсутствовать транспортер уборки остатков корма, не будет шнека питателя и т.д.

Схема кормораздатчика типа РВК (рабочий орган – лента или цепь со скребками) представлена на рисунке 4.78. Управление производится следующим образом. При нажатии кнопки **SB2** получает питание реле времени **КТ1**, которое своими контактами мгновенного действия шунтирует кнопку «Пуск» и подает питание на звуковую предупредительную сигнализацию **НА1**. Через промежуток времени (после предупредительной сигнализации) срабатывает контакт с выдержкой времени на замыкание **КТ1.2**, получает питание катушка магнитного пускателя **КМ1** и запускается электродвигатель раздатчика, корм движется вдоль фронта кормления. После заполнения кормушек по всей длине срабатывает конечный выключатель **SQ1** и отключается электродвигатель раздатчика. Идет процесс поедания корма.

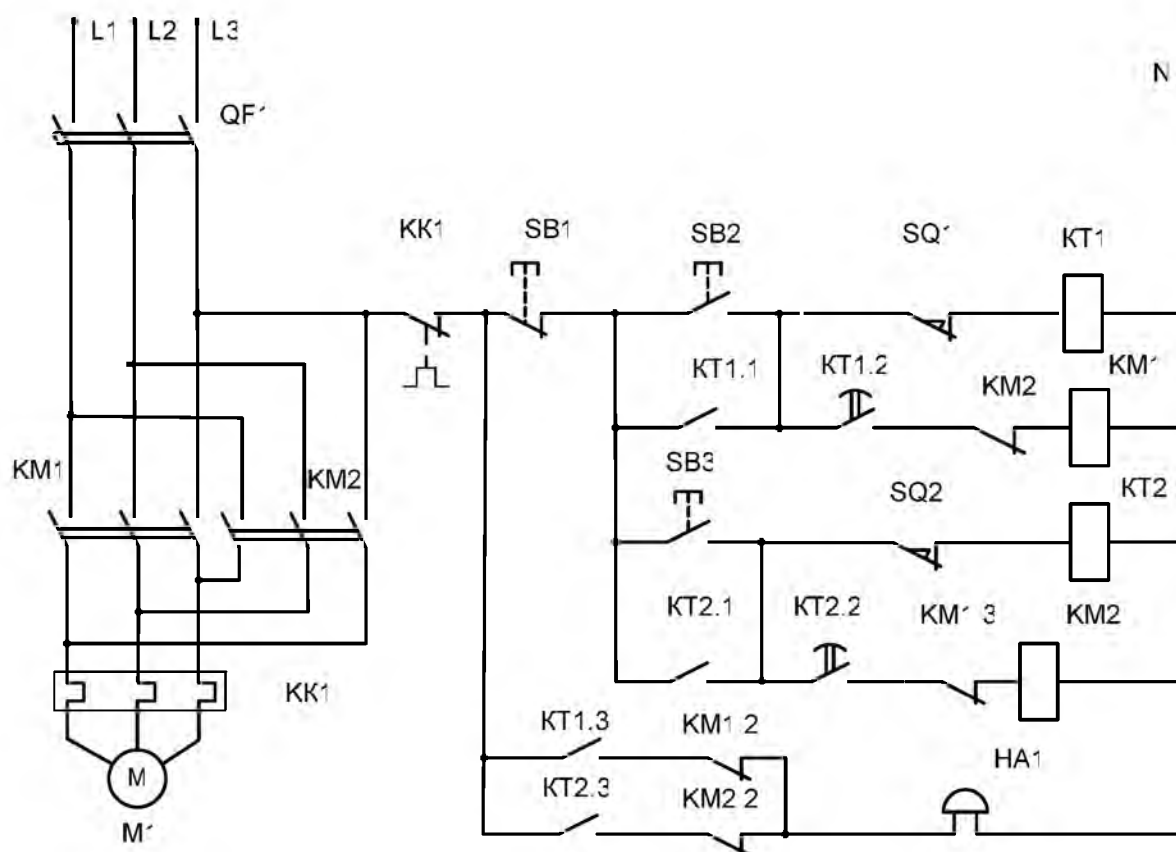


Рисунок 4.78 - Схема электрическая принципиальная электропривода кормораздатчика РВК

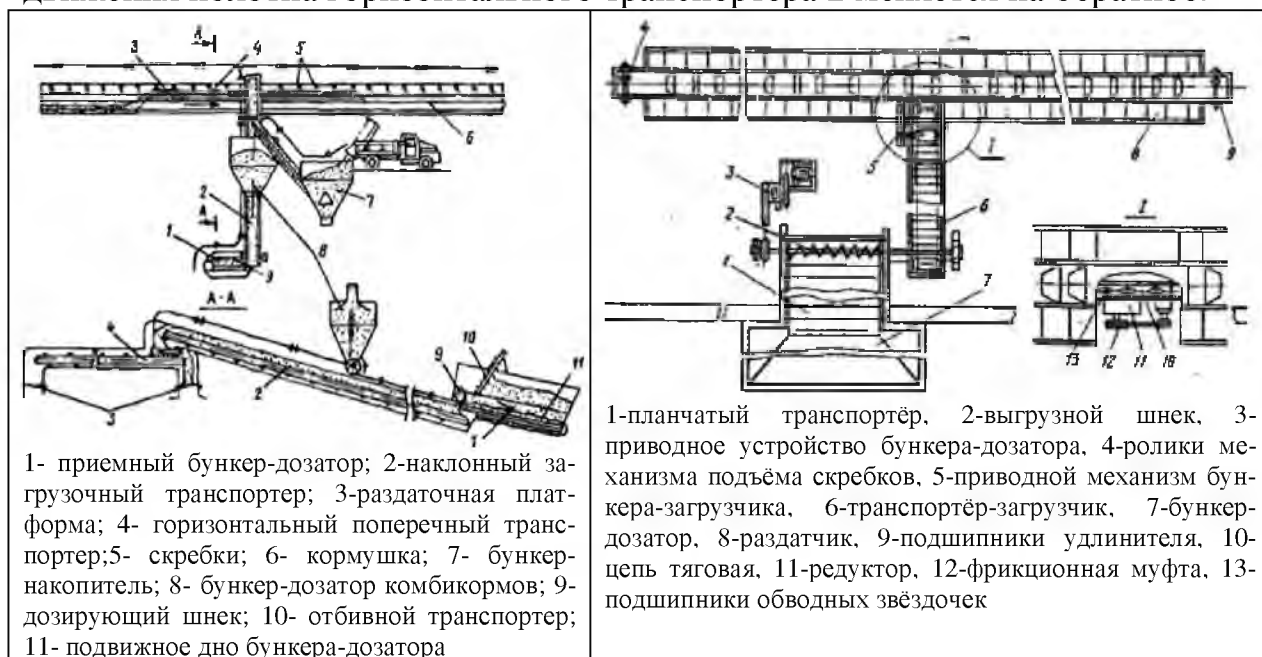
Перед началом следующего кормления нажимают кнопку **SB3**, подается напряжение на реле времени **KT2**, которое срабатывает и замыкает свои контакты мгновенного действия в цепи звуковой сигнализации **HA1**. Через определенное время замыкается контакт с выдержкой времени на срабатывание **KT2.2** и электродвигатель раздатчика получает реверсивное движение. Кормораздатчик движется «Назад» и очищается от остатков корма. Вернувшись в исходное положение срабатывает конечный выключатель **SQ1** и электродвигатель отключается.

Данная схема может быть использована и для управления кормораздатчиком ТВК-80 без электроприводов очистки корма и шнека-питателя, так как раздатчик РВК создан и выпускается взамен транспортеров ТВК-80Б.

Для раздачи корма на откормочных свинофермах и фермах КРС с двухрядным размещением кормушек применяют стационарные раздатчики РКС-3000 и РКУ-200 (рис. 4.79), которые унифицированы на 70%. Сходную технологическую схему имеет и кормораздатчик РК-50 (рис.4.80). Обычно в их состав входит приемочный шнековый бункер-дозатор, загрузочные наклонный и горизонтальный транспортеры и раздаточный транспортер.

Кормораздатчики выпускают в двух исполнениях: однорядный типа РКС-3000МI и двухрядный типа РКС-3000МII. Первый из них предназначен для свиноферм на 1000...2000 голов, второй — для ферм на 3000...4000 голов. Технологический процесс происходит обычно следующим образом (рис. 4.79, б). Корм из мобильного кормораздатчика или бункера дозатора

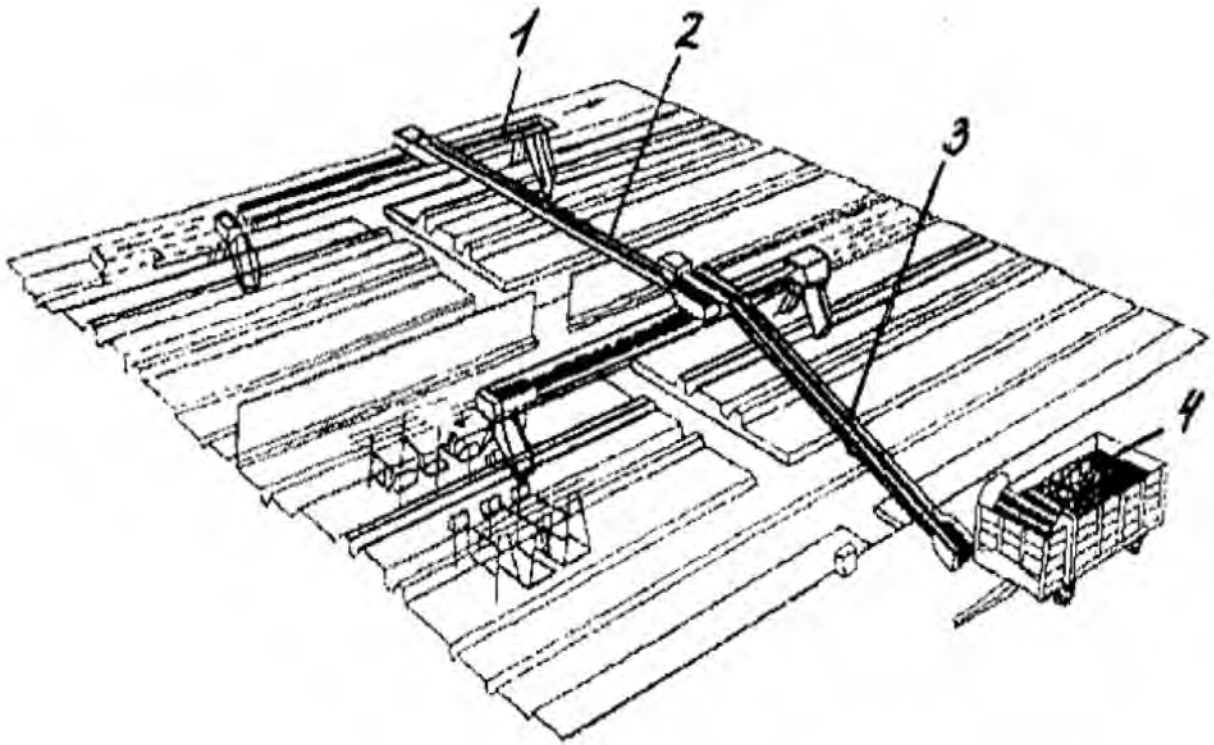
поступает в приемный лоток наклонного транспортера 3, а оттуда на поперечный транспортер 2, расположенный в центре помещения. Последний направляет поток корма на один из транспортеров-раздатчиков 1, движущийся из одной половины коровника в другую и сбрасывающий корм в кормушки первого обслуживаемого ряда. После его заполнения при обратном движении транспортера-раздатчика изменяют направление лотков для сброса корма во второй ряд кормушек и процесс раздачи повторяется. Раздаточная платформа совершает возвратно-поступательное движение вдоль всего фронта кормления, перемещаясь из одного крайнего положения в другое за каждый цикл работы наполовину длины кормушки. При движении платформы слева направо в левой половине скребки спущены, и корм ими сбрасывается с платформы в левую часть кормушки. В это время скребки в правой половине раздатчика приподняты и не препятствуют проезду платформы с кормом. Дойдя до крайнего правого положения, платформа меняет направление своего движения. Одновременно с этим срабатывает механизм переключения штанги, которая опускает скребки с кормом и поднимает скребки противоположной его половины. На правой стороне корм задерживается скребками, и когда платформа уходит из-под него, он падает в правую часть кормушки. В это же время постоянно работающий горизонтальный транспортер 2 начинает загружать кормом противоположный конец платформы, проходящий под его выгрузным окном. Таким образом, при движении платформы 1 одна ее часть под действием подвесных скребков освобождается от корма, а другая в это же время заполняется. Процесс циклически повторяется до полной выдачи животным установленной нормы корма. Второй ряд кормушек заполняется при включении в работу второй линии раздатчика. Для этого направление движения полотна горизонтального транспортера 2 меняется на обратное.



а) транспортер РКУ-200

б) транспортер РКС-3000М1

Рисунок 4.79– Технологические схемы платформенных кормораздатчиков



1 – транспортер-раздатчик кормов; 2 – горизонтальный поперечный транспортер; 3 – наклонный транспортер; 4 – мобильный кормораздатчик

Рисунок 4.80 – Технологическая схема кормораздатчика РК-50А

На рисунках 4.81, 4.82 представлены схемы силовая и управления двухрядным кормораздатчиком типа РКС-3000. Управление производится следующим образом. Первоначально выбирается режим работы: выгрузка в первый, второй ряд или пусконаладочные работы, что делается с помощью переключателя **SA1**. Данный переключатель имеет 4-ре положения: 1- выгрузка в первый ряд, работает первый платформенный кормораздатчик; 2 – возможность работы обеих платформ; 3 – работа только наклонного и горизонтального транспортера; 4 - выгрузка во второй ряд, работает второй платформенный кормораздатчик. Допустим переключатель установлен в первое положение. Нажимается кнопка **SB3** «Пуск, 1-й ряд», получает питание магнитный пускатель **KM1** (одна из катушек – в зависимости от того в каком положении находилась платформа и конечный выключатель **SQ1**) Одновременно получает питание катушка магнитного пускателя **KM3.1** и включается электродвигатель горизонтального поперечного транспортера. С помощью блокировочных контактов **KM3.1.1** шунтируется кнопка **SB3**. Далее через контакты **KM3.1.2** получает питание катушка магнитного пускателя **KM4** и запускается электродвигатель наклонного транспортера. С помощью кнопки **SB6** или **SB7** (возможен запуск с двух мест) подается напряжение на катушку **KM5** и включается электродвигатель бункера-дозатора. Идет процесс раздачи корма и платформа делает возвратно-поступательные движения, реверс производится с помощью конечного выключателя **SQ1**. При необходимости раздачи во второй ряд делается соответствующее переключение **SA1**.

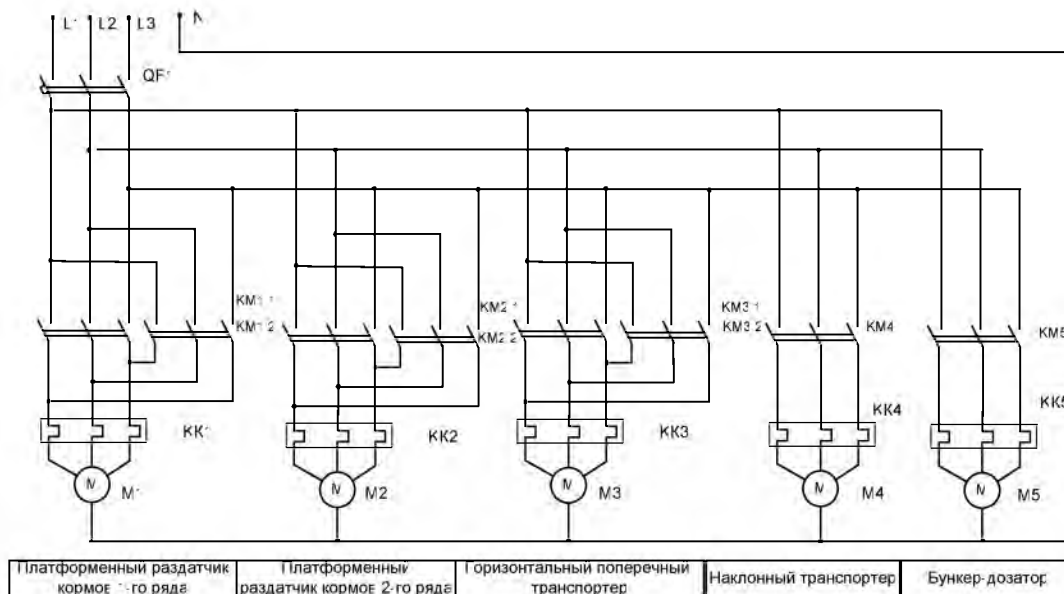


Рисунок 4.81 - Схема электрическая принципиальная силовых цепей кормораздатчика платформенного типа

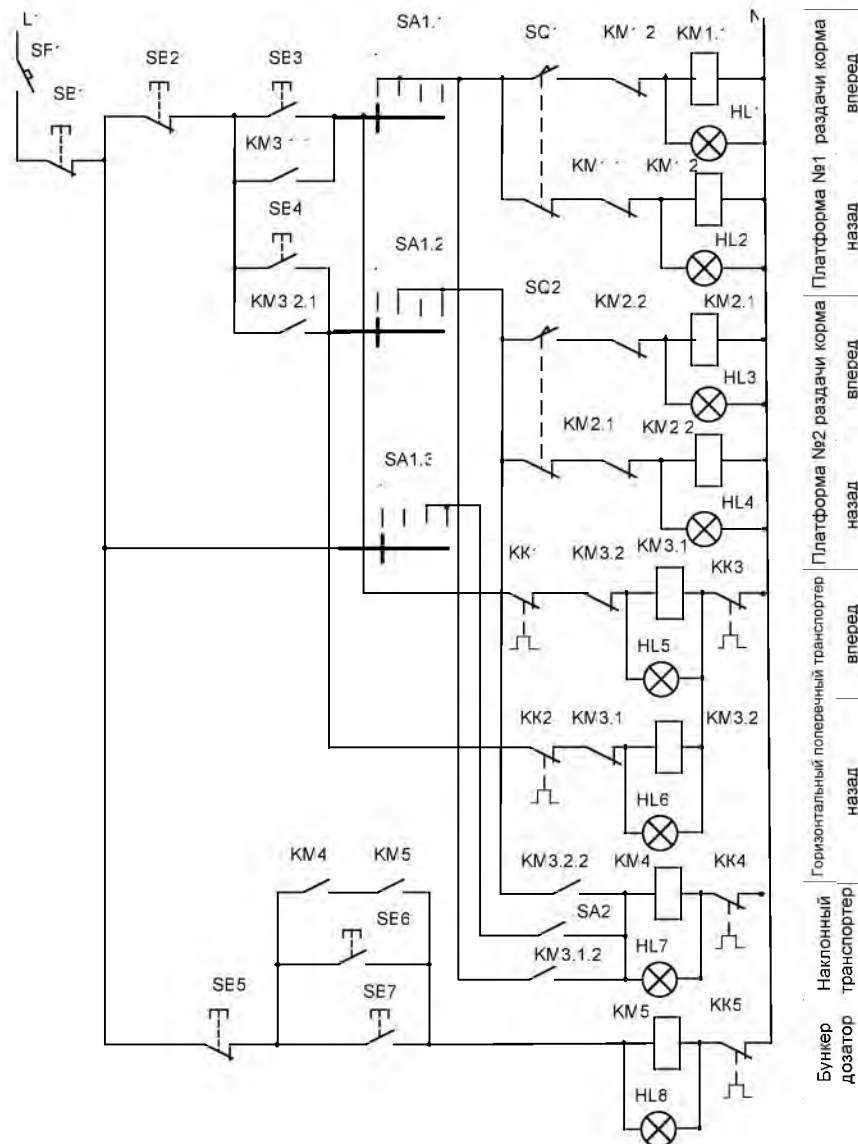


Рисунок 4.82 - Схема электрическая принципиальная цепей управления кормораздатчика платформенного типа

Используется схема управления однорядным кормораздатчиком РКС-3000, цепи управления представлены на рисунке 4.83. В схеме имеется программное реле времени **КТ1**, которое программируется на сутки. При установке переключателя **SA1** в положение $+45^\circ$, замыкаются контакты 2, 4, 6 – автоматический режим работы. После наступления времени кормления срабатывают замыкающие контакты с выдержкой времени на замыкание **КТ1**. При этом получит питание катушка магнитного пускателя **KM1**, который срабатывает и включает электродвигатель наклонного транспортера. Одновременно, через замкнутый контакт **KM1.2**, получит питание катушка магнитного пускателя **KM2** электродвигателя бункера-дозатора. Начинает поступать корм на технологическую линию. Как только первая порция корма начнет падать на платформу сработает датчик **SL1** и через замкнутый контакт **KM1.3** получит питание цепь катушки магнитного пускателя **KM3.1** и платформа начнет двигаться. Конечный выключатель **SQ1** будет периодически реверсировать движение платформы.

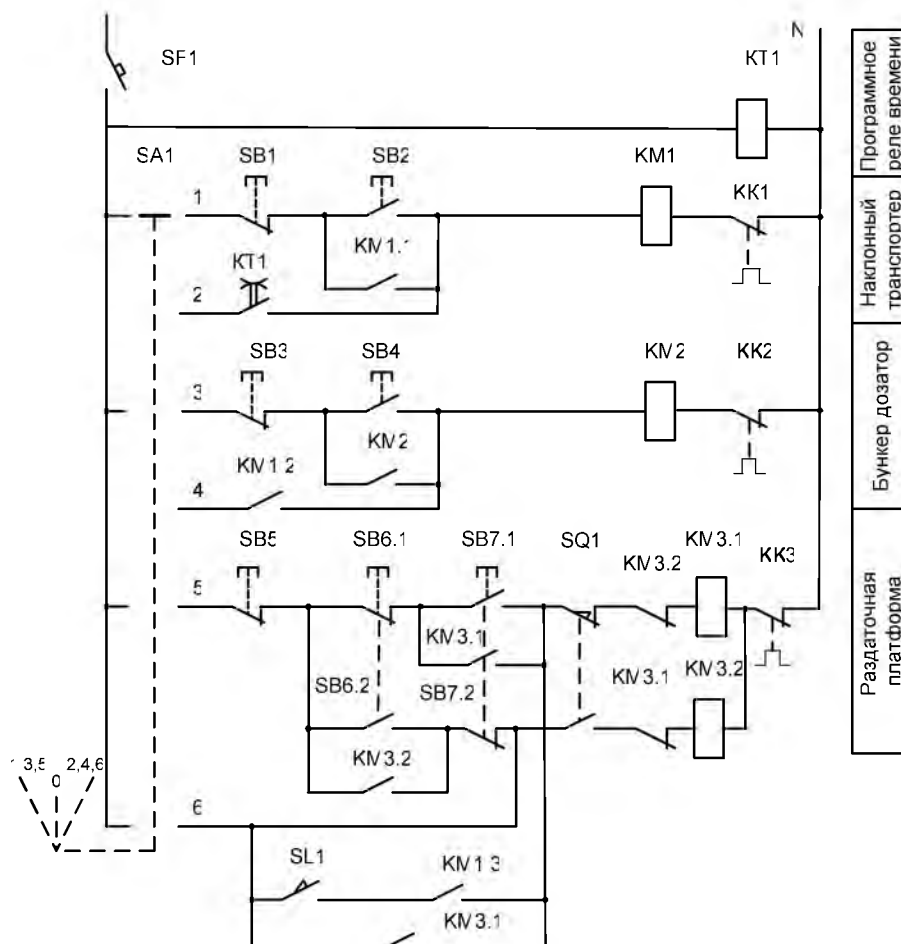


Рисунок 4.83 - Схема электрическая принципиальная цепей управления кормораздатчика типа РКС-3000

Отдельно необходимо рассмотреть принципы автоматизации вертикальных элеваторов (нории). Данные машины обычно работают в составе поточно-транспортных систем и от правильной, надежной работы зависит эффективность всего производства. Как правило, пункты переработки хранения

зерна, а также комбикормовые заводы имеют большую высоту производственных зданий и подачу продукта на верхние ярусы и этажи производят с помощью норий. При автоматизации нории предусматривается дистанционное включение и отключение, возможность перехода на местное управление, контроль скорости вращения барабана нории, сигнализация о работе, контроль обрыва и проскальзывания транспортной ленты, а также предусматриваются противозавальные блокировки в головке нории и башмаке нории. Для предотвращения завала в головке и башмаке нории устанавливается сигнализация уровня. При срабатывании датчика в головке нории необходимо отключить электродвигатель. Если срабатывает датчик уровня в башмаке, то он отключает механизм, подающий на норию продукт и идет ее очистка.

В качестве сигнализаторов уровня могут применяться устройства РСУ-1, которые предназначены для контроля пороговых уровней неабразивных (зерновое и незерновое растительное сырьё, мука, комбикорм, неагрессивные порошковые смеси, цемент, известь, стройматериалы и т. д.) сыпучих продуктов. Приборы имеют релейный выход, регулируемую задержку срабатывания от 1 до 20 сек. Монтаж производится на противоположные стороны бункера (рис. 4.84). При этом в подготовленные отверстия устанавливаются генератор и приёмник радиосигнала. Когда пространство между ними заполняется продуктом, уровень сигнала в приёмнике резко падает, вызывая срабатывание прибора "на подпор". Чувствительность датчика уровня регулируется так, чтобы он работал сквозь слой налипшего материала. Максимальная толщина слоя зависит от влажности и плотности продукта, содержания в нём металлических примесей и она может составлять от 10-15 мм (для влажных или металлосодержащих веществ) до 300-500 мм (для легких сухих материалов). Поэтому прибор легко настроить так, чтобы он не давал ложных срабатываний на пыль, налипание, "залегание" продукта на сходах и т. д.

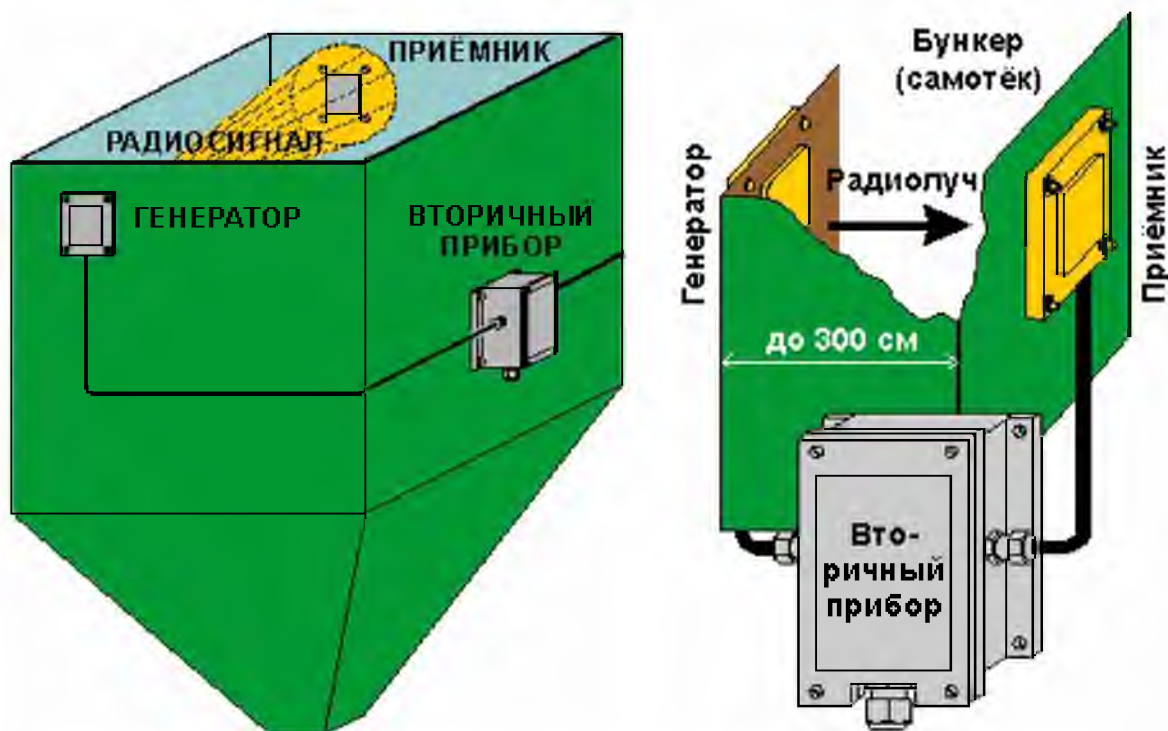


Рисунок 4.84 – Монтаж микроволнового сигнализатора уровня РСУ-1

Пример установки датчиков уровня приведен на рисунке 4.85.



Рисунок 4.85– Установка датчика уровня в бункере и контроль подпора в головке нории

По правилам взрывобезопасности нории должны быть оснащены реле контроля скорости, датчиками подпора и сбегаания ленты. Датчики ДС-2 предназначены для контроля сбегаания ленты с приводного и натяжного барабанов одиночной или сдвоенной нории. Такие датчики реагируют на приближение и удаление ленты. Они могут использоваться для контроля расстояния до других движущихся механизмов. ДС-2 представляют собой микроволновые радары, принцип действия основан на эффекте Допплера. При движении продукта частота отраженного радиосигнала отличается от выходной. Разность частот фиксируется и если превышает установленный уровень, то приводит к срабатыванию канала контроля движения. Часть сигнала проходит сквозь поток и поступает в выносной детектор. Когда объект будет заполнен продуктом, амплитуда напряжения в приемнике упадет, вызывая срабатывание канала контроля подпора. С помощью датчика РДДП-01 возможен контроль объектов размером до 1.5 метров.

Устанавливаются датчики снаружи на короб нории в подготовленные отверстия, направляют на ковши радиолуч и анализируют отражённый от них сигнал. При пороговом изменении расстояния до ковшей или при появлении перед прибором ДС-2 слоя продукта («подпор») устройство переключает выходной контакт. Расстояние от датчика ДС-2 до ковшей может составлять от 3 до 30 см. Задержка срабатывания ДС-2 – 4...6 сек., а у ДС-2-2 время задержки регулируется от 0,5 до 6 сек. Порог срабатывания по расстоянию задается в пределах от 2 до 8 см. Места установки датчиков и условная схема включения представлены на рисунке 4.86.

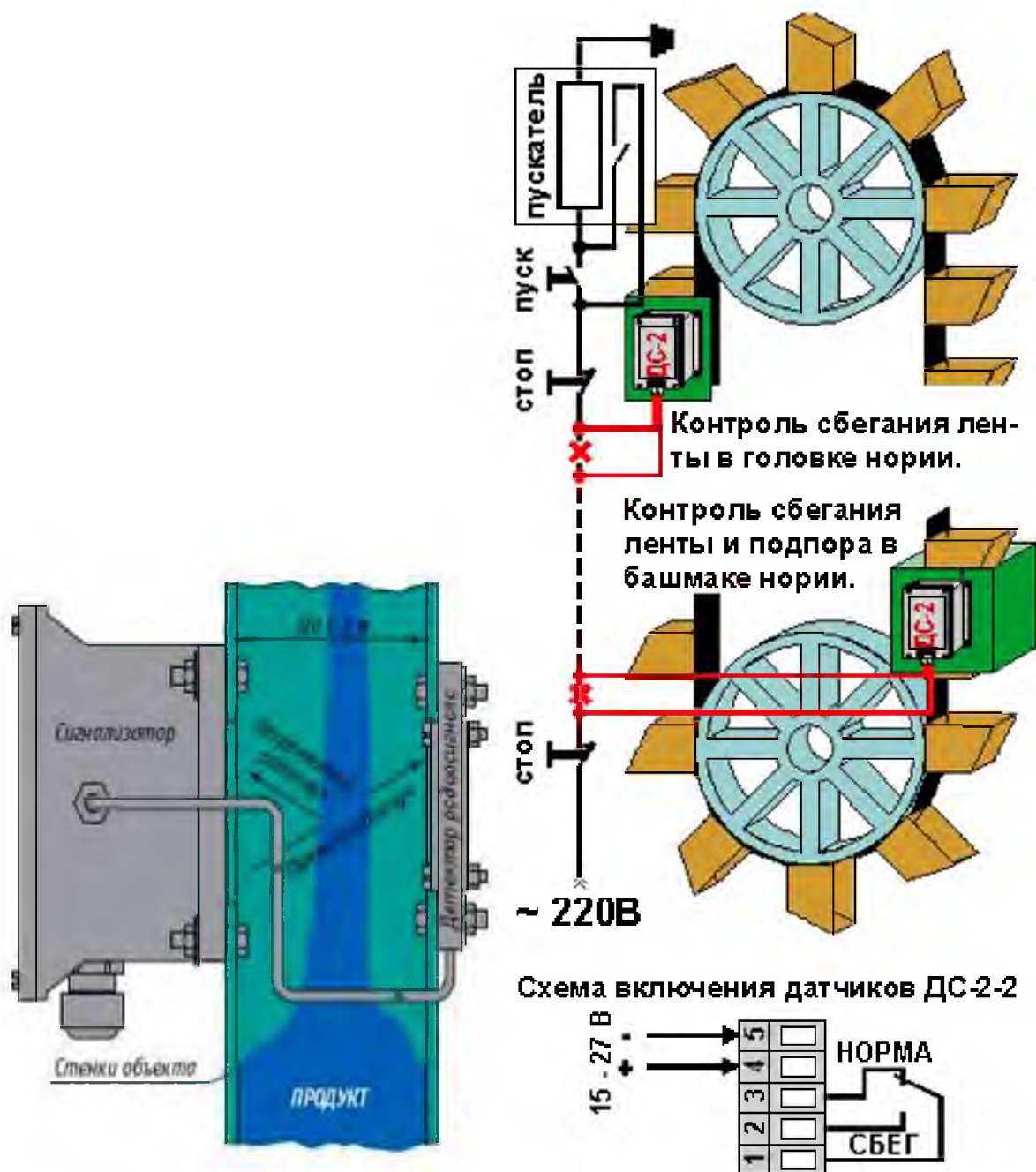


Рисунок 4.86 –К принципу действия датчиков ДС-2, места их установки с условной схемой включения в состав электропривода

Для контроля скорости могут применяться реле РДКС (рис.4.87). Проскальзывание или обрыв ближайшей ленты вызывает их срабатывание. Приборы **РДКС-01** представляют собой микроволновые радары, предназначенные для контроля скорости движения норий (в том числе сдвоенных), ленточных конвейеров, других промышленных установок. Первичный преобразователь **РДКС-01ПП** (устанавливается в отверстия на коробе или защитном кожухе механизма) излучает в направлении движущейся ленты радиосигнал, который, отражаясь обратно, несет в себе информацию о скорости движения конвейера. Эта информация по двухпроводной линии поступает в реле скорости **РДКС-01РС** (обычно монтируется в электрощитовом помещении). Прибор отклю-

ет конвейер при критическом отклонении его скорости от номинальной. Линия связи длиной до 300 м может проходить любым контрольным проводом (сечением от 0,25 до 4 мм²) совместно с силовыми цепями по общим кабельным мостам. **РДКС-01** контролирует движение механизмов с номинальной скоростью от 0,4 до 4 м/с. Порог срабатывания выставляется в пределах от 10 до 30%. Выходным сигналом являются контакты реле, способные коммутировать ток до 2 А при напряжении до 250 В. Задержка срабатывания (1...15 сек.) учитывает время на запуск и набор скорости конвейера.

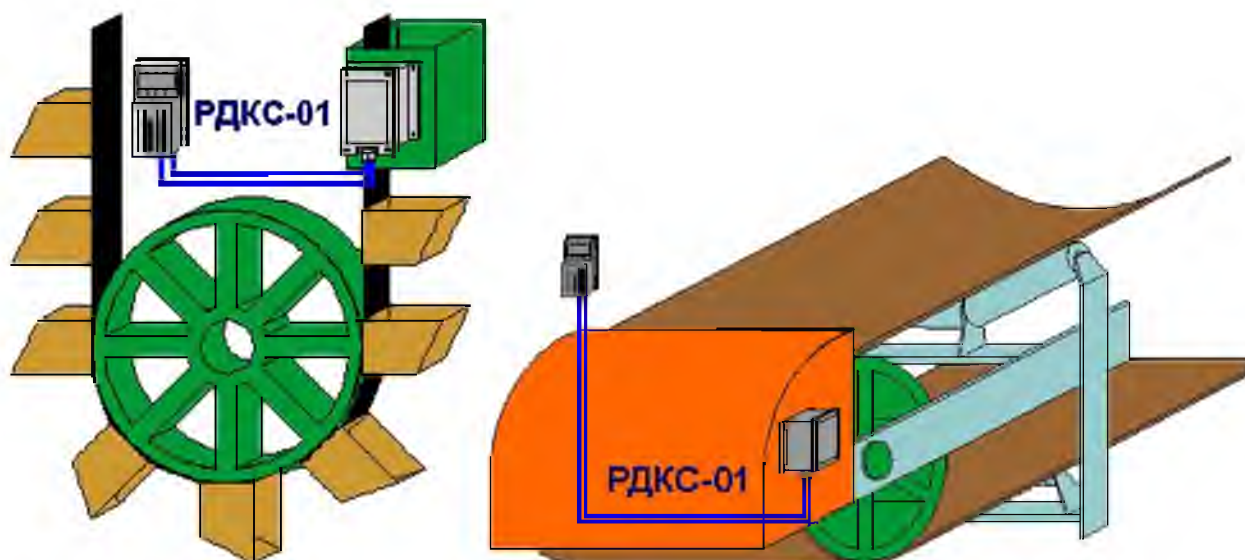


Рисунок 4.87 - Места установки датчиков контроля скорости **РДКС-01**

Внешний вид прибора контроля скорости и изображение установки его составных частей на объекте автоматизации и в щите управления представлен на рисунке 4.88.



Рисунок 4.88 - Внешний вид прибора контроля скорости и изображение установки его частей на объекте автоматизации и в щите управления

Схемы подключения датчиков в состав электропривода норий представлены на рисунках 4.89, 4.90.

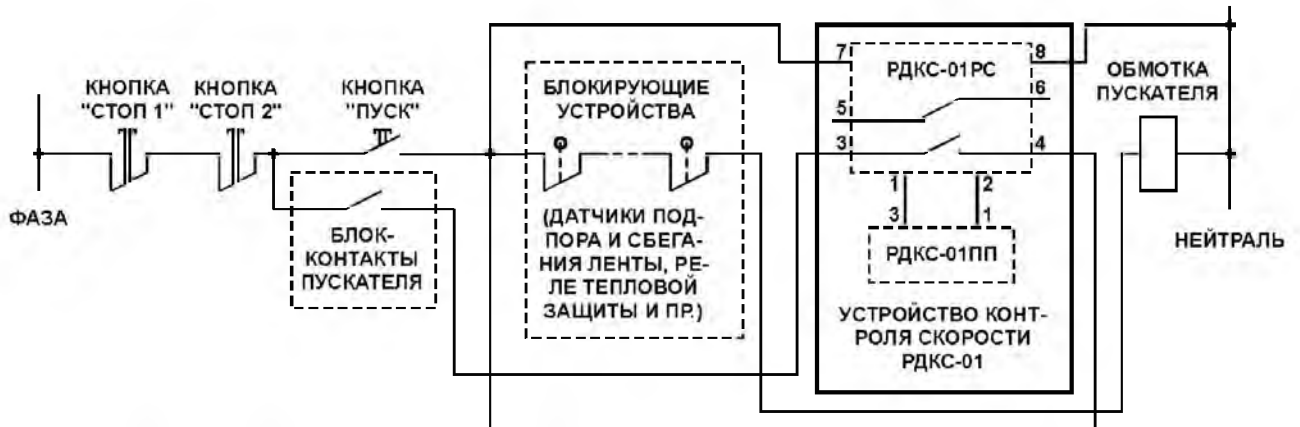


Рисунок 4.89 - Пример включения РДКС-01 в схему блокировки автономного транспортного средства.

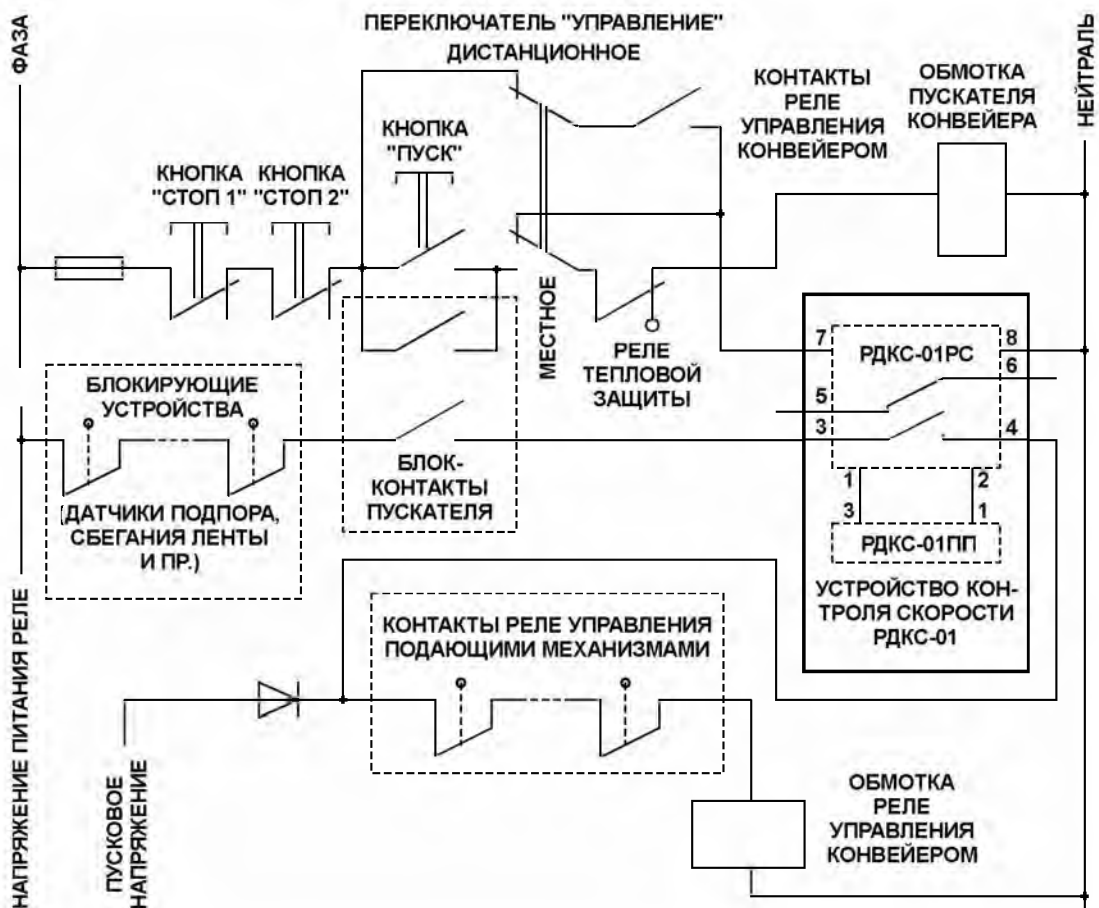


Рисунок – 4.90 - Пример включения РДКС-01 в схему поточной линии.

При автоматизации работы норий и горизонтальных транспортеров применяют также датчики движения, например, РДД. Датчики движения РДД-02 и РДД-позволяют системе управления «видеть» прохождение продукта через перерабатывающие машины, то есть контролировать весь ход технологического процесса от приема сырья до выпуска готовой продукции. Управляя отключением незагруженных механизмов, предотвращая попада-

ние продукта в воздухопроводы аспирационных сетей, датчики движения дают возможность экономить сырьевые ресурсы и электроэнергию. Кроме этого, они могут быть использованы для контроля за движением: шлюзовых затворов, цепных конвейеров, а также любых других электрифицированных машин. Например, установка датчика движения на цепной конвейер позволит остановить его при обрыве цепи, таким образом, не даст разрушить механизм и выйти из строя электродвигателю.

Принцип действия аналогичен устройству контроля скорости РДКС-01, то есть движущийся объект вызывает появление электрического сигнала на выходе микроволнового приемо-передающего модуля. Вид с местом установки на транспортере приведен на рисунке 4.91. Конструкция датчика РДД позволяет устанавливать его на продуктопроводы диаметром от 50 мм. Выходным каскадом прибора является электронный ключ, защищенный от короткого замыкания в цепи нагрузки.



Рисунок 4.91 - Места установки датчика движения скорости РДД

Имеются и комплексные устройства контроля и автоматики для норий, например, система контроля **СКН-2**. Данная система включает: электронный блок, пять емкостных датчиков ДЕ-1-П, индуктивного датчика положения ДПИ-1-18. Отключение привода происходит при: смещении ленты на натяжном барабане (датчики смещения 1 -4, рисунок 4.92), пробуксовке ленты на натяжном барабане (датчик скорости 5), переполнении приемного бункера (датчик подпора 6). В СКН-2-01 в качестве электронного устройства используется сигнально-блокировочный искробезопасный блок МСБИ-2-60-Н. В СКН-2-02 в качестве электронного блока используется устройство блокировки насоса УБН-4М (рис. 4.93).

Все элементы автоматизации работы норий направлены на повышение надежности работы этих машин и на создание режимов работы с наименьшим энергопотреблением. Необходимо также отметить, что данный тип механизмов чаще всего работает в составе технологических линий и качество функционирования данных машин влияет на качество работы всей поточной линии.

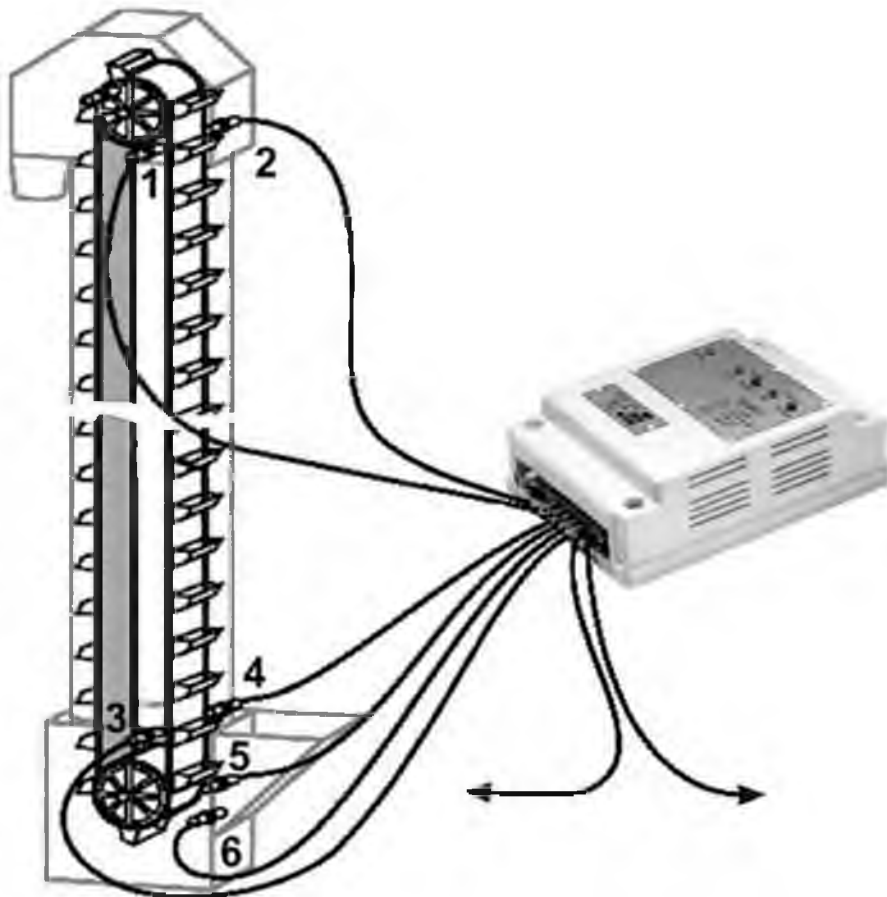
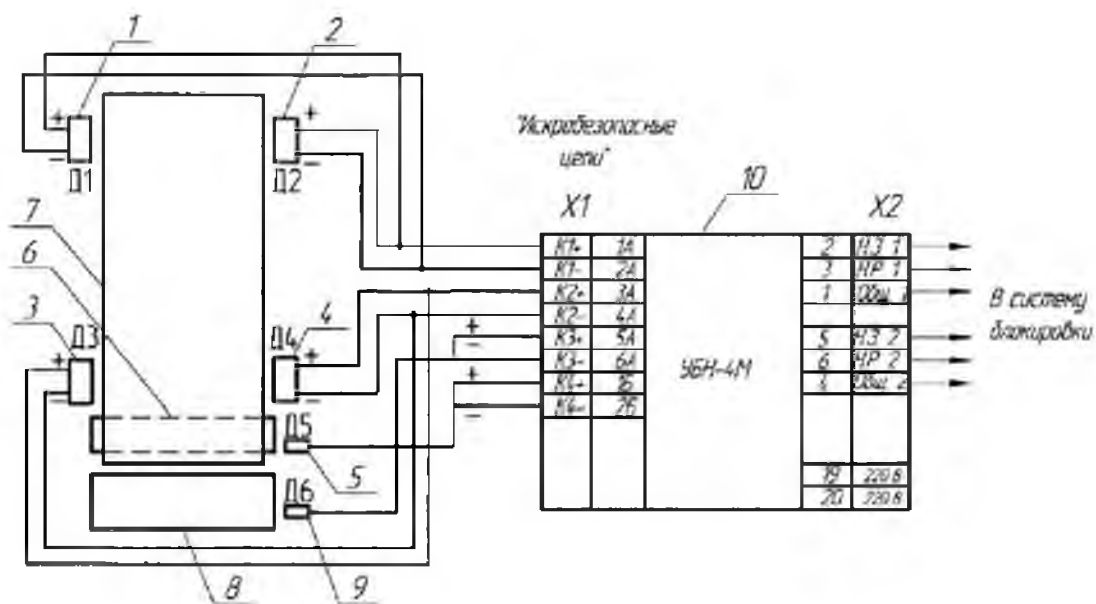


Рисунок 4.92– Схема подключения системы контроля норий СКН-2

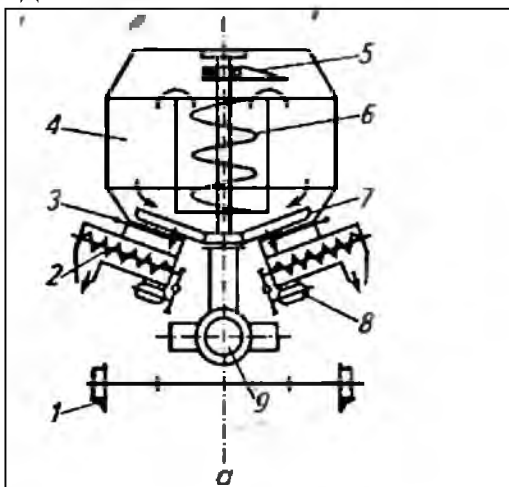


1, 2, 3, 4 – датчики смещения (ДЕ-1-П-2); 5 – датчик скорости (ДПИ-1-18);
6 – натяжной барабан норий; 7 – лента норий; 8 – нижняя головка норий;
9 – датчик подпора (ДЕ-1-П-2); 10 – устройство УБН-4М.

Рисунок 4.93 -Электрическая схема соединений подключения УБН-4М к датчикам норий

4.4. Схемы управления мобильных транспортных машин и способы их автоматизации

Для раздачи влажных кормовых смесей на свинофермах используется **кормораздатчик-смеситель КС-1,5** (рис.4.92), который перемещается по рельсовому пути. На кормораздатчике установлены четыре асинхронных двигателя для привода рабочих органов. В бункер 4 загружаются компоненты кормосмеси и разравниватель 5 распределяет корм по бункеру, а мешалки 6 и 7 перемешивают его. После перемешивания заслонки дозирующих устройств 3 устанавливаются в определенное положение. Для запуска электродвигателя *M2* тележки нажимают кнопку *SB4* (рис.4.93) и тележка начинает двигаться.



1- колесная пара; 2 – выгрузный шнек; 3 – дозирующее устройство; 4 – бункер; 5 – разравнивающее устройство; 6,7 – шнековая и лопастная мешалки; 8 – привод выгрузного шнека; 9 – привод мешалок

Рисунок 4.92– Кинематическая схема кормораздатчика КС-1,5

Оператор нажимает педаль тормоза, что приводит к размыканию контактов конечного выключателя *SQ2*, отключается электродвигатель *M2* и под действием ленточного тормоза тележка останавливается. Раздача корма может производиться в одну кормушку или в обе одновременно, что производится с помощью кнопок *SB6* и *SB8*. При отпускании педали тормоза двигатель тележки уже включается без нажатия пусковой кнопки, так как она зашунтирована контактами магнитного пускателя *KM5*. Если на пути движения встречается посторонний предмет или препятствие, то специальный выступ на корпусе (щуп) в него упирается и конечный выключатель *SQ1* срабатывает, его контакты размыкаются в цепи питания катушки магнитного пускателя *KM2* и электродвигатель *M2* отключается. После того, как закончится корм в бункере, кнопкой *SB3* останавливают электродвигатель тележки, а также отключают раздаточные шнеки кнопками *SB5* и *SB7*. После этого реверсируют движение тележки кнопкой *SB9*.

Кормораздатчик КЭС-1,7 имеет вместимость бункера $1,7 \text{ м}^3$ и передвигается со скоростью $0,5 \text{ м/с}$. Кормораздатчик предназначен для раздачи готовых полнорационных кормосмесей на свинофермах с производительностью на сухих кормах – $16...37 \text{ т/ч}$, на влажных – $31...62 \text{ т/ч}$. Автоматизированная линия с кормораздатчиком средства доставки корма, систему загрузки, электромобильный раздатчик с кабельным лотковым питанием, передвигающийся по рельсам эстакады. Кормораздатчик КЭС-1,7 предназначен для раздачи в две рядом расположенные кормушки при движении над кормушками. Принципиальная электрическая схема кормораздатчика КЭС-1,7 представлена на рисунке 4.94.

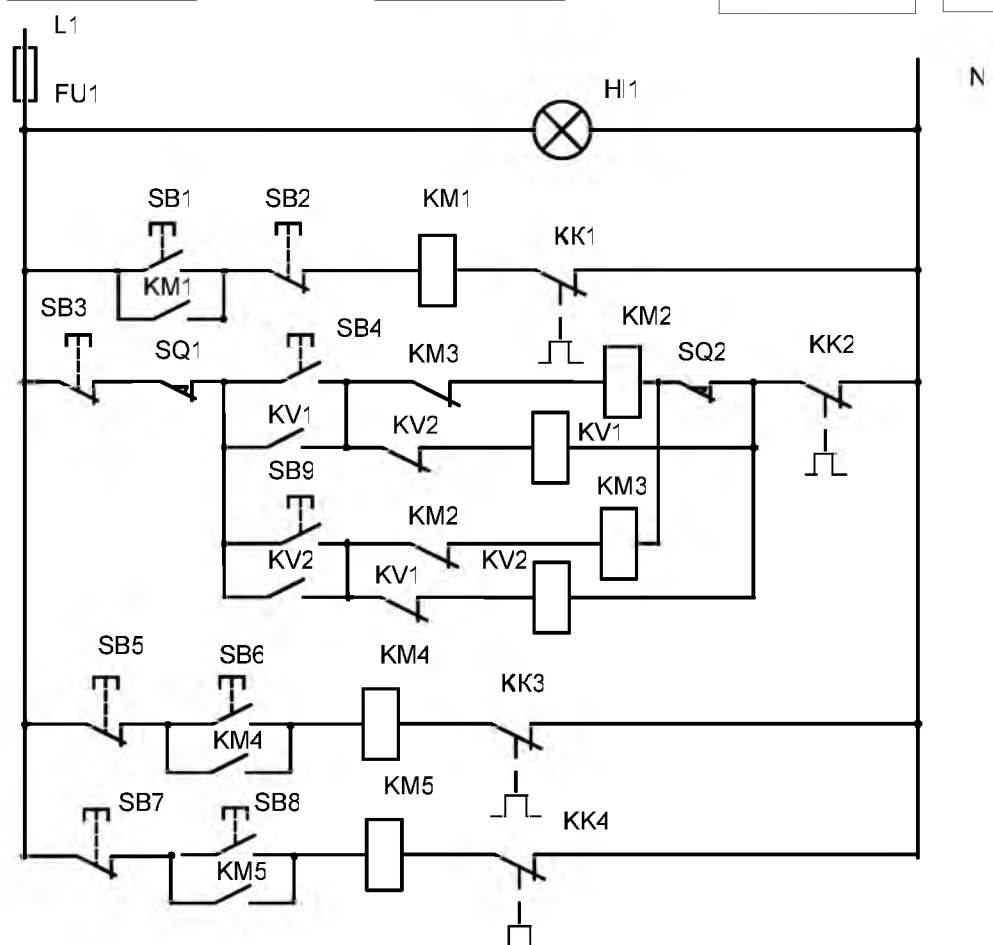
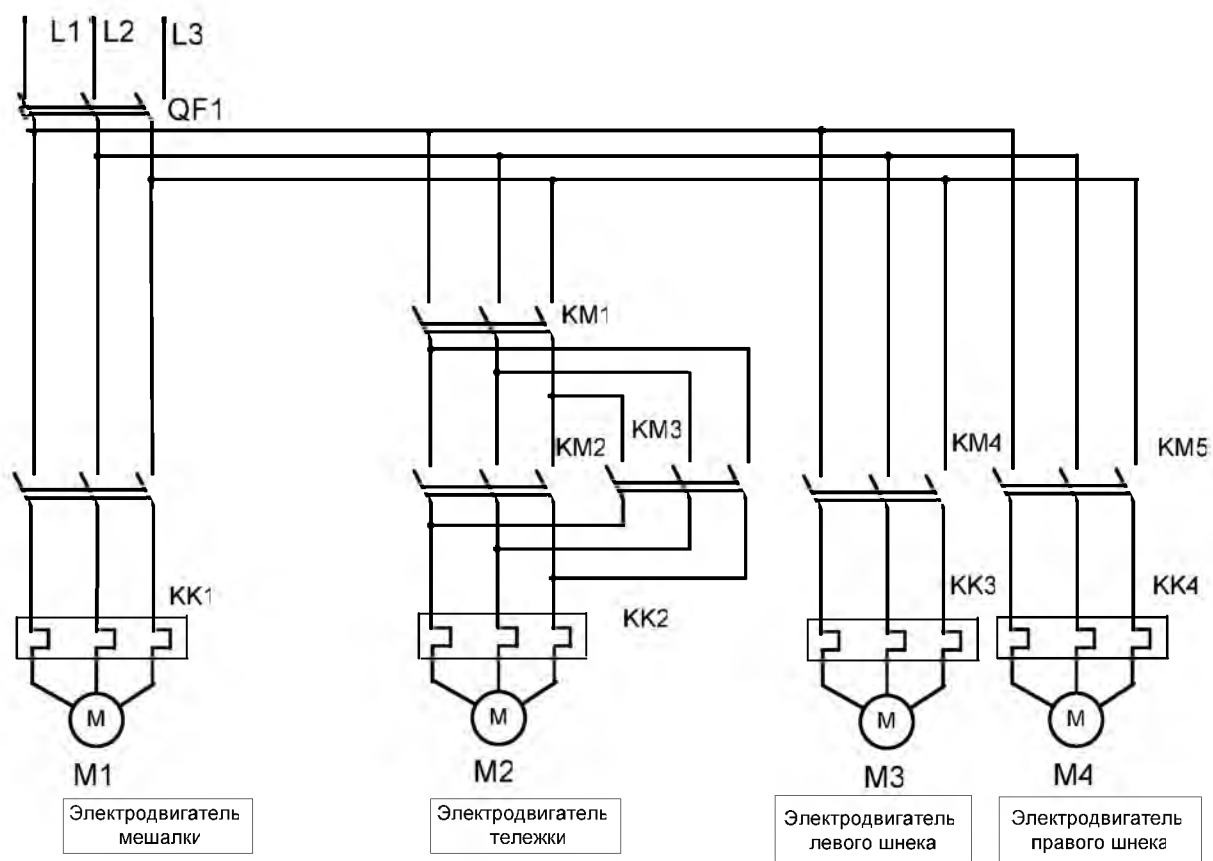


Рисунок 4.93– Схема электрическая принципиальная кормораздатчика КС-1,5

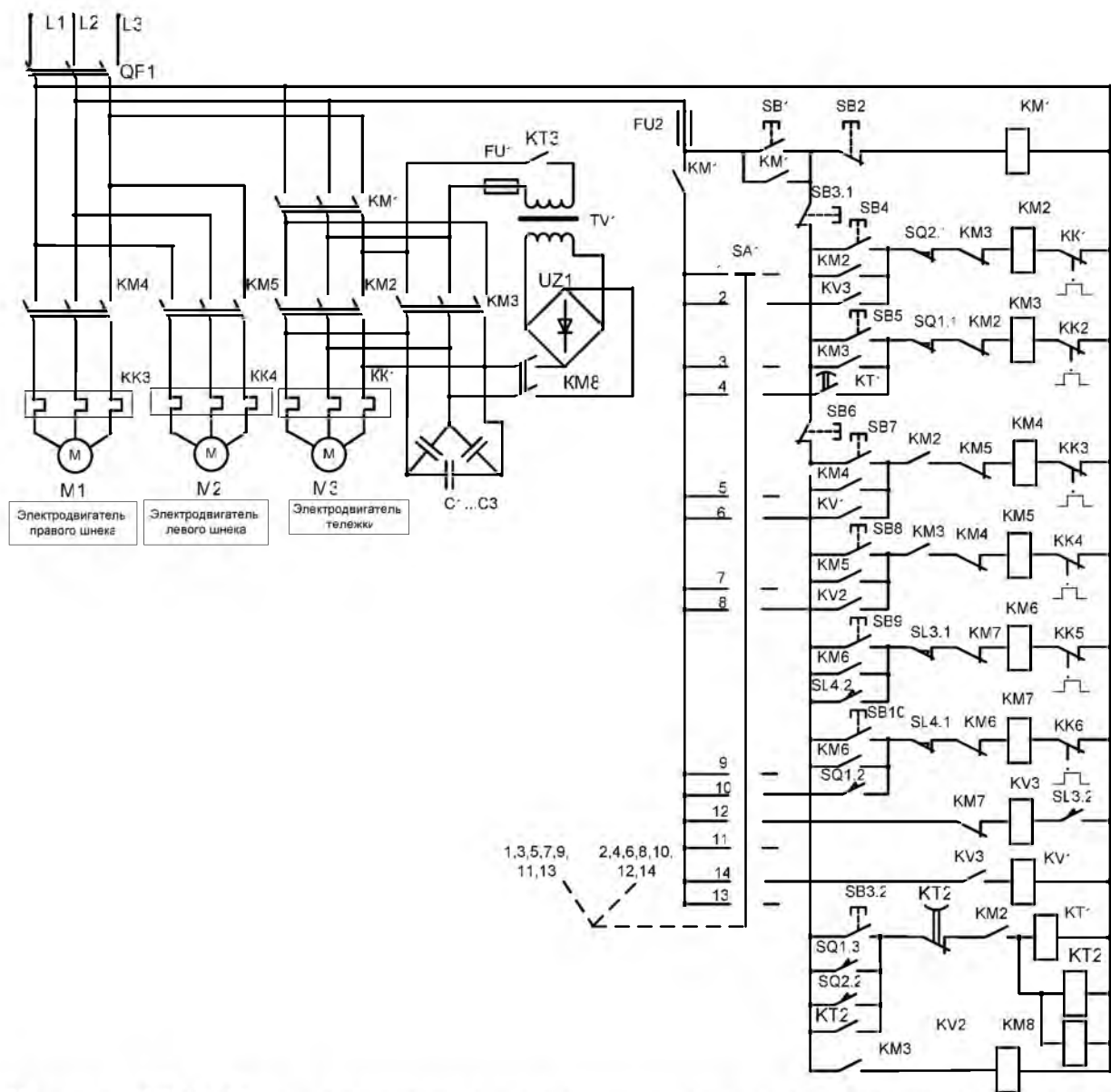


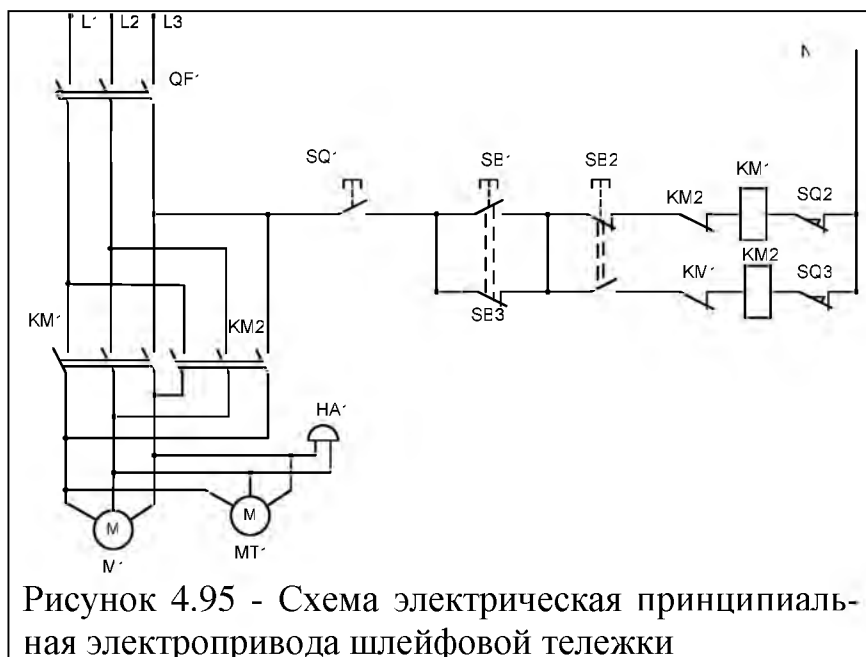
Рисунок 4.94 - Схема электрическая принципиальная электропривода кормораздатчика КЭС-1,7

Работа схемы происходит следующим образом. При установке универсального переключателя **SA1** в положение - 45° замыкаются нечетные направления (1,3,5,7,9,11,13), что соответствует работе в ручном режиме. При нажатии на кнопку **SB1** срабатывает магнитный пускатель **KM1**, который замыкает свои контакты в силовой цепи и подает напряжение также на цепи управления. Кнопкой **SB4** кормораздатчик начинает движение от места загрузки вперед. Кнопкой **SB7** включается правый раздаточный шнек. Идет раздача корма вправо, при достижении крайнего правого положения срабатывает конечный выключатель **SQ2** и его размыкающий контакт отключает катушку магнитного пускателя **KM2** и тележка кормораздатчика останавливается. Кнопкой **SB5** кормораздатчик включается в обратное движение и кнопкой **SB8** включается левый раздаточный шнек. При достижении крайнего левого положения срабатывает конечный выключатель **SQ1** и тележка останавливается. Кнопкой **SB10** включается электропривод шиберной задвижки.

ки на ее открытие (магнитный пускатель *KM7*). Идет загрузка тележки кормораздатчика. При достижении верхнего уровня срабатывает датчик уровня *SL4*, который размыкающими контактами отключает привод открытия, а замыкающим включает привод закрытия шиберной задвижки (магнитный пускатель *KM6*). Также можно закрыть задвижку вручную с помощью кнопки *SB9*. Остановить кормораздатчик в любом положении можно с помощью кнопки *SB3* и также можно отключить раздаточные шнеки кнопкой *SB6*.

Перевод в автоматический режим производится переводом переключателя *SA1* в положение $+45^\circ$. При этом замыкаются четные контакты 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14. После этого кнопкой *SB1* подается напряжение на силовые и управляющие цепи. В этот момент кормораздатчик находится под нагрузкой. Контакты конечного выключателя *SQ1.2* замкнуты и получает питание магнитный пускатель *KM7* – включается привод шиберной задвижки. После заполнения срабатывает датчик уровня *SL4*, задвижка закрывается и через замыкающий контакт *KM7* получает питание промежуточное реле *KV3*, которое срабатывая включает магнитный пускатель *KM2*. После этого тележка начинает движение вправо. Одновременно получает питание промежуточное реле *KV1* и срабатывает магнитный пускатель *KM4* – электропривод правого шнека. При достижении тележкой крайнего правого положения срабатывает конечный выключатель *SQ2*, который замыкает свои контакты в цепи питания реле времени *KT1*, *KT2* и контактора торможения *KM8*, который силовыми контактами подключает схему конденсаторного динамического торможения электропривода движения. Реле времени *KT1* через выдержку времени замыкает свой контакт в цепи *KM3* и происходит реверс электропривода тележки. Одновременно с реверсом включится промежуточное реле *KV2*, которое своим контактом подключит катушку магнитного пускателя *KM5* и включится привод левого шнека. При подходе к месту загрузки кормораздатчик наезжает на конечный выключатель *SQ1* и останавливается с включенным режимом динамического торможения. Режим торможения отключается с помощью размыкающего контакта с выдержкой времени на размыкание *KT1*. Кормораздатчик становится под нагрузку кормом. Процесс загрузки контролируется датчиком уровня *SL4*.

На рисунке 4.95 показана принципиальная схема управления электроприводом шлейфовой тележки, в которой управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором осуществляется с помощью реверсивного магнитного пускателя. Схема работает следующим образом. При включении автоматического выключателя *QF1* напряжение подается в главную цепь. При установке и поворачивании специального ключа *SQ1* или нажатии ножной педали на площадке водителя напряжение подается в цепь управления. При нажатии на кнопку *SB1* «Пуск вперед» питание получает обмотка магнитного пускателя *KM1*, который замыкает свои главные контакты в силовой цепи. Главные контакты *KM1* подключают статорную обмотку электродвигателя к электрической сети, и этим осуществляется движение тележки вперед. Оно происходит до тех пор, пока нажата кнопка *SB1*.



Для движения в обратную сторону необходимо нажать кнопку **SB2** «Пуск назад», вследствие этого подается напряжение на обмотку магнитного пускателя **KM2**, который замыкает свои главные контакты в силовой цепи, изменяя порядок чередования фаз питающего напряжения. При этом электродвигатель изменяет направление

вращения, и тележка движется в обратную сторону. Схема обеспечивает защиту цепей управления и электродвигателя от токов короткого замыкания и перегрузок с помощью автоматического выключателя. Торможение тележки осуществляется колодочным тормозом с электрогидравлическим толкателем **MT1**, двигатель которого подключен параллельно двигателю **M1**. При движении тележки подается звуковой сигнал **HA1** звонком, который установлен на тележке. Для исключения выбега тележек с рельсов в конце пути на троллейных тележках устанавливаются концевые выключатели **SQ2**, **SQ3** (на бугеле), которые срабатывают от направляющих линеек. На шлейфовых тележках устанавливают два конечных выключателя в конце рельсового пути, которые срабатывают от реборд колес. На шлейфовых тележках можно также устанавливать специальную конструкцию троллейной тележки направляющих линеек.

На некоторых промышленных предприятиях грузопотоки направлены только в одну сторону, т.е. в одну сторону тележки движутся нагруженными, а обратно пустыми. Для увеличения производительности троллейных тележек целесообразно использовать электропривод с двухскоростным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором (рис. 4.96). В данных двигателях за счет изменения числа пар полюсов переключением обмоток можно обеспечить регулирование скорости с соотношением 1:2 при постоянном моменте. Принцип работы схемы электропривода аналогичен схеме, изображенной на рис. 4.95. В дополнение здесь, чтобы включить двигатель для работы на малой частоте вращения, необходимо нажать кнопку **SB4**. При этом получает питание обмотка пускателя **KM3**, замыкаются главные контакты **KM3** в силовой цепи, включая обмотку электродвигателя в треугольник. Замыкаются вспомогательные контакты **KM3** в цепи управления, шунтируя контакты кнопки **SB4**, обеспечивая тем самым питание обмотки пускателя **KM3**. Аналогично работает схема управления при большой частоте вращения

двигателя при нажатии кнопки **SB5**. При этом, обмотки электродвигателя переключаются на схему «двойная звезда».

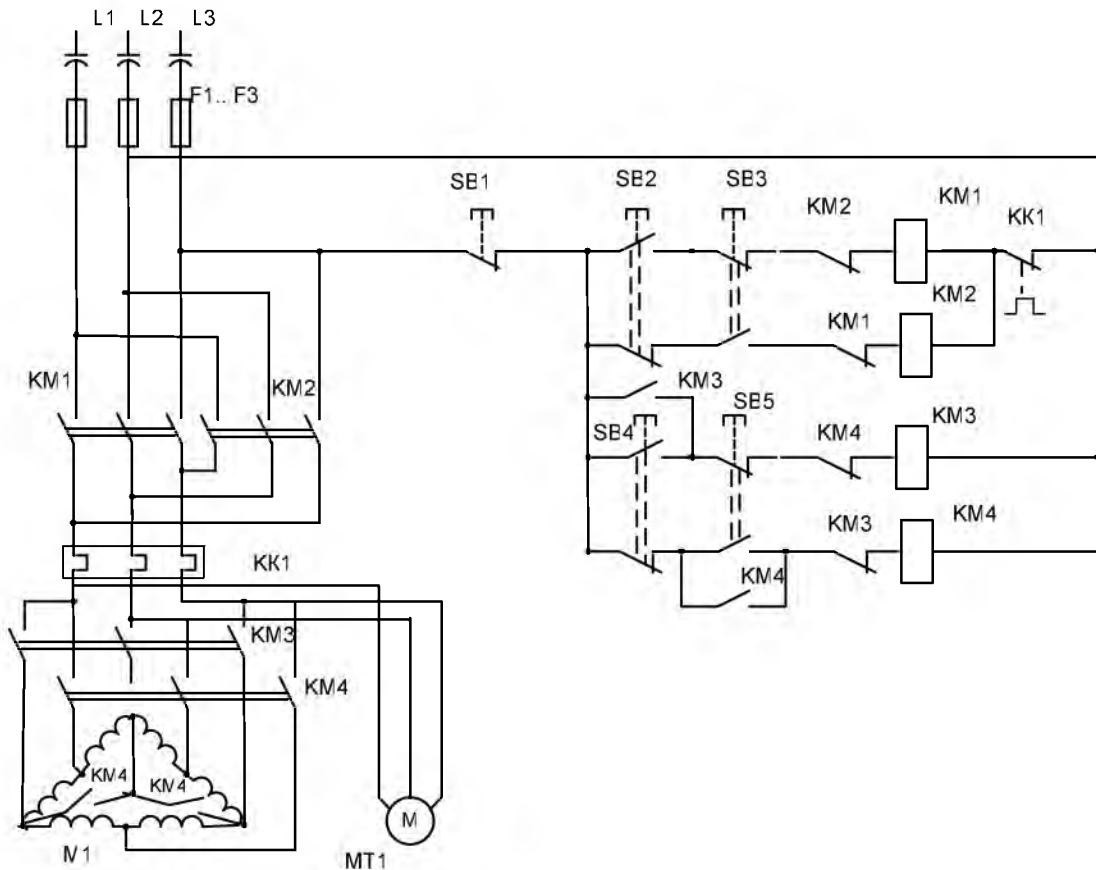


Рисунок 4.96 - Принципиальная схема электропривода двухскоростной тележки

На рисунке 4.97 изображена схема электропривода транспортной тележки на постоянном токе с использованием электродвигателя смешанного возбуждения типа. Источником питания электротележки служит выпрямительный агрегат **UZ1**, который подсоединяется к цеховой сети 220/380 В, 50 Гц и от которого "+" подается к токоподводящим контактам, а "-" к рельсу и корпусу тележки.



Рисунок 4.97 - Схема принципиальная электропривода контактной тележки на постоянном токе

Номинальное напряжение силовых цепей, цепей управления и сигнализации равно 24 В. Скорость передвижения электротележки регулируется шунтированием пусковых резисторов *R1*, *R2* в якорной цепи электродвигателя *M1*. Шунтирование этих резисторов осуществляется контактами *SI.2* и *SI.3* кулачкового контроллера. Схема управления работает следующим образом. Поворотом ключа управления *SB1* в рабочее положение подается напряжение в цепь управления (при нажатой педали тормоза и замкнутых вспомогательных контактах тормоза *SQ1*). Для пуска электротележки в зависимости от направления движения вперед или назад следует повернуть ручку управления контроллера соответственно вверх или вниз и плавным переводом ее с одного положения в другое обеспечить пуск электродвигателя *M1*. Пуск, реверсирование и регулирование скорости двигателя привода передвижения тележки осуществляются воздействием на рукоятку контроллера. Каждому рабочему положению контроллера соответствует определенное сочетание замкнутых и разомкнутых контактов.

В положении *1* замкнуты контакты *SI.1* и *SI.4*, *SI.7* (или *SI.5*, *SI.6*, в зависимости от положения рукоятки контроллера вверх или вниз). После включения контакта *SI.1* получает питание обмотка линейного контактора *K1*, который, включившись, замыкает свои контакты в силовой цепи. В цепь якоря электродвигателя полностью вводятся пусковые сопротивления *R1*, *R2*. Электротележка начинает двигаться с наименьшей скоростью. В положении *2* замыкается контакт контроллера *SI.2*, который шунтирует первую ступень пускового сопротивления *R1*. При этом увеличиваются ток и момент двигателя, в результате этого скорость тележки повышается. В положении *3* замыкается контакт контроллера *SI.3*, который шунтирует вторую ступень пускового сопротивления *R2*. Пусковое сопротивление полностью выведено, двигатель выходит на свою естественную механическую характеристику, и тележка движется с максимальной скоростью.

При переводе рукоятки контроллера в нулевое положение электродвигатель отсоединяется от источника питания.

Торможение электротележки осуществляется тормозом, который включается при размыкании контактов блокировочного выключателя *SQ1* в цепи обмотки контактора *K1*. Обесточив с помощью контактора *R1* обмотку электромагнита, колодочный тормоз производит торможение электродвигателя и остановку тележки. Предупредительная звуковая сигнализация осуществляется сигналом сирены *HA1*, питание обмотки которой производится нажатием кнопки *SB2*, максимальная защита силовых цепей - предохранителем *FU2*, цепей управления и сигнализации — *FU1*.

При малых напряжениях постоянного тока и больших мощностях двигателей часто применяют схему управления электродвигателем постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 4.98).

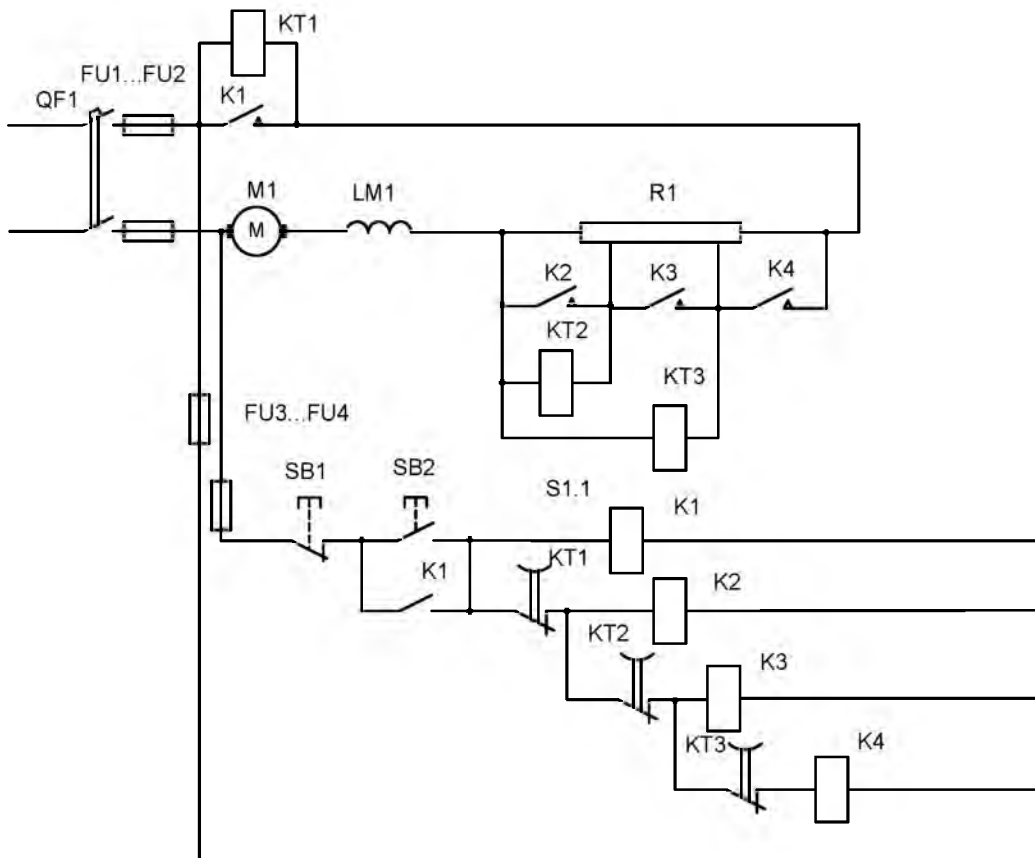


Рисунок 4.98 - Схема принципиальная электропривода тележки на постоянном токе с электродвигателем последовательного возбуждения

Автоматическим выключателем *QF1* напряжение подается в силовую цепь и цепь управления. При этом включается катушка реле времени *KT1*. Реле *KT1*, срабатывая, размыкает свои контакты в цепи катушки контактора ускорения *K2*. При нажатии кнопки *SB2* «Пуск» подается напряжение на обмотку контактора *K1*. После замыкания контактов контактора *K1* получают питание обмотки реле времени *KT2* и *KT3*. Срабатывая, эти реле размыкают свои контакты в цепи катушек контакторов ускорения *K3* и *K4*. Замыкающий контакт контактора *K1* шунтирует обмотку реле времени *KT1*, благодаря чему замыкающий контакт с выдержкой времени при возврате этого реле в цепи обмотки контактора *K2* замыкается через промежуток времени. При срабатывании контактора *K2* из цепи якоря его замкнутыми контактами выводится часть пускового сопротивления *R1*. Одновременно шунтируется обмотка реле времени *KT2*, и с выдержкой времени замыкается его контакт в цепи обмотки контактора *K3*. Срабатывает контактор *K3*, шунтируя вторую ступень сопротивления *R1* и обмотку реле времени *KT3*. С выдержкой времени замыкается контакт *KT3* в цепи обмотки контактора *K4*, который, срабатывая, шунтирует последнюю ступень пускового сопротивления *R1*.

Такое поочередное снижение сопротивления в цепи якоря двигателя постоянного тока последовательного возбуждения позволяет автоматически снизить пусковые токи, обеспечить плавный пуск электродвигателя и его разгон до полной скорости.

Управление электродвигателем ЭК-2 (ЭК202) осуществляется с помощью кулачкового контроллера и это делается водителем в положении "стоя" (рис.4.99). Схема управления электродвигателем электрокара ЭК-2 считается самой простой схемой электропривода напольного аккумуляторного транспорта (рис.4.100). Номинальное напряжение силовых цепей равно 30 В, цепей сигнализации 6 В. Потребители энергии присоединяются к аккумуляторной батарее с помощью штепсельного разъема типа ШР.



Рисунок 4.99 – Внешний вид электрокара ЭК2

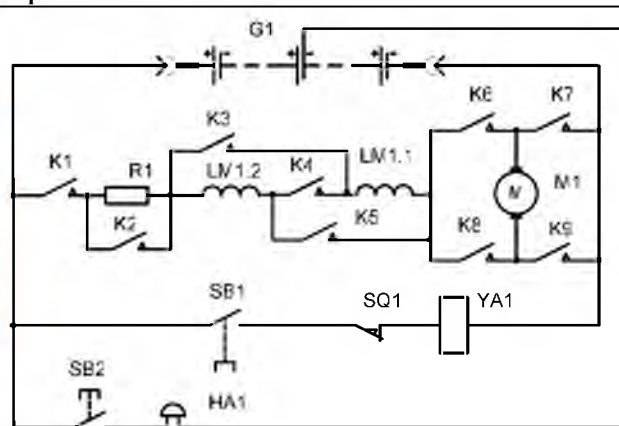


Рисунок 4.100 - Принципиальная схема электропривода электрокара ЭК-2

Для запуска двигателя электрокара необходимо включить выключатель **SB1** специальным ключом, потом нажать тормозную педаль, которая замкнет вспомогательный контакт **SQ1** электромагнита **YA1** и растормозит электрокар. В нулевом положении контроллера замыкается контакт **K1** контроллера. Тем самым электропривод подготовлен к работе. При установке рычага контроллера в первое положение замкнутся контакты кулачкового контроллера **K4** и **K6**, **K9** (одно направление вращения) или **K8**, **K7** (другое направление вращения). При этом двигатель с последовательно включенным резистором **R1** включается на полное напряжение аккумулятора. Двигатель вращается при ограниченном значении пускового момента. При установке рычага контроллера во второе положение контакт **K2** шунтирует сопротивление **R1**, и тем самым увеличивается скорость вращения двигателя. В третьем положении контроллера обе секции обмоток возбуждения, которые при первом и втором положениях контроллера соединены последовательно между собой, соединяются параллельно между собой (включены контакты **K3**, **K5** и разомкнут контакт **K4**). Таким образом, в третьем положении контроллера поле двигателя уменьшается по сравнению со вторым и первым положениями и двигатель разгоняется до большей скорости. Остановка электродвигателя происходит при переводе рычага контроллера в нулевое положение. Для срочного торможения необходимо только освободить педаль тормоза, при этом размыкается вспомогательный контакт **SQ1**, обмотка электромагнита **YA1** отключается. В результате отключается контакт **K1**, который размыкает цепь питания электродвигателя, а так как обмотка тормозного электромагнита **YA1** отключена, то включается тормоз, и двигатель останавливается. Если

рычаг контроллера установлен в одно из рабочих положений до начала движения и после этого нажата тормозная педаль, то двигатель не включается, так как электромагнит не способен притянуть хвостовик контакта *K1*. Поэтому перед началом движения рычаг контроллера необходимо поставить в нулевое положение, нажать тормозную педаль и после этого перевести рычаг контроллера в первое положение.

Еще одну группу мобильных машин составляют электропогрузчики. В этих машинах кроме привода перемещения имеется привод погрузочно-разгрузочного органа, чаще всего гидравлического типа (рис.4.101).



Рисунок 4.101– Внешний вид электропогрузчиков

Большое применение получили электропогрузчики серии 02, 04 для вертикального и горизонтального перемещений грузов. Они изготавливаются с электродвигателями, питающимися от щелочных никель-железных аккумуляторов, и по конструкции отличаются только высотой рамы подъемника. Электрическая схема управления электропогрузчиками серий 0,2 0,4 приведена на рисунке 4.102. Управление тяговым двигателем *M1* типа ДК-908А производится с помощью кулачкового контроллера типа КВ-16А, а двигателем подъема *M2* — типа ДК-907А, приводящим в действие гидравлический насос с помощью контактора подъема или наклона. Оба электродвигателя последовательного возбуждения. Контроллер типа КВ-16А имеет два барабана: главный и реверсивный, которые имеют механическую блокировку. Номинальное напряжение силовых цепей и цепей управления равно 30 В, сигнальных цепей и цепей освещения - 12 В. Частота вращения двигателя *M1* регулируется шунтированием пусковых резисторов *R1* и *R2* в якорной цепи электродвигателя контактами *SA2.1* и *SA2.1* контроллера *SA2* и ослаблением поля возбуждения электродвигателя *M1* путем переключения обмоток возбуждения с последовательного соединения на параллельное. Реверс производится рукояткой реверса *SA1*, переключающей направление тока в якоре тягового двигателя *M1*.

Пуск электродвигателя осуществляется следующим образом. Включив выключатель цепи управления *SB1* и установив реверсивную рукоятку контроллера *SA1* в положение «Вперед» или «Назад», переводят главный барабан контроллера *SA2* с нулевого в первое положение. При этом замыкаются контакты *SA2.3* этого контроллера и контакты *K2* линейного контактора *K2*, обмотка которого получает питание через контакты контроллера *SA2.5*, при

этом двигатель подключается к аккумуляторной батарее вместе с включенными последовательно с ним ступенями резисторов **R1** и **R2**.

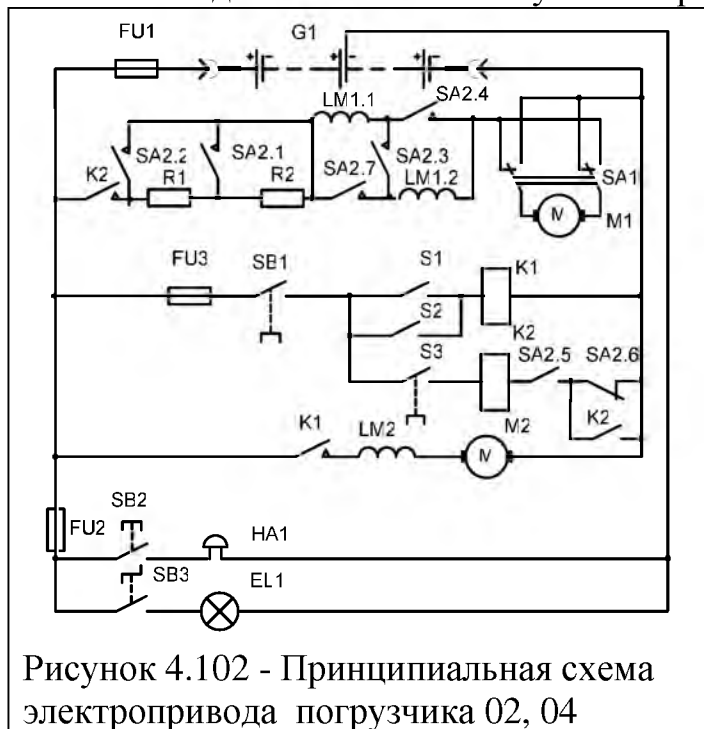


Рисунок 4.102 - Принципиальная схема электропривода погрузчика 02, 04

В результате двигатель разгоняется с ограниченным пусковым моментом. Во втором положении контроллера замыкается контакт контроллера **SA2.1**, шунтируя пусковой резистор **R2**. Частота вращения двигателя при этом возрастает. Когда рукоятка контроллера переводится в третье положение, контакт **SA2.2** замыкается. В результате пусковые резисторы полностью шунтированы. Двигатель разгоняется до большей скорости. Эта скорость называется первой экономической, когда нет потерь энергии в пусковых резисторах. Та-

кое положение допускается при движении электропозвучика с преодолением тяжелых подъемов продолжительностью не более 5 мин. В четвертом положении контроллера дополнительно замыкаются контакты **SA2.7** и **SA2.4**, размыкается контакт **SA2.3**, вследствие чего секции обмотки возбуждения соединяются между собой параллельно, а с якорем двигателя **M1** последовательно. При этом поток возбуждения уменьшается, а скорость возрастает до наибольшей; работа погрузчика в этом режиме наиболее экономичная. При переводе контроллера в нулевое положение электродвигатель отключается от батареи и останавливается. При торможении механическим тормозом размыкается выключатель блокировки тормоза **S3**, что делает невозможным включение линейного контакта **K2** и тягового двигателя **M1**. Блокировки, имеющиеся в схеме, исключают возможность реверса двигателя **M1** во время движения погрузчика, не допускают включение линейного контактора **K2** при разомкнутых контактах реверса. Управление электродвигателем подъема и наклона осуществляется в результате замыкания выключателя подъема **S1** или наклона **S2** и подачи напряжения на обмотку контактора подъема и наклона **K1**. Электродвигатель **M2** приводит в действие насос гидравлической системы управления. Защита от коротких замыканий силовых цепей осуществляется плавким предохранителями.

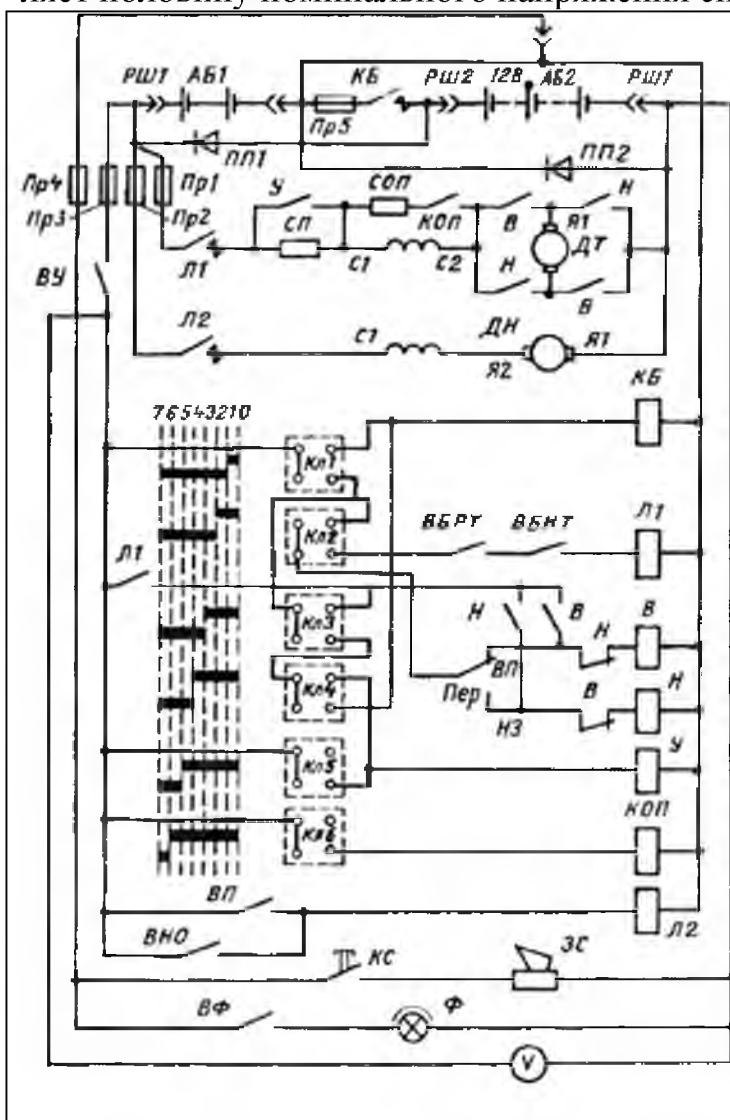
Электропозвучики ЭП-201 и ЭП-202 (рис.4.103) отличаются друг от друга только устройством колес: ЭП-201 имеет шесть колес на пневматических шинах, а ЭП-202 — четыре колеса на массивных шинах. Эти погрузчики имеют одинаковую схему, приведенную на рисунке 4.104.



Рисунок 4.103– Внешний вид электропогрузчиков ЭП-201 (ЭП-202)

Для передвижения погрузчика применяют электродвигатель РТ-2 постоянного тока с последовательным возбуждением, для управления системой гидравлики применяется электродвигатель РТ-14К. Для управления в силовой цепи смонтированы на одной панели контакторы типов КМ-517 В, КМВ-508 В, КМ-507 В. На погрузчике применен поворотный кулачковый контроллер типа ЗКУ 004. Источником питания служит аккумуляторная батарея напряжением 50 В. Напряжение цепей управления и сигнализации составляет половину номинального напряжения силовой цепи.

ляет половину номинального напряжения силовой цепи.



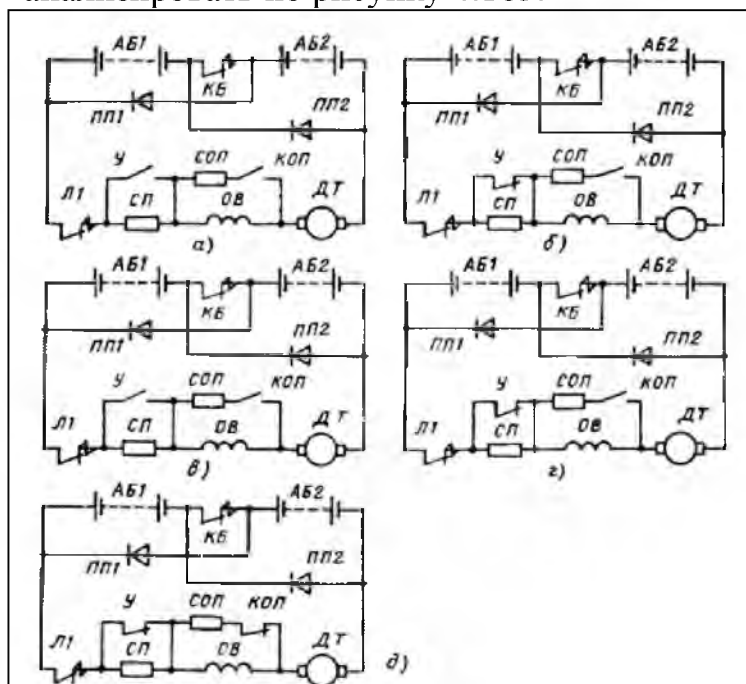
РШ1, РШ2 — штепсельные соединения; АБ1, АБ2 - секции аккумулятора; КБ - контактор аккумуляторной батареи; ПП1, ПП2 - диоды; Пр1, Пр2 - предохранители силовых цепей; Пр3 - предохранитель цепей управления; Пр4 - предохранитель цепей освещения и сигнализации; У - контактор для выключения пускового резистора; СОП - резистор для ослабления поля возбуждения; СП - пусковой резистор; КОП - контактор для шунтирования обмотки возбуждения; Л1, Л2 - контакторы для включения электродвигателей; В, Н - реверсивные контакторы главной цепи для включения электродвигателя ДТ "вперед" и "назад"; ДТ - электродвигатель тяговый; ДН - электродвигатель насоса; ВУ - выключатель цепей управления; Кл1-Кл6 — микровыключатели контроллера; ВБРТ и ВБНТ - выключатели блокировки ручного и ножного тормоза; Пер - реверсивный переключатель в цепи управления; ВП, ВНО - выключатели электродвигателя ДН; КС - кнопка сигнала; ЗС - звуковой сигнал; ВФ - выключатель фазы; Ф - фара.

Рисунок 4.104 - Принципиальная схема электропривода электропогрузчика ЭП-201 (ЭП-202)

Скорость передвижения электропогрузчика может регулироваться: изменением напряжения, подводимого к электродвигателю ДТ переключением секций аккумуляторной батареи АБ1 и АБ2 с параллельного соединения на последовательное; шунтированием пускового сопротивления СП в цепи якоря двигателя ДТ ослаблением поля возбуждения электродвигателя ДТ включением сопротивления СОП параллельно обмотке возбуждения электродвигателя ДТ. В схеме электропривода предусмотрены следующие аппараты управления: контактор КБ, переключающий секции аккумуляторной батареи; линейный контактор Л1, отключающий и включающий электродвигатель ДТ; реверсивные контакторы В и Н контактор У, шунтирующий пусковой резистор в цепи электродвигателя ДТ, контактор КОП, шунтирующий обмотку возбуждения электродвигателя ДТ, и др.

При нажатии на педаль контроллер занимает одну из пяти ходовых позиций, а при отпущенной педали — нулевую позицию. На каждой позиции контроллер имеет определенную комбинацию замкнутых и разомкнутых контактов контроллера, что обеспечивает коммутацию соответствующих контактов схемы.

Последовательность коммутации аппаратов силовой цепи лучше проанализировать по рисунку 4.105.



а - на позиции 2-3; б - на позиции 3-4; в - на позиции 4-5; г-на позиции 5-6; д - на позиции 6-7

Рисунок 4.105 - Принципиальная схема силовой сети при различных последовательностях коммутации аппаратов силовой цепи

частота вращения двигателя минимальная.

Увеличивается скорость движения за счет выведения из цепи пускового резистора СП при замыкании контакта контактора У на позиции 3-4 контроллера (рис. 4.105,б). На позиции 4-5 контроллера (рис. 4.105,в) секции аккумуляторной батареи соединены последовательно после замыкания контак-

На позиции 0-1 контроллера при включенном выключателе ВУ замкнут контакт главной цепи контактора КБ. Секции аккумуляторной батареи соединены последовательно. На позиции 1—2 секции аккумуляторной батареи соединены параллельно. На этой позиции в зависимости от положения реверсивного переключателя включен реверсивный контактор В или Н. Движение электропогрузчика начинается на позиции 2—3 контроллера, при этом замкнут контакт главной цепи контактора Л1 (рис. 4.105, а). Пусковой резистор СП введен в цепь электродвигателя движения ДТ, в результате этого

тов КБ, и на этой позиции введен пусковой резистор СП (после отключения контактора У). Частота вращения двигателя возрастает за счет увеличения напряжения, подводимого к двигателю от последовательно соединенных секций аккумуляторной батареи. На позиции 5-6 контроллера замкнут контакт главной цепи контактора У (рис. 4.105,г). Пусковое сопротивление СП выведено, в результате этого скорость передвижения увеличилась.

Максимальная частота вращения электродвигателя получается на позиции 6-7 контроллера (рис. 4.105,д) при замкнутом контакте главной цепи контактора КОП. Для торможения электропогрузчика используют гидравлический тормоз ведущих колес с приводом от ножной педали. При нажатии на педаль размыкается цепь выключателя блокировки ножного тормоза ВБНТ, питание обмотки контактора Л1 прекращается, и контакты главной цепи контактора Л1 разрывают цепь главного электродвигателя. Удержание электропогрузчика на уклоне и стоянке осуществляется механическим тормозом. При установке рычага в положение торможения размыкается выключатель блокировки ручного тормоза ВБРТ, разрывается цепь питания обмотки контактора Л1 и включение электродвигателя без установки рычага в расторможенное состояние невозможно.

Пуск электродвигателя подъема ДН - прямой, без пусковых резисторов, с помощью контактора Л2, обмотка которого включается выключателем подъема ВП или выключателем навесного оборудования ВНО. Для защиты от токов короткого замыкания служат предохранители: Пр10 в цепи электродвигателей ДТ; Пр2 — в цепи электродвигателя ДН; Пр5 — в цепи аккумуляторной батареи АБ; Пр3 — в цепях управления; Пр4 — в цепях освещения и сигнализации.

Внешний вид и принципиальная электрическая схема электропривода электропогрузчика ЕВ 717.33 производства Болгарии приведены на рисунках 4.106 и 4.107.

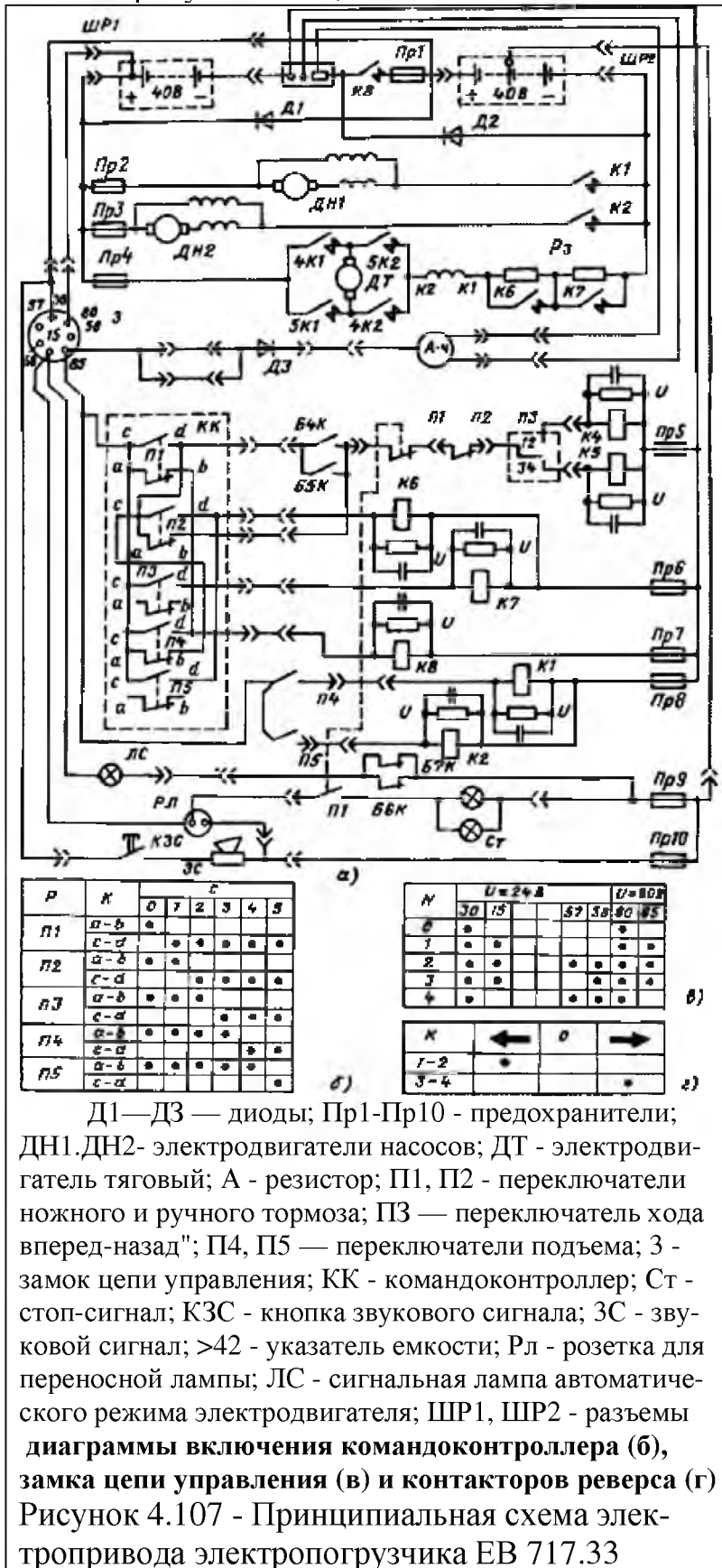


Рисунок 4.106— Внешний вид электропогрузчика ЕВ 717.33 производства Болгарии

На электропогрузчике ЕВ 71733 применены электродвигатели постоянного тока типа ДС 6,3/7,5/14 последовательного возбуждения и ДКВ 6,5/7,5/28 смешанного возбуждения. Для управления электропогрузчиком используется ножной командоконтроллер и контакторы КПЕ-6. Выключатель цепи управления приводится в действие ключом и имеет четыре положения от 0 до 4. Диаграмма включения показана на рис. 4.107, в.

Реверсивный переключатель служит для изменения направления вращения тягового электродвигателя и установлен на рулевом механизме. Он имеет три коммутационных положе-

ния (нулевое, вперед, назад) и приводится в действие вручную с помощью рукоятки. Увеличение скорости происходит за счет переключений, которые выполняет механизм командоконтроллера. Диаграмма включения представлена на рисунке 4.107, б.



На нулевой позиции контакты а-в переключателей П1-П5 замкнуты. Аккумуляторные батареи соединены последовательно. При включении на первую позицию разомкнется контакт а-в и замкнется контакт с-д переключателя П1. В результате этого ток от аккумуляторов пойдет через контакты 80-85 замка к командоконтроллеру, через контакты с-д переключателя П1 и а-в переключателя П2, далее через штепсельное соединение, переключатель ножного тормоза П1, переключатель ручного тормоза П2, переключатель хода "вперед—назад" П3. Если ручка реверса включена "вперед", то согласно диаграмме рисунка 4.107, г ток пройдет через контакты 1-2, электромагнитную обмотку контактора К4 на аккумулятор. При прохождении тока через электромагнитную обмотку контактора К4 замкнутся его силовые контакты 4К1 и 4К2 и блокировочный контакт Б4К. Ток силовой цепи пойдет от плюса параллельно включенных аккумуляторных батарей через силовой контакт 4К1, обмотку якоря, силовой контакт 4К2, обмотку

возбуждения и по двум резисторам РЗ к минусу аккумуляторных батарей. На первой позиции напряжение, подаваемое на двигатель, равно 40 В.

На второй позиции разомкнутся контакты а-в и замкнутся контакты с-d переключателя П2, в результате этого из цепи выключится один резистор и скорость увеличится. Еще больше увеличится скорость на третьей позиции командоконтроллера, когда замкнутся контакты с-d переключателя П3. На четвертой позиции аккумуляторные батареи соединятся последовательно, напряжение увеличилось до 80 В, включится в цепь резистор и частота вращения электродвигателя снова увеличится. Максимальная скорость движения электропогрузчика достигается на пятой (последней) позиции, когда из силовой цепи выключается резистор.

При подъеме груза рычаг подъема отводят назад, который действует на гидросистему и переключатель. В результате включается контактор К2 и как следствие отключается электродвигатель насоса ДН2. При дальнейшем отведении рычага назад включается электродвигатель насоса ДН1, поскольку замкнулись контакты переключения П4 и сработал контактор К1. При спуске груза рычаг отводят вперед, контакты переключателя размыкаются и электродвигатели выключаются.

Наклоны грузоподъемного устройства вперед и назад производят вторым рычагом, который замыкает контакты переключателя П5, при этом замыкается цепь обмотки контактора К2 и выключается электродвигатель ДН2. Включенные в цепь диоды Д1-Д3 служат для предохранения от обратных напряжений при переключении секции аккумуляторной батареи. При движении электропогрузчика назад все включения происходят так же, как и при движении вперед, только замкнуты контакты 3-4 реверса и силовые контакты 5К1 и 5К2 контактора К5.

В настоящее время на многих предприятиях решаются проблемы применения импульсных преобразователей для аккумуляторного электротранспорта.

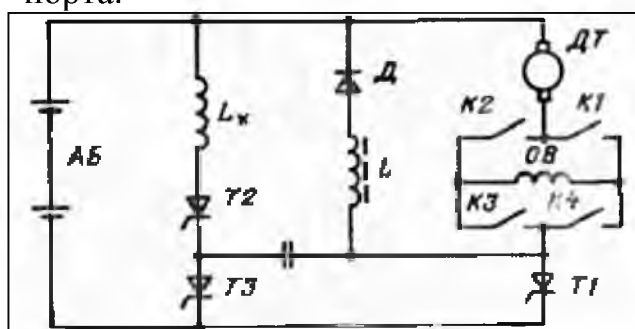


Рисунок 4.108 - Принципиальная схема силовой части импульсного преобразователя

На рисунке 4.108 показана принципиальная схема силовой части импульсного преобразователя. Чередованием включения тиристоров Т1-Т3 осуществляется импульсное регулирование напряжения на двигателе. Особенность схемы состоит в том, что при запираии главного тиристора Т1 процесс переключения тока якорной цепи в контур обратного диода Д замедляется с помощью

вспомогательного ненасыщенного дросселя L. Для управления импульсными преобразователями применяют частотный и широтно-импульсный способы. Внедрение импульсной системы управления электротранспорта позволяет увеличить межзарядный пробег машин на 10—20 %, улучшить маневренность.

4.5. Схемы автоматизации грузоподъемных машин

Подвесными электротележками с небольшой скоростью перемещения (0,2 - 0,5 м/с), имеющими привод от двигателей с короткозамкнутым ротором, обычно управляют с уровня пола (земли) при помощи подвесных кнопочных станций. Электродвигателями талей и кран-балок управляют при помощи реверсивных магнитных пускателей и пусковых кнопок, подвешиваемых на гибком бронированном кабеле. Напряжение к катушкам и контактам контакторов подъема *КМ1* (рис. 4.109), спуска *КМ2*, передвижения вперед *КМ3* и назад *КМ4* подводится через автоматический выключатель и кабель или контактные провода. Движение подъемного устройства вверх ограничивает конечный выключатель *SQ1*. Блокировка реверсивных контакторов двигателей от одновременного включения осуществляется кнопками и механической блокировкой самих контакторов (или размыкающими блокировочными контактами контакторов). На электротелях и кран-балках не применяют шунтирование пусковых кнопок соответствующими замыкающими блокировочными контактами контакторов, предотвращая вероятность продолжения работы тали после отпускания оператором подвесной кнопочной станции. Одновременно с двигателем подъема включается электромагнит *YA1*, растормаживающий рабочий вал.

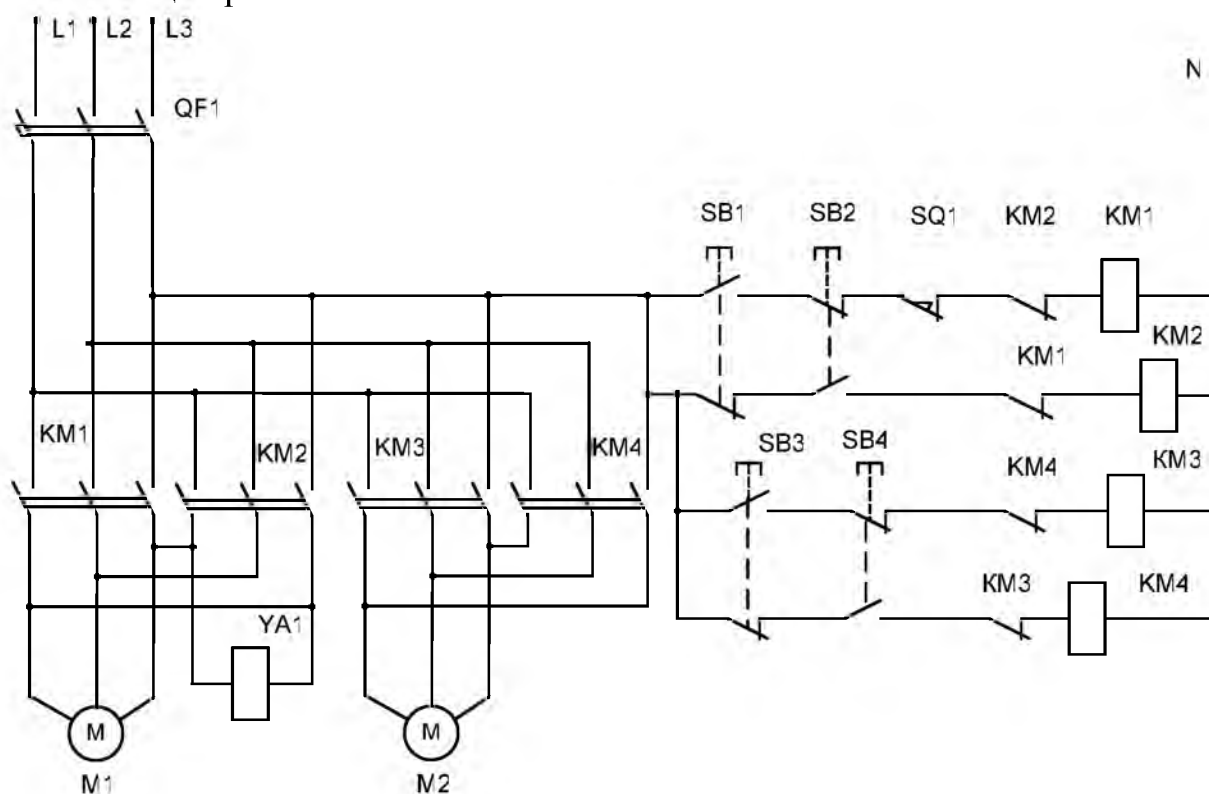


Рисунок 4.109 – Схема электрическая принципиальная электропривода талей и кран-балок

Имеется разработка схемного решения управления работой электротали Слуцкого завода (рис. 4.110, а). Электрическая таль оборудована дисковым тормозом, выключателями верхнего и нижнего положения крюковой

подвески, аварийным выключателем верхнего положения подвески. Цепь управления запитаны пониженным напряжением - 42 В. Предохранители *FU1...*, *FU3* защищают обмотки трансформатора *TV1*. На выключатели *SQ1...SQ3* через механическую кинематическую цепь воздействует канатно-укладчик. Выключатель *SQ2* дублирует действие выключателя *SQ1*. Катушка тормоза включена в рассечку фазы В, имеет две секции, которые намотаны двумя параллельными проводами, а скоммутированы так, что начало одной соединено с концом другой, образуя один общий вывод, а другие концы секций связаны с диодами *VD1* и *VD2*.

Возможны схемы управления электроталями, не оборудованных приводом передвижения (рис.4.110, б). В отличие от предыдущих схем электромагнитный тормоз включен на пониженное напряжение через понижающий трансформатор *TV1*.

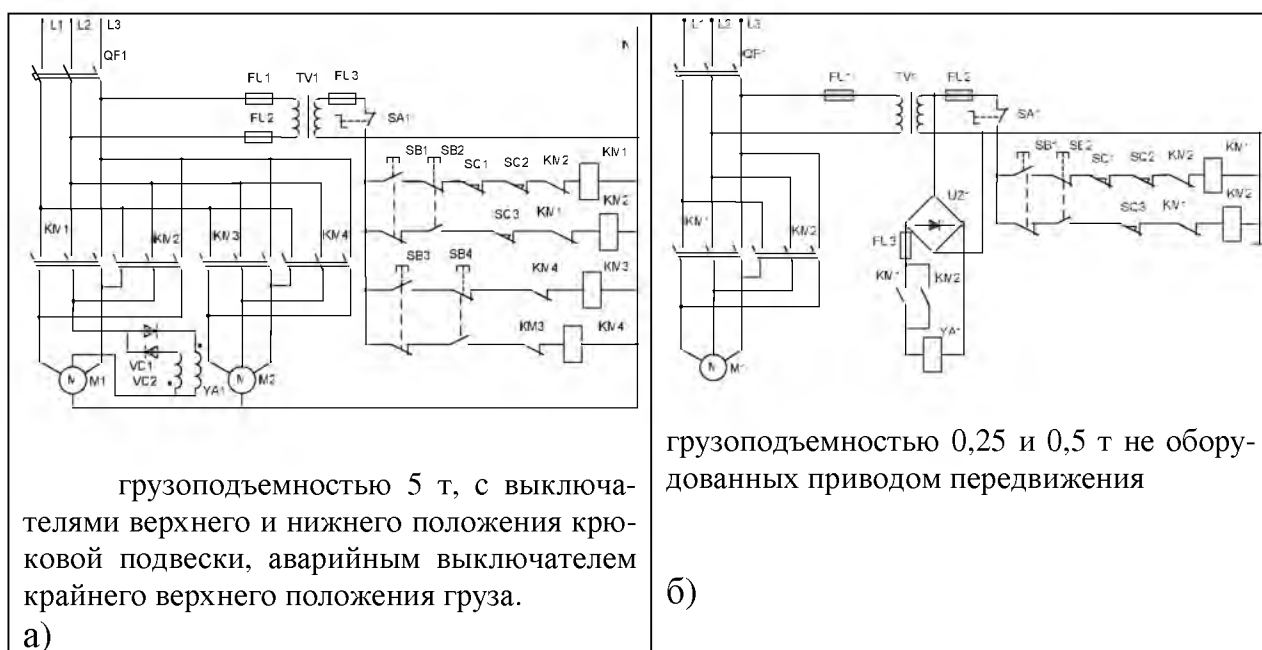


Рисунок 4.110 - Схема электрическая принципиальная талей

Все **грузовые строительные подъемники** рассчитаны на питание от внешней электросети трехфазного переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 380/220 В. Сеть должна иметь нулевой глухозаземленный провод. Цепи управления, освещения, сигнализаций, а также катушки тормозных электромагнитов подключаются на напряжение 220 В между фазным и нулевым проводами. Принципиальная электрическая схема подъемника С-598А при питании его от сети с линейным напряжением 380 В показана на рисунке 4.111.

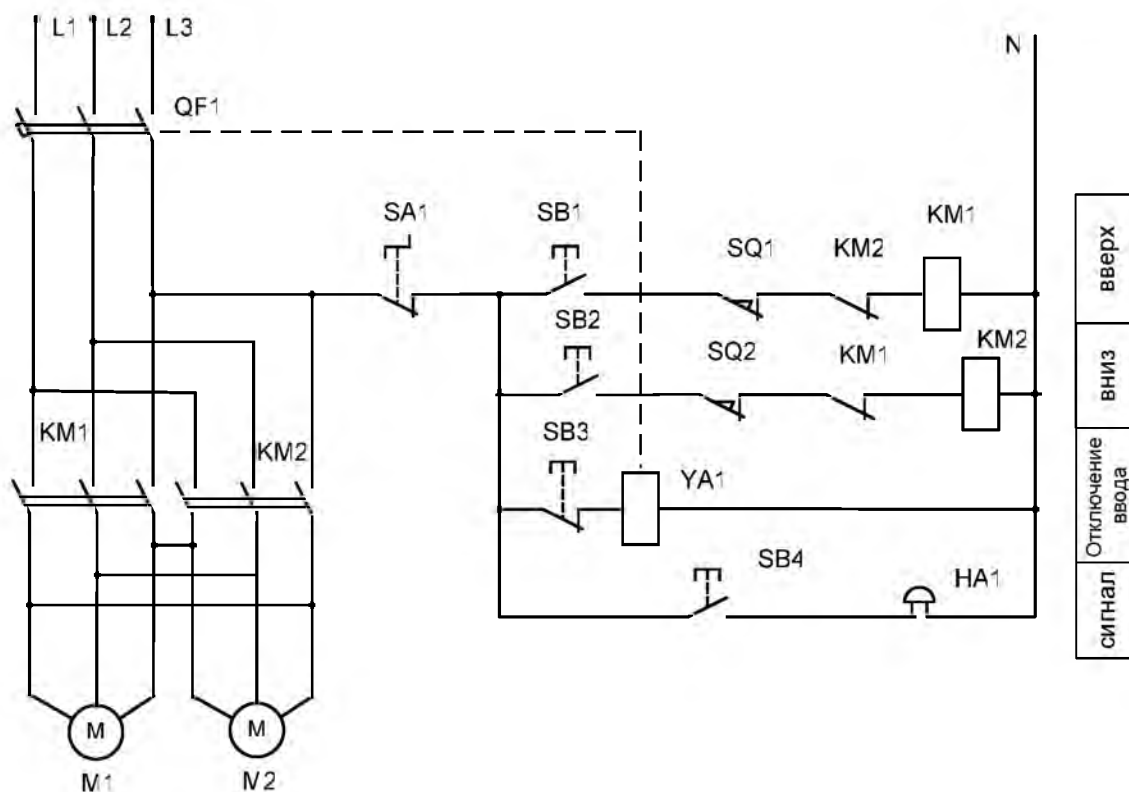


Рисунок – 4.111 - Схема электрическая принципиальная грузового строительного подъемника С-598А

Подъемник включается в сеть через трехполюсный автоматический выключатель **QF1**, имеющий электромагнитный расцепитель для дистанционного управления этим выключателем. Катушка расцепителя **YA1** включена в цепь дистанционного управления подъемником через самовозвратную замыкающую кнопку **SB3**. При нажатии на кнопки **SB3** цепь управления катушки **YA1** прерывается и силовые контакты выключателя размыкаются. Этой кнопкой пользуются при аварийной ситуации или в других случаях, когда подъемник нужно быстро отключить от внешней сети. Пуск, остановку и изменение направления движения грузонесущего органа выполняют с помощью самовозвратных кнопок управления **SB1** и **SB2**. В электрические цепи управления магнитными пускателями **KM1** и **KM2** введены соответствующие конечные выключатели **SQ1** и **SQ2**, которые прерывают цепи катушек этих пускателей при подъеме или опускании грузонесущего органа подъемника до заданных крайних пределов. В кожухе переносной кнопочной станции расположен блокировочный контакт **SA1**, включающий цепь управления только с помощью ключа. Машинист подъемника вставляет ключ в соответствующую замочную скважину на время управления подъемником. Это сделано для того, чтобы посторонние лица не могли включить подъемник.

Принципиальная электрическая схема подъемника С-953.1 (рис. 4.112) отличается от схем подъемников С-598А, тем, что в ней есть дополнительный магнитный пускатель **KM3** для дистанционного отключения силовой цепи при аварийных ситуациях. Имеются также кнопки **SB5- SB7** на местах разгрузки.

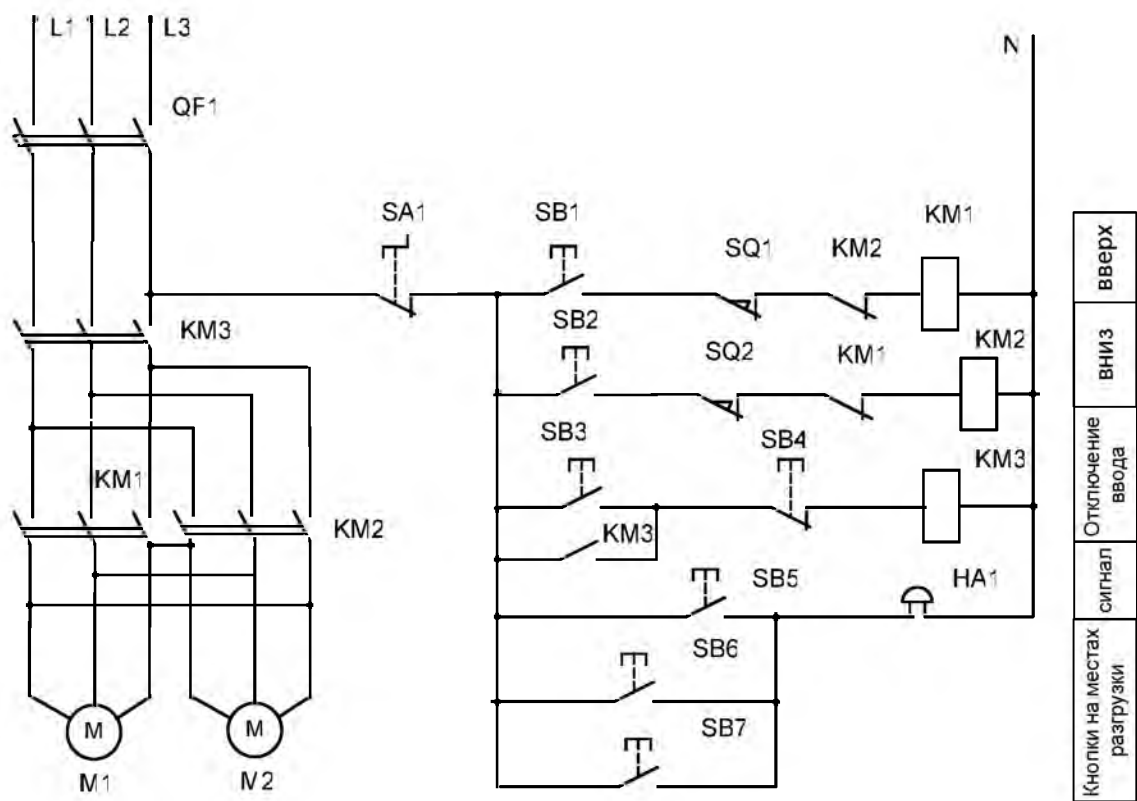


Рисунок – 4.112 - Схема электрическая принципиальная грузового строительного подъемника С-953.1

Принципиальная электрическая схема подъемника ЖК-40 (рис. 4.113) отличается увеличенным количеством конечных (путевых) выключателей и значительным числом рабочих контактов в них. Это объясняется тем, что электродвигатель грузоподъемной лебедки на подъемнике используется и в качестве монтажного двигателя для приведения шарнирной мачты подъемника из транспортного положения в рабочее и обратно. Конечный выключатель *SQ4* срабатывает в конце раскрытия (выпрямления) мачты и тем самым фиксирует ее рабочее положение. Конечные выключатели *SQ2* и *SQ3*, действуя совместно и в определенной последовательности, обеспечивают остановку грузовой платформы в крайнем верхнем положении при работе подъемника, предотвращают складывание мачты, если грузовая платформа не находится в крайнем нижнем положении, а также не позволяют включать грузоподъемную лебедку во время складывания и раскладывания мачты. Конечный выключатель *SQ1* входит в конструкцию ограничителя грузоподъемности. Он выключает цепь управления, если на грузовой платформе подъемника находится груз, превышающий по массе номинальную грузоподъемность этого подъемника. В качестве привода тормоза лебедки в этом подъемнике применен однофазный электромагнит переменного тока *YA1* вместо электрогидравлических толкателей, применяемых в схемах ранее рассмотренных подъемников. Существенный недостаток электрической схемы подъемника ЖК-40 в том, что его нельзя дистанционно отключить от внешней электросе-

ти при аварийных ситуациях, кроме того, на подъемнике нет электрических аппаратов для звуковой сигнализации.

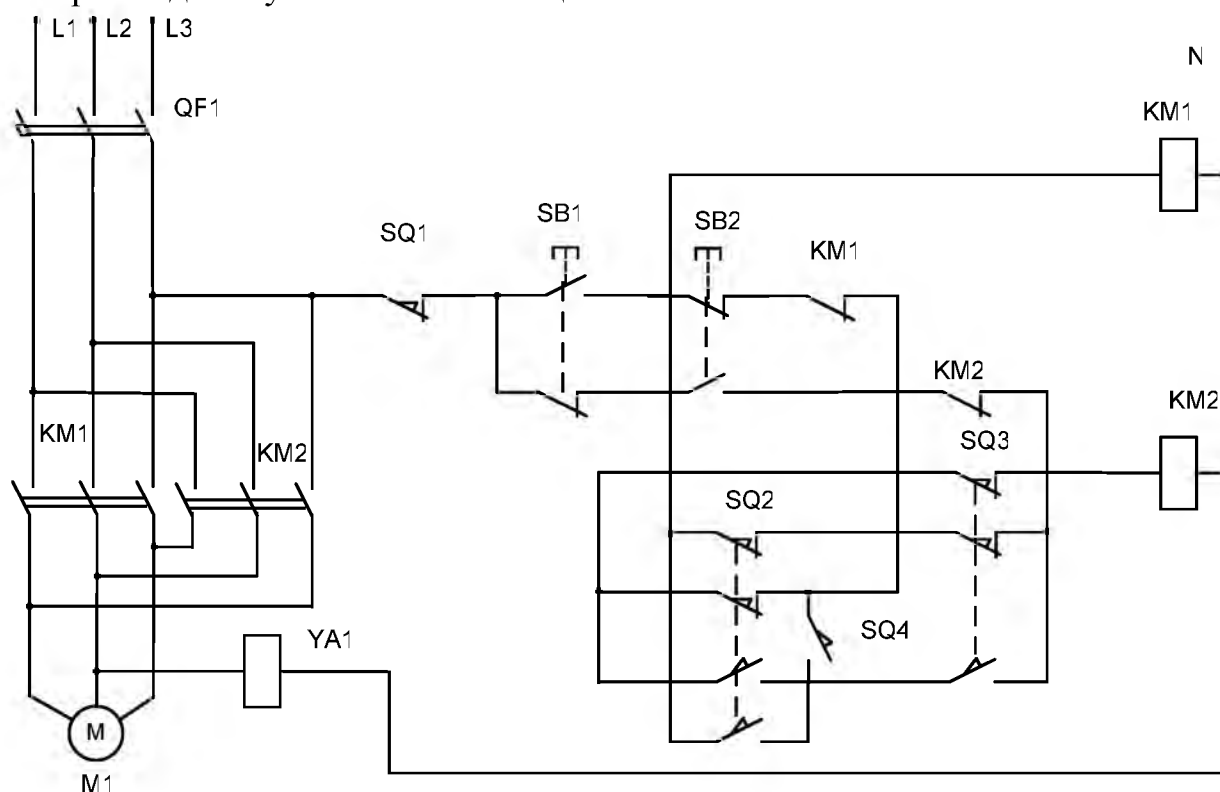


Рисунок – 4.113- Схема электрическая принципиальная грузового строительного подъемника ЖК-40

Принципиальная электрическая схема подъемника С-953 (рис.4.114) в отличие от описанных имеет приводной механизм для подачи груза в оконный проем. Этот механизм приводится в действие электродвигателем *M3*. На подъемнике две кнопочные станции управления: одной из них пользуется машинист с земли, второй — с места разгрузки на этажах здания; она закреплена на грузонесущем органе подъемника. С помощью выключателя *SA1* машинист может передать управление на верхнюю кнопочную станцию, а при необходимости может ее и отключить снизу, вернув управление к себе. Обе кнопочные станции имеют контакты *SQ1* и *SQ2*, замыкаемые специальными ключами. С обеих кнопочных станций подъемник можно дистанционно отключить от внешней сети, например при аварийных ситуациях. Уровни подъема и опускания грузонесущего органа ограничены конечными выключателями *SQ3* и *SQ4*. Благодаря примененной системе блокировки одновременное управление подъемником с двух кнопочных станций исключено. Механизм подачи груза в оконный проем не имеет конечных выключателей, поэтому грузовую каретку нельзя доводить до ее крайних положений. Тормоз грузовой лебедки и ее электродвигателя *M1* приводится в действие электрогидравлическим толкателем с двигателем *M2*, а тормоз механизма подачи груза по горизонтали — электромагнитом *YA1*, встроенным в корпус этого механизма.

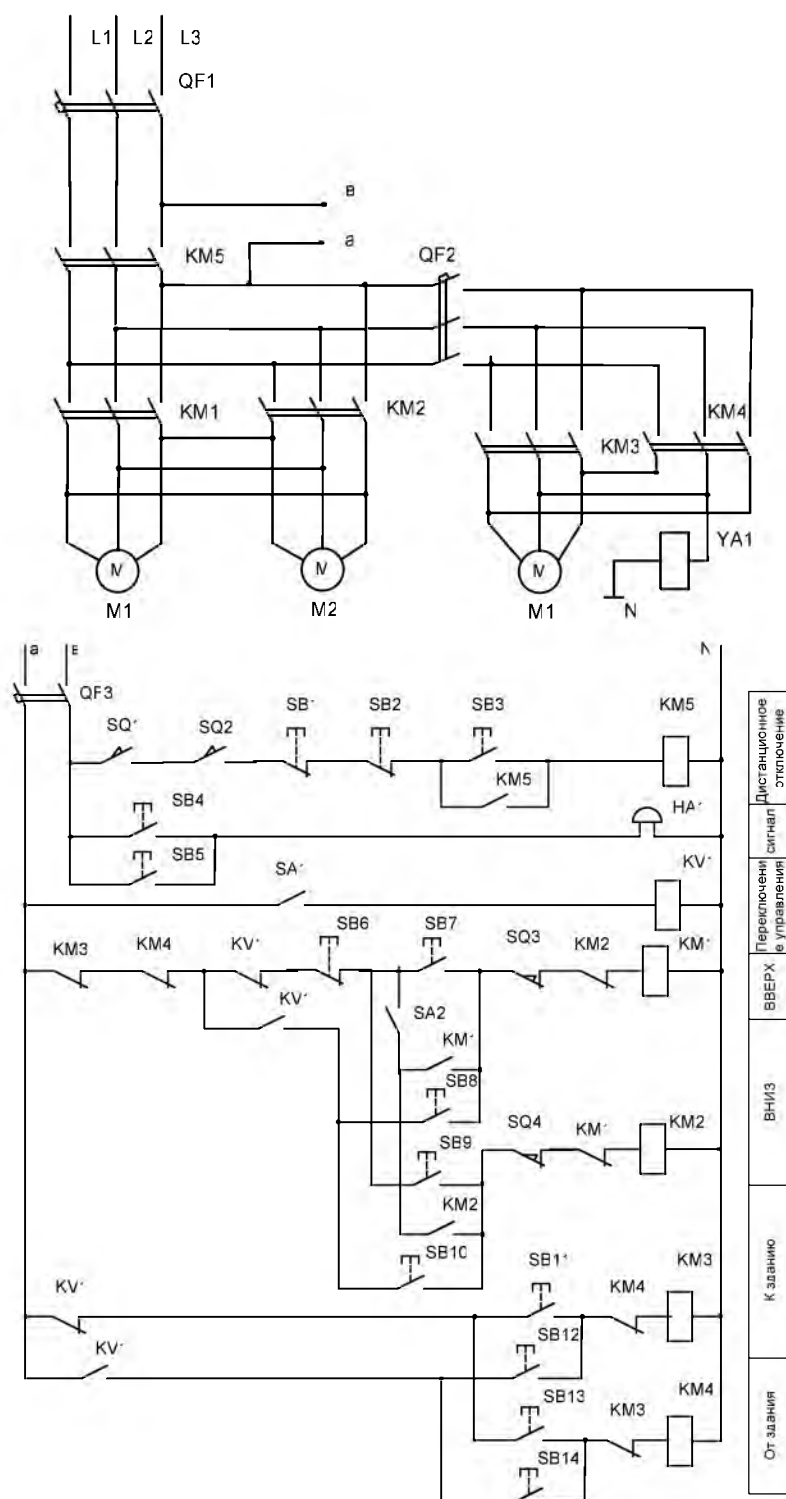


Рисунок – 4.114. Схема электрическая принципиальная подъемника С-953

Принципиальные электрические схемы силовой цепи и цепей управления подъемника ТП-14 приведены на рисунках 4.115, 4.116. Машинист управляет работой двигателя главного подъема **М1** с наземного переносного пульта управления. Вертикальным и горизонтальным перемещением грузовой клетки, т. е. двигателями **М2** и **М3**, управляет рабочий, находящийся на этаже, с помощью четырехкнопочного поста управления, который укреплен на поворотном кронштейне грузовой клетки. Сирены звуковой сигнализации установлены одна в наземном шкафу, а другая — в шкафу каретки. Сирены

включаются кнопкой **SB2** на наземном пульте или кнопкой **SB3**, находящейся на поворотном кронштейне клетки.

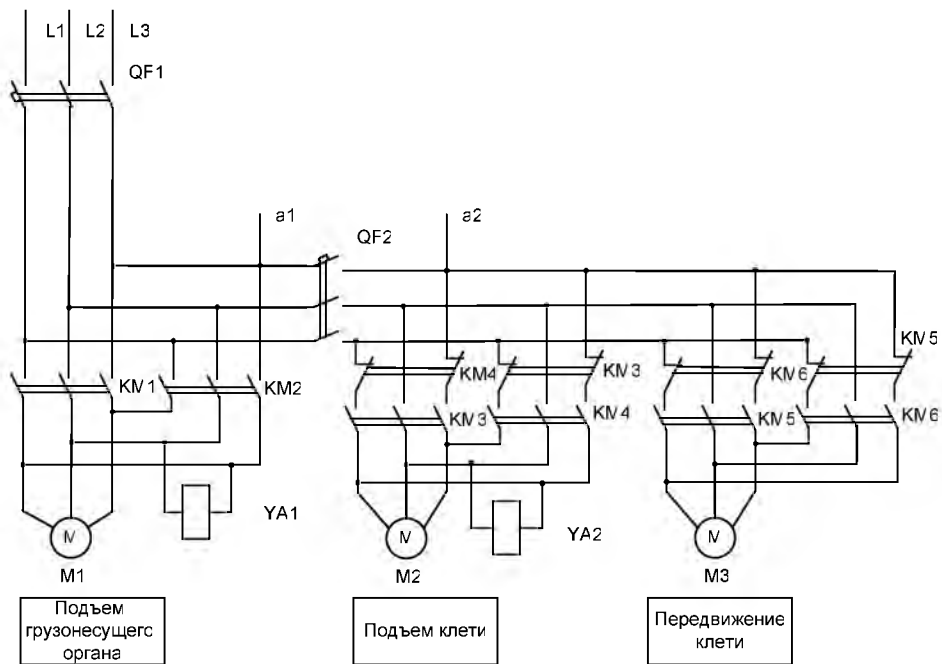


Рисунок – 4.115 - Схема электрическая принципиальная силовой цепи подъемника ТП-14

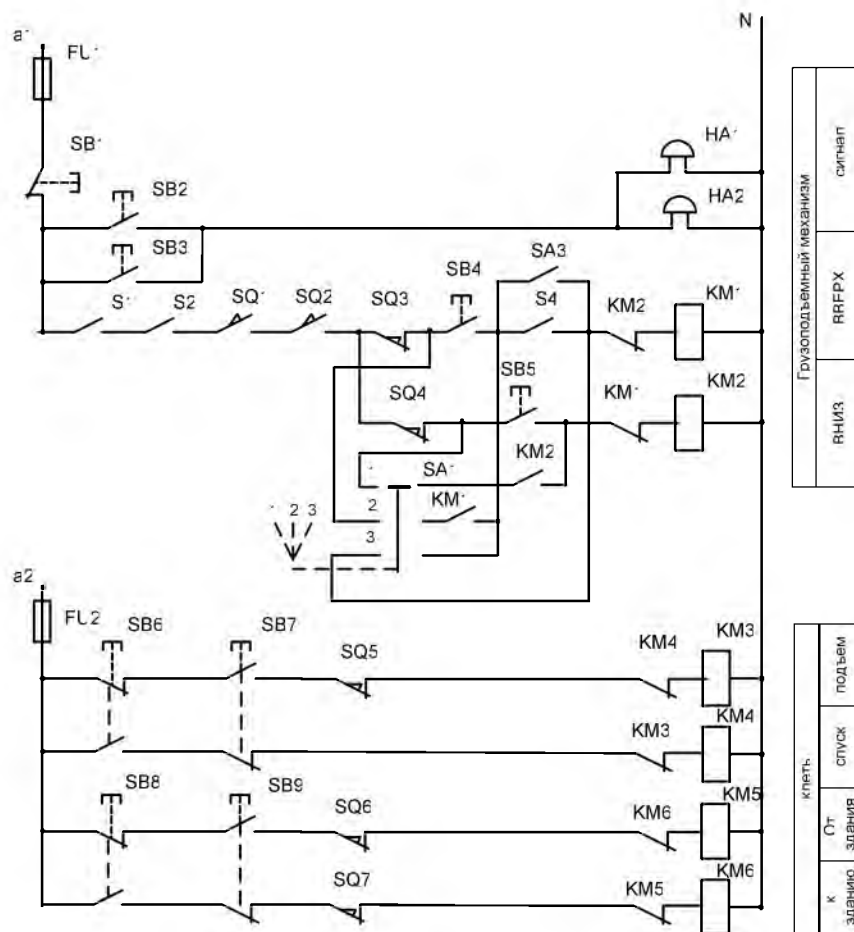


Рисунок – 4.116 - Схема электрическая принципиальная цепей управления подъемника ТП-14

Схема, также имеет адресователь (на рис. 4.116 не показан), который автоматически останавливает грузовую каретку на уровне заданного этажа при ее движении вверх. В системе адресования использован бесконтактный конечный выключатель КВД-100. Он установлен на каретке грузонесущего органа, а металлические пластины, взаимодействующие с ним, смонтированы на мачте подъемника на уровне требующихся остановок грузонесущего органа при его подъеме на этажи. Технологический режим (рабочий или пусконаладочных работ) перемещения грузонесущего органа устанавливают с помощью универсального выключателя *SA1*. В рабочем режиме главный двигатель *M1* пускают нажатием кнопок *SB4* «Вверх» или *SB5* «Вниз», расположенных на переносном наземном пульте управления. Точная остановка каретки обеспечивается с помощью переключателя *SA3*, *SA4*. В автоматическом режиме управления каретка останавливается при движении вверх — на любом, заранее выбранном этаже; при движении вниз — только на уровне нижней погрузочной площадки (при воздействии на конечный выключатель *SQ4*). В ручном режиме управления каретку можно остановить как при движении ее вверх, так и при движении вниз. Для этого поступают следующим образом. После того как каретка пройдет уровень предшествующего этажа, нажимают кнопку *SB1* «Ручной останов» на уровне этажей и держат ее нажатой, пока каретка не остановится. Для мгновенной аварийной остановки каретки как при движении вверх, так и при движении вниз нажимают кнопку *SB1* на пульте управления. Перемещение рабочего органа вдоль мачты, подъем клетки, а также перемещения грузонесущего органа вдоль мачты блокируются с помощью конечных выключателей *SQ3...SQ7*, которые включены в соответствующие цепи управления двигателями *M1*, *M2* и *M3*.

Кран – это устройство для подъема и вертикального или горизонтального перемещения грузов на определенные расстояния (рис. 4.117).



Рисунок 4.117– Общий вид мостового крана

В зависимости от типов конструкции, условий и места работы, краны разделяют на мостовые, стреловые, краны - штабелёры и краны с несущими канатами. В цехах предприятий тяжелой

и лёгкой промышленности большое распространение получили мостовые краны. С их помощью производится подъем и опускание деталей различных механизмов, производственных контейнеров, резервуаров, а также их перемещение вдоль или поперек территории цеха. В зависимости от специфики

производственной территории и вида грузов, определяется и тип мостового крана, который будет использоваться. Многие узлы мостовых кранов, к примеру, механизм подъема, являются однотипными что в свою очередь облегчает их ремонт и обслуживание. На рисунке 4.118 представлена блок-схема мостового крана.

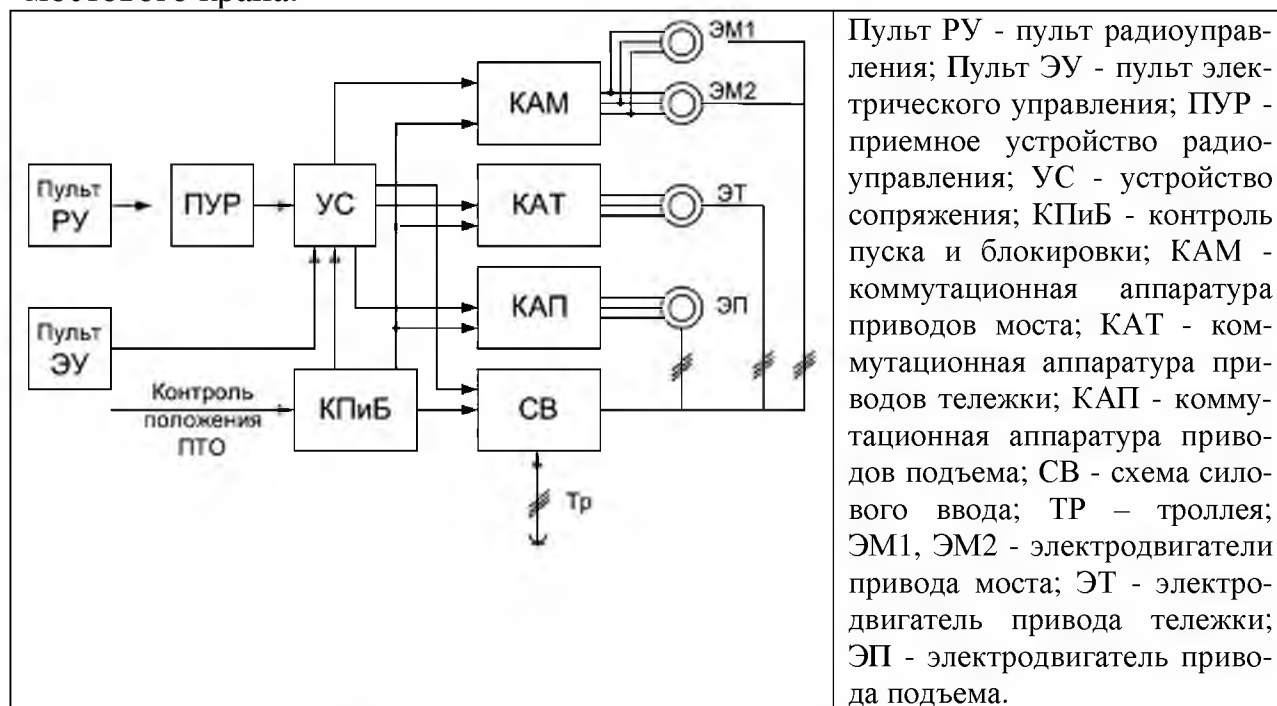


Рисунок 4.118 – Блок-схема мостового крана

Очень часто, в последнее время, в крановых механизмах да и в различных подъемниках стали использовать радиоуправление для коммутации аппаратов в электрических схемах (рис. 4.119).



Рисунок 4.119– Внешний вид устройств радиоуправления грузоподъемными механизмами

Используются модели F21... F24 - радиоуправление тельфером и краном, предназначена для управления краном-балкой и тельфером закрепленным на нем, а также для управления воротами гаража или освещением участка (рис. 4.120, 4.121). Эффективная дальность - в радиусе 100 метров в любом направлении, и не смотря на препятствия оператор может свободно пе-

ремещаться по цеху и выбирать лучшее визуальное положения для осуществления операции. Радиоуправление талью повышает безопасность при проведении подъемных работ и значительно улучшает эффективность производства.



Рисунок 4.120– Комплекты для радиоуправления электростаями и мостовыми кранами F21-24

Уровень автоматизации подъемных и транспортирующих механизмов постоянно повышается. Особенно это заметно при большой их концентрации на одном производственном объекте. Электроприводы включают в этом случае частотные преобразователи и микроконтроллеры. Все электродвигатели,

кроме привода передвижения тележки, снабжаются инкрементальными датчиками скорости. Привод передвижения моста может быть выполнен по схеме “электрического вала”. Для этого применяется контроллер синхронизации (рис. 4.122), установленный в привод передвижения моста №2, который является подчиненным приводом.



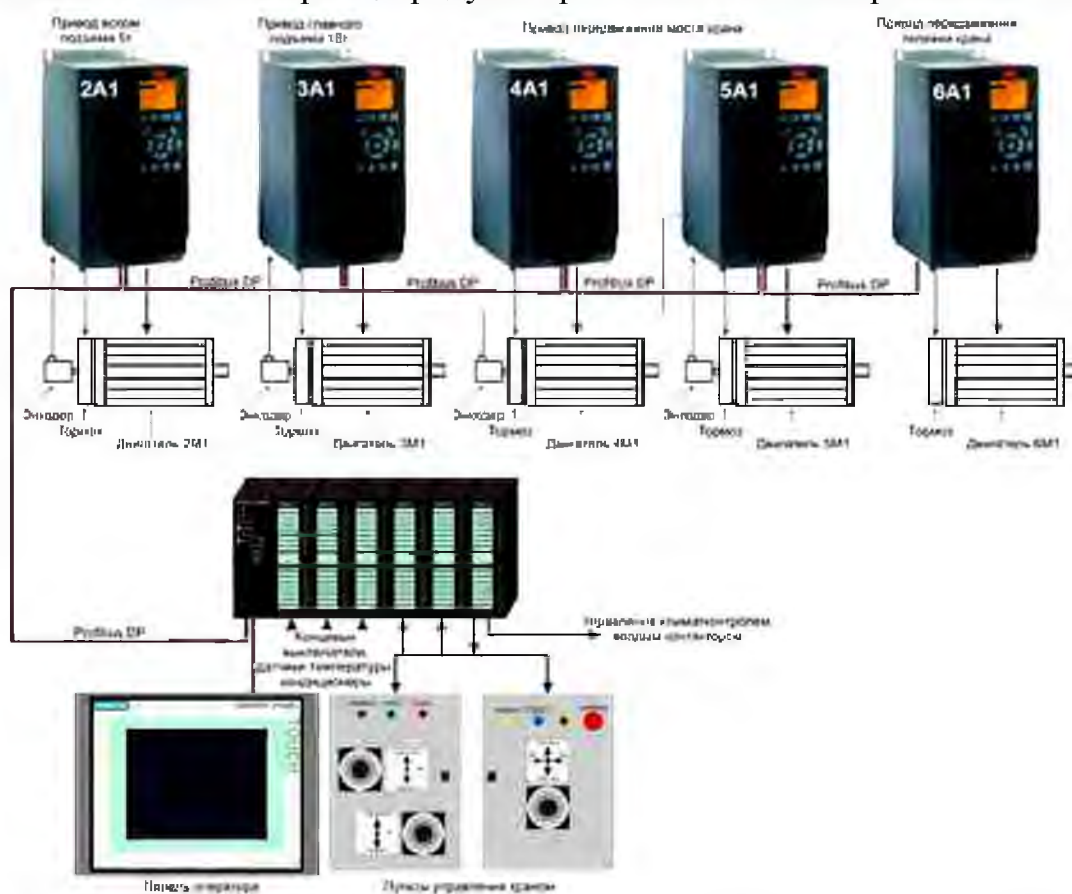
Рисунок 4.121 – Комплекты для радиоуправления электростаями и мостовыми кранами A21-E2 TELECRANE

Ведущий привод (привод передвижения моста №1) работает в функции векторного управления без обратной связи. Сигнал с инкрементального датчика этого привода поступает на вход контроллера

синхронизации (привод №2). При вращении электродвигателя 4M1 контроллер синхронизации выдает приводу №2 задание согласно сигналу с инкрементального датчика скорости 4BR1. Таким образом, электродвигатель 5M1 синхронно вращается с 4M1.



Все преобразователи соединены могут объединяться по информационной сети (например Profibus DP), мастером которой выступает общий контроллер (Simatic S7 315-2DP) (рис. 4.123). В качестве графического человеко-машинного интерфейса применяется сенсорная панель. Сигналы состояния предохранительных разъединителей, автоматических выключателей, контакторов каждого привода, как и в аналогичных проектах, поступают на дискретные входы соответствующего преобразователя, и вместе с другой диагностической информацией (ток двигателя, частота вращения, аварийные и предупредительные сообщения, и т.д.) передаются по сети Profibus DP в контроллер. Управление электрогидравлическими тормозами и обдувом двигателей производится соответствующими преобразователями. Привода крана управляются от контактных джойстиков, сигналы от которых поступают в контроллер. Для обеспечения диагностирования преобразователей частоты и состояния конечных выключателей, при аварийном отключении силового питания крана, предусмотрен источник бесперебойного питания.



4.6. Схемы автоматизации лифтов

Привод основной массы типовых лифтов осуществляется от трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, односкоростных (для магазинных, малых грузовых и тротуарных лифтов) или двухскоростных (рис. 4.124). Привод механического тормоза осуществляется тормозными магнитами или постоянного тока, питание которого производится через выпрямительные диоды.

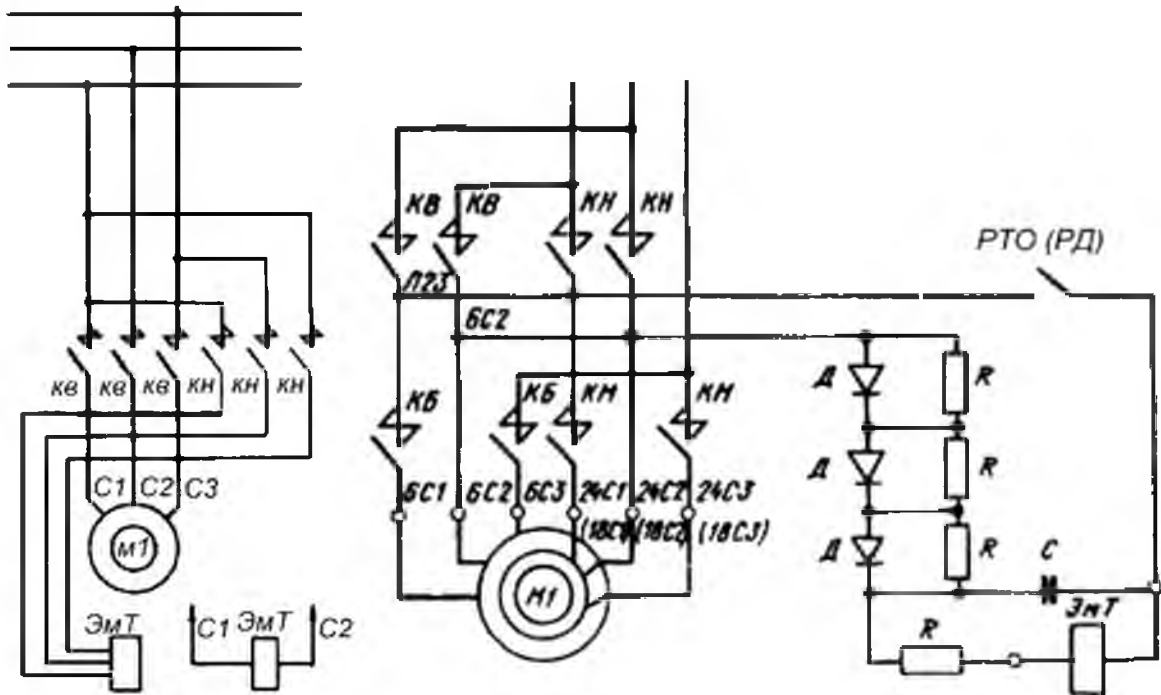


Рисунок 4.124 - Схемы силовой цепи электропривода лифтов с односкоростным и двухскоростным электродвигателем

Цепи управления питаются либо переменным током напряжением 220 В (магазинные, малые грузовые и тротуарные лифты), либо постоянным током напряжением 110 В. В пассажирских лифтах с автоматическим приводом дверей от понижающего трансформатора питается двигатель дверей. Для этой цели понижающий трансформатор на низкой стороне имеет дополнительную отпайку на напряжение 95 В. От отпайки на напряжение 85 В питается выпрямитель цепей управления. Цепи сигнализации, лампы резервного освещения, штепсельные розетки ремонтного напряжения, ремонтная телефонная связь питаются напряжением 24 В. Основное освещение кабины выполнено на 220 В переменного или 110 В постоянного тока. Состояние любого из предохранительных устройств, закрытие дверей кабины и шахты, запирающие замки дверей шахты контролируются конечными выключателями. Движение кабины возможно только при исправном состоянии предохранительных устройств и закрытых (запертых) дверях кабины и шахты. Контактные направления, подающие питание на двигатель лебедки, запитываются

непосредственно через контакты предохранительных устройств и дверей кабины и шахты, поэтому срабатывание во время движения любого из предохранительных устройств или открытие дверей шахты или кабины вызывает немедленную остановку лифта. Выбор направления движения и контроль положения кабины в шахте осуществляются механическими этажными выключателями (в магазинных, малых грузовых, тротуарных, грузовых, выжимных, больничных и пассажирских лифтах со скоростью 0,71 м/с); герконовыми датчиками в пассажирских лифтах со скоростью 1 и 1,4 м/с; центральным этажным аппаратом (копир-аппаратом) в грузовых лифтах с монорельсом. Импульс на остановку кабины на заданном этаже в лифтах с односкоростным приводом осуществляется механическими этажными выключателями, в остальных - герконовыми датчиками.

Герконовый датчик (рис. 4.125, а) состоит из постоянного магнита и коммутационного элемента с двумя магнитоуправляемыми герметизированными контактами (герконами). Под воздействием магнита контакты замыкаются и исполнительное реле включено. При введении в щель магнитного шунта магнитный поток замыкается через шунт, герконы размыкаются и реле отключается.

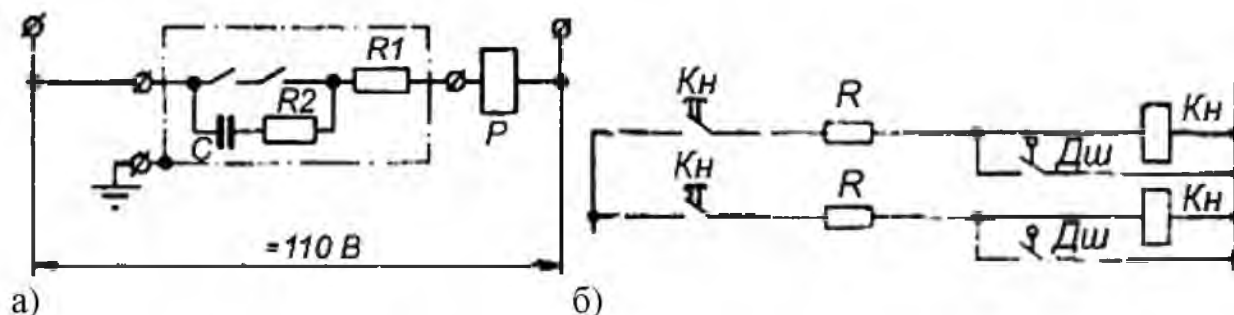
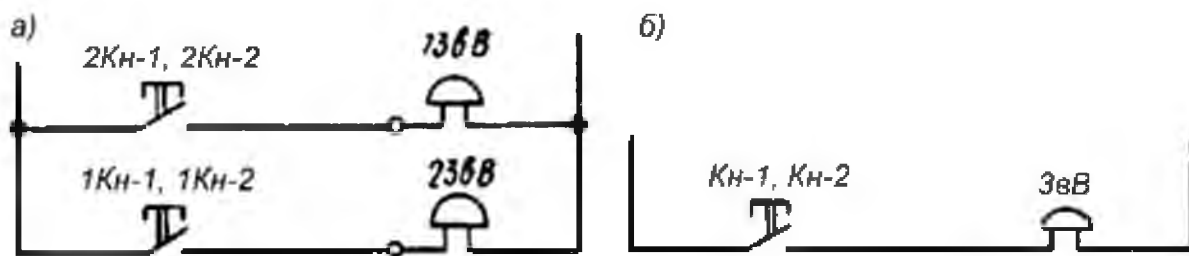


Рисунок. 4.125 - Схема включения герконового датчика и цепь снятия вызова после прибытия кабины на заданный этаж

Регистрация приказов и вызовов осуществляется: с помощью этажных реле (РЭ) - в этом случае выполнение приказа (вызова) одновременно снимает его регистрацию; с помощью удерживающих электромагнитов, расположенных непосредственно в кнопках, - такую систему регистрации применяют в лифтах с собирательным управлением (когда может быть зарегистрировано одновременно любое число приказов и вызовов); в этом случае снятие приказов происходит после выполнения последнего приказа данного направления, снятие вызова - после прибытия кабины на заданный этаж и открытия дверей: удерживающий электромагнит кнопки шунтируется контактом контроля закрытия (ДШ) или запираения замка (ДЗ) шахтной двери (рис. 4.125,б).

В магазинных, тротуарных, а также малых грузовых и грузовых всех типов лифтах на две остановки - вызов кабины только звуковым сигналом (рис. 4.126).



а - при управлении с двух этажей

б - при управлении с одного этажа.

Рисунок 4.126 - Цепь звуковой сигнализации о вызове в магазинных, тротуарных, малых грузовых и грузовых лифтах на две остановки

В магазинных и грузовых (всех типов) лифтах с числом остановок больше двух - вызов кабины сигнальный звуковой и световой.

В шахте, на уровне каждого этажа устанавливаются этажные переключатели (ЭП). В корпусе ЭП установлены два прямоходовых выключателя и каждый из них имеет один размыкающий контакт, один замыкающий. На эти контакты воздействует поворотный рычаг, который может занимать три фиксированных положения: правое, среднее, левое. На кабине устанавливается специальная фигурная отводка (ФО). При движении кабины и прохождении ролика ЭП по раствору ФО, рычаг переводится из одного положения в другое. Этажный переключатель и фигурная отводка образуют селектор - устройство, выбирающее направление движения кабины и остановки ее на данном этаже.

Переключение контакторов «Вверх» и «Вниз» можно рассмотреть по схеме, представленной на рисунке 4.127.



Рисунок 4.127 - Схема включения контакторов «Вверх», «Вниз» для трех этажей

На схеме представлено состояние контактов при нахождении кабины на первом этаже. Рычаг 1ЭП занимает среднее положение и его контакт 1ЭП-1 разомкнут. Рычаги 2ЭП и 3ЭП повернуты вправо и их вторые контакты замкнуты. Команду на включение контакторов дает контакт соответствующего этажного реле. Так если замкнется контакт РЭ (3), катушка КМ1 получит питание и лифт получит движение «Вверх». Контакт РЭ (2) подключен к контактам переключателя 2ЭП, который подключен к контакторам КМ1 и КМ2 до контактов 3ЭП

и 1ЭП, для предотвращения переподъема или переспуска кабины при неисправности промежуточных ЭП. Например, на площадке второго этажа нажата кнопка вызова и включилось реле РЭ(2), при этом получил питание контактор КМ1 – кабина движется вверх. При подходе кабины ко второму этажу фигурная отводка переведет рычаг 2ЭП в среднее положение и контакт 2ЭП-

2 разомкнется, отключив катушку КМ1 от напряжения. Накладывается тормоз и кабина останавливается. Предположив, что этажный переключатель 2ЭП поврежден и его контакт 2ЭП-2 не разомкнулся, кабина проследует на верхний этаж. На уровне третьей этажной площадки ее остановит разомкнутый контакт 3ЭП-2. Если же неисправен и этот контакт, то сработает конечный выключатель, который отключит напряжение от всей цепи управления.

Специальный механизм, размещенный на крыше кабины, открывает и закрывает двери кабины и одновременно двери шахты того этажа, на котором стоит кабина. Это механизм приводится в движение асинхронным двигателем, управление которого производят реле открывания дверей РОД и реле закрывания дверей РЗД. Катушки этих реле включены по схеме, представленной на рисунке 4.128.

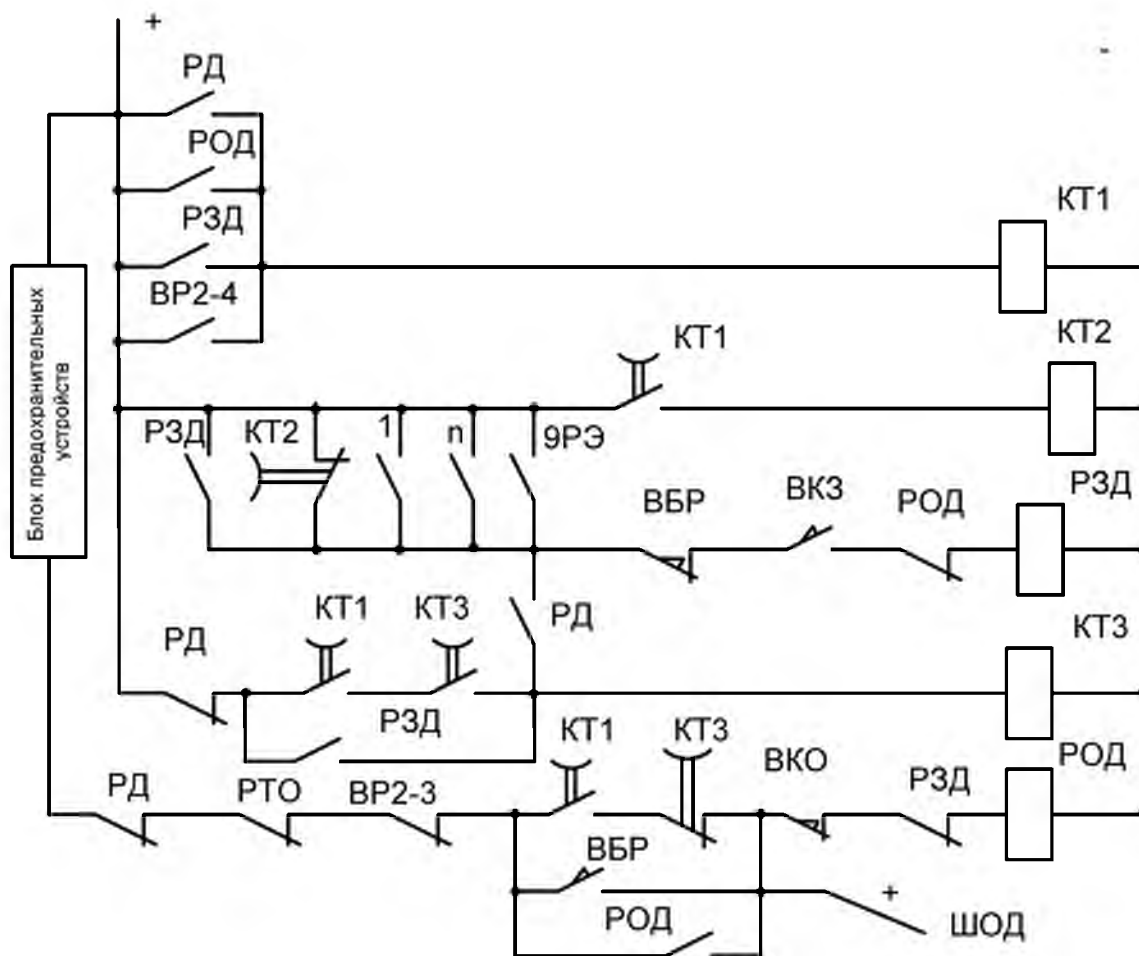


Рисунок 4.128 – Схема электрическая принципиальная управления автоматической дверью кабины и шахты

В случае открытия (закрытия) полностью двери двигатель отключается одним из конечных выключателей - открывания ВКО или закрывания ВКЗ. Типовые схемы лифтов выполняются в режиме закрытой двери, поэтому ВКЗ показан разомкнутым, а ВКО- замкнутым. Чтобы пассажира не прижало дверью, установлен блокировочный выключатель реверса ВБР. В цепи РЗД кон-

такт этого выключателя замкнут, а в цепи РОД – разомкнут. Предположим, что дверь закрывается, а в дверном проеме остался пассажир. Тогда контакт ВБР в цепи РЗД разомкнется, а другой контакт ВБР замкнет цепь питания РОД, включится открывание.

Контакт ВБР в цепи РОД зашунтирован собственным контактом РОД и цепью контактов реле времени КТ1 и реле пуска КТ3. Когда кабина подходит на этаж остановки, то команду на включение реле РОД дает контакт реле движения РД. Команда будет выполнена, если кабина остановилась на уровне данного этажа и замкнулся контакт точной остановки РТО. Контакт выключателя режимов работы ВР2-3 позволяет разомкнуть цепь реле РОД в режиме «Управление из машинного отделения». Команду на закрытия дверей подает один из контактов этажного реле РЭ, либо контакт реле времени КТ2. Включившись, РЗД включает себя на самоудержание и остается включенным до тех пор, пока не сработает конечный выключатель закрывания ВК3. Реле времени имеет выдержку около 3,5 с. Оно включается, если замкнут один из контактов: РОД, РЗД, РД. В режиме «Управление из машинного отделения» КТ1 включено контактом ВР2-4. Через контакт КТ1 получает питание реле времени КТ2. Реле пуска КТ3 при неподвижной кабине включается контактом РЗД, после размыкания этого контакта оно остается включенным по цепи РД, КТ1, КТ3, пока не разомкнется контакт КТ1. Реле КТ3 во время движения кабины включено одним из контактов пРЭ и замыкающим контактом реле движения РД. Оно отключается в момент перехода с большей скорости на меньшую, когда разомкнется контакт пРЭ.

Электрическая схема пассажирского лифта грузоподъемностью 320 кг со скоростью 0,71 м/с (рис. 4.129). Исходное состояние схемы в **режиме нормальной работы**: двери кабины и шахты закрыты, предохранительные устройства исправны, вводное устройство, автоматические выключатели включены, переключатель режимов работы ВР2 (рис. 4.131, б) в положении "Нормальная работа", кабина находится на 1-м этаже. Для входа в кабину пассажир нажимает кнопку вызова 1Кн и по цепи: питающий зажим 101 - контакты предохранительных устройств (101-201) - контакты дверей кабины ДК и шахты ДЗ, ДШ (201-201А), контакт блокировочного ключа ревизии КБР, контакты реле РД, переключателя ВР2-1, реле РВ-2 (201А-21), контакт кнопки 1Кн, этажного переключателя 1ЭП-3 (21- 51), контакты реле РВ-5 (51-51А), РП1, РТО, выключателя ВКО, реле РЗД - включается реле РОД. Замыкаются его контакты: РОД (39-49) поддерживает питание собственной катушки после отпускания кнопки по цепи: 101-201, контакты реле РД, РТО, ВР2-3 (201-39); РОД (Л51-С1 и Л52-С2) включают двигатель дверей - двери кабины и шахты открываются. После полного открытия дверей размыкается контакт ВКО (49-27), установленный на крыше кабины, реле РОД отпадает и отключает двигатель привода дверей, одновременно замыкаются размыкающие контакты РОД (69-57А, 127-31 и 31А-139).

Пассажир входит в кабину и нажимает кнопку приказа, например ПКнП. При этом по цепям: 101-201, контакты реле РД, РТО, выключатели ВР2-3

(201-39), реле РКД (39-11), кнопки ПКНП - включается этажное реле ПРЭ, которое замыкает свои контакты ПРЭ (П5-31) и ПРЭ (101-69); 101 - контакты реле ПРЭ и РОД (101-57А), замкнутый при открытых дверях контакт ВКЗ (57-57Б), контакт реверса дверей ВБР включается реле закрытия дверей РЗД. Замыкаются его контакты: РЗД (101-99), через который включается реле РВ-5; РЗД (71-89), через который включается реле РП1, РЗД (Л51-С2 и Л52-С1), включается двигатель привода дверей, двери кабины и шахты закрываются. После их полного закрытия размыкается контакт ВКЗ на крыше кабины, реле РЗД обесточивается и отключает двигатель привода дверей. Замкнувшийся контакт РЗД (97А-249А) включает реле контроля дверей РКД.

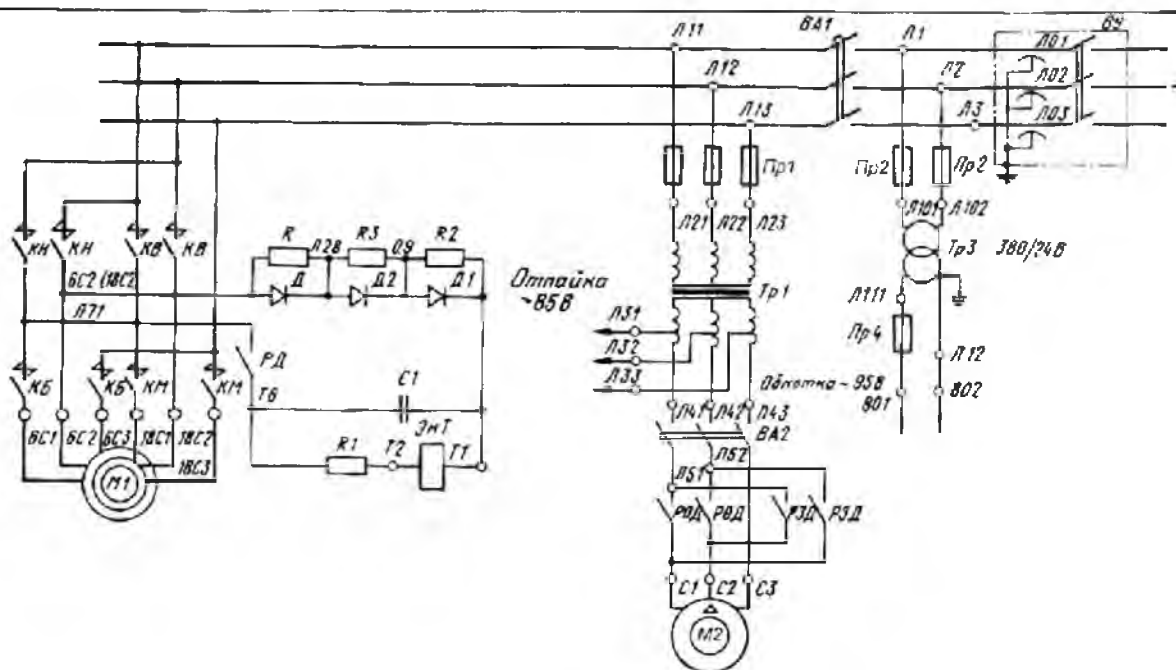
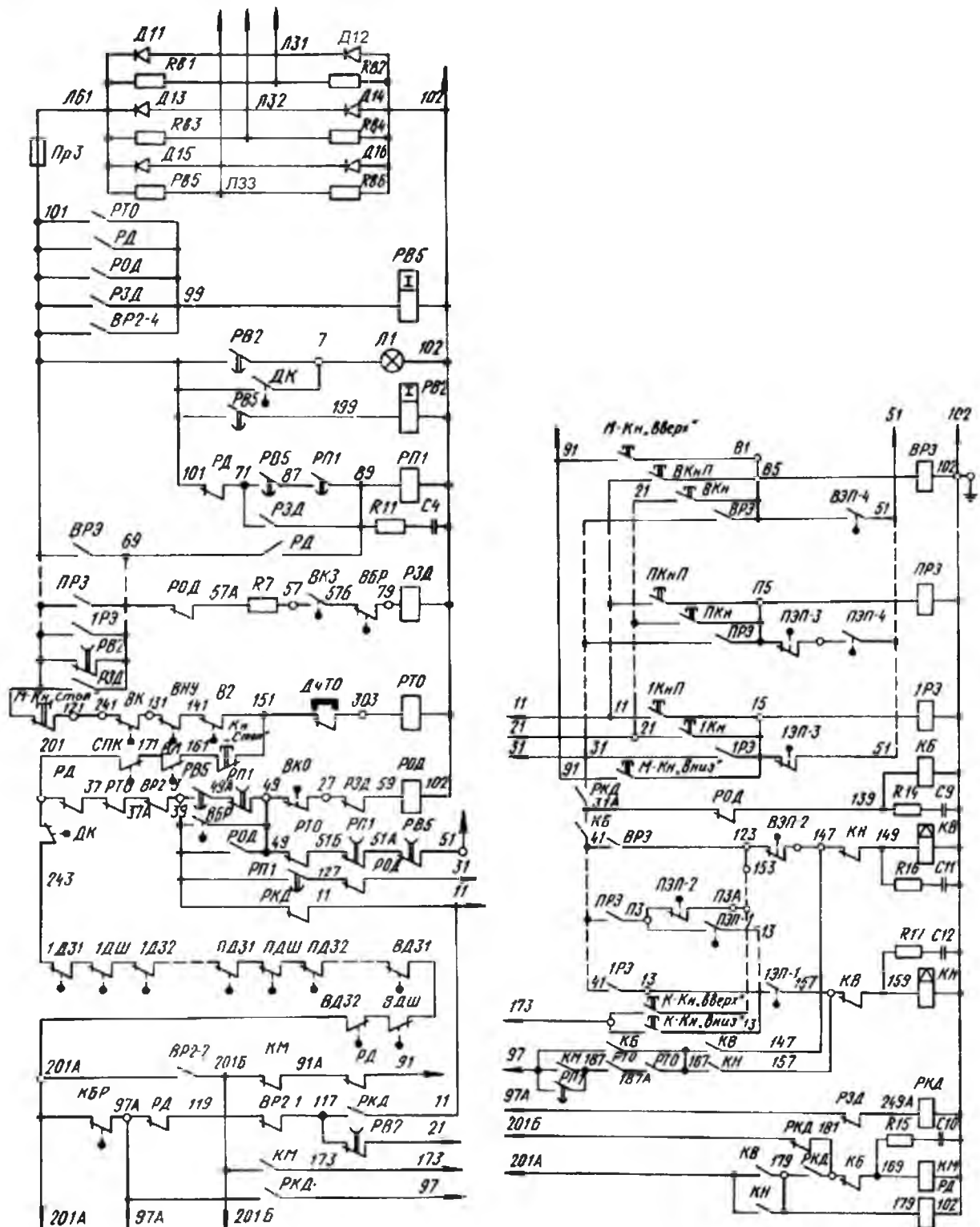


Рисунок 4.129 - Цепи электропривода лебедки, дверей кабины пассажирского лифта грузоподъемностью 320 кг со скоростью движения 0,71 м/с

После отключения реле РЗД катушка реле РВ-5 не отпадает, так как выдержка времени реле на отключение составляет 3,5 с. Реле РП1 включено теперь через собственный контакт и контакт реле РВ-5 (71-89). По цепи: 101-201-39, через контакты реле РП1 (39-127), РОД (127-31), РКД (31-31А) и РОД (31А-139) включается контактор большой скорости КБ, а через его замкнувшийся контакт КБ (31А-41), через контакт ПРЭ, контакты этажных переключателей ПЭП-2 и ВЭП-2 включается контактор направления вверх КВ. Главные контакты контакторов КБ и КВ, замыкаясь, подают напряжение на двигатель лебедки (М1). Одновременно контактор КВ контактом (201А - 179) включает реле РД, которое в свою очередь подключает к сети тормозной электромагнит ЭмТ. Снимается тормоз и электродвигатель разгоняется до основной скорости. Кабина движется вверх. Через замкнувшийся контакт реле РД (101-99) будет питаться теперь реле РВ-5, через РД (69-89) - реле РП1.

С началом движения [контакт РД (201-37) разомкнут] питание этажного реле и контакторов происходит по следующим цепям; 101-201-201А, контакты КБР (201А-97А), реле РКД (97А-97), контакторов КБ и КВ

(97-147) - контактора КВ; по той же цепи и далее после зажима 147 через контакты ВЭП-2, ПЭП-2, контакты реле ПРЭ, контактора КБ (41-31А) - контактора КБ; по той же цепи и далее после зажима 31А через контакты, реле РКД и ПРЭ (31А-П5) - реле ПРЭ.



В - верхний этаж; П - промежуточный этаж.

Рисунок 4. 130 - Цепи управления пассажирского лифта грузоподъемностью 320 кг со скоростью движения 0,71 м/с

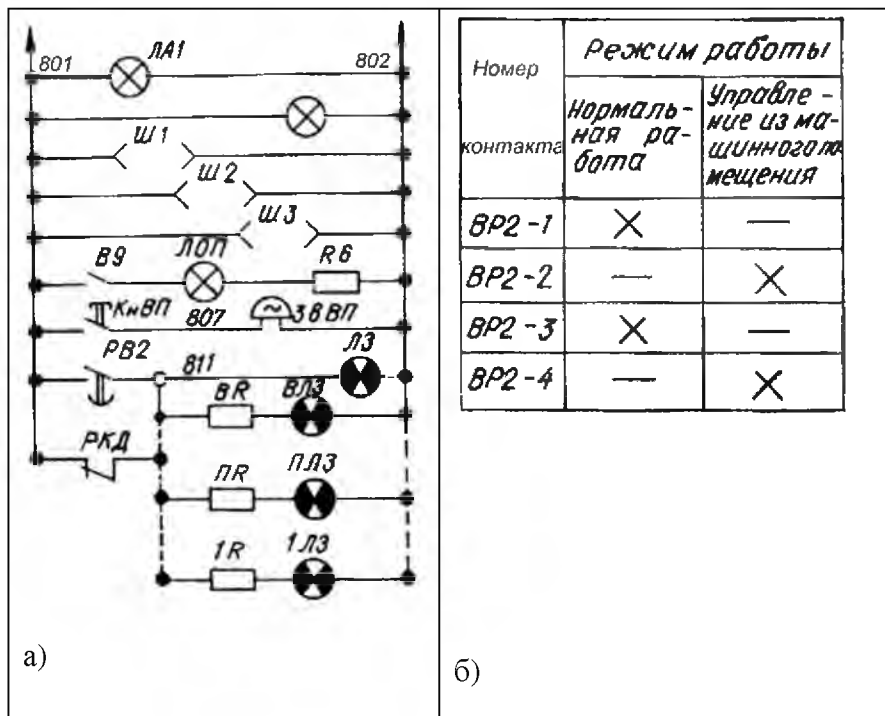


Рисунок 4. 131. Цепи сигнализации, аварийного освещения и ремонтного напряжения пассажирского лифта и диаграмма работы выключателя ВР-2

тактора КВ. Контакт КБ силовыми контактами отключает обмотку большой скорости приводного двигателя М1 от сети, а контакт КБ (181-169) включает контактор малой скорости КМ, который своими силовыми контактами подключает к сети тихоходную обмотку электродвигателя - кабина продолжает движение на сниженной скорости.

После размыкания контакта КБ (97-167) питание контактора КВ происходит через замкнутые контакты реле РТО (187-187А; 187А-167) и в первый момент черед контакт реле РП1 (97-187), который размыкается с выдержкой времени около 0,7 с после отключения его катушки замыкающим контактом реле ПРЭ (101-69). За это время успевает замкнуться контакт (97-187) контактора КМ, через который и осуществляется дальнейшее питание контактора КВ.

В зоне точной остановки установленный в шахте стальной шунт входит в рабочую щель датчика точной остановки, герметический контакт датчика ДчТО (151-303) размыкается и отключает реле РТО. Его контакты (187-167) разрывают цепь питания катушки контактора КВ; контакт РТО (37-37А) в цепи реле открытия дверей РОД замыкается. Электродвигатель привода лебедки М1 и катушка тормозного электромагнита ЭМТ обесточиваются. Накладывается механический тормоз и кабина останавливается.

После отключения контактора КВ отключается реле РД, которое замыкающим контактом (201-37) подает питание на реле РОД; двери открываются. После выхода пассажира из кабины, если не последует новых приказов, двери кабины закроются через 7 с: после окончания открытия дверей ра-

После ухода кабины с остановки датчик точной остановки ДчТО остается без шунта и реле РТО включается, замыкаются его контакты: РТО (187-167), РТО (101-99) и размыкаются контакты РТО (37-37А), РТО (49-51Б). При подходе кабины к этажу, на который был зарегистрирован приказ, контакт этажного переключателя ПЭП-2 размыкается и обесточивает катушки реле ПРЭ и кон-

замкнется контакт реле РОД (101-99) и с выдержкой времени 3,5 с отключается реле РВ-5, его контакт (101-199) отключит реле РВ-2, контакт которого (101-69) также через 3,5с замкнется и включит реле закрытия дверей РЗД.

Если кабина прибыла на этаж по вызову, то двери открываются, автоматически, также как и в режиме работы по приказам. После открывания дверей с помощью реле РВ-5 и РВ-2 создается выдержка времени около 7 с, необходимая для входа и выхода пассажиров, затем двери автоматически закрываются. Кабина может быть отправлена по другому вызову (если пассажир не вошел или вошел, но не нажал кнопку приказа) по истечении дополнительной выдержки времени еще 7 с. Реле времени должны быть отрегулированы таким образом, чтобы при разрыве цепи катушки якорь реле РП1 отпадал с выдержкой времени 0,7 с, а реле РВ-2 и РВ-5 - 3,5 с.

При открытии дверей через контакт РКД, а во время движения через РВ-2 (801-811) подается питание на сигнальные лампы "Занято".

В режиме ревизии лифтом управляют с крыши кабины посредством двухкнопочного поста управления. В poste имеется блокировочный контакт (КБР) и ключ, который, будучи вставлен в пост, замыкает блокировочный контакт КБР (201А-97А). В режиме ревизии ключ вынимается и контакт КБР размыкается, предварительно выключатель ВР2 в машинном помещении ставится в положение "Управление из машинного помещения" Без соблюдения одновременно этих двух условий движение кабины невозможно. Реле РКД в режиме ревизии отключено, так как разомкнут контакт КБР, контактор КМ включится сразу после закрытия дверей через контакт выключателя ВР2-2 (201А-201Б) и замкнет свои силовые контакты в цепи двигателя лебедки М1, подготавливая движение кабины на малой скорости. При нажатии на одну из кнопок кнопочного поста К-Кн "Вверх" или К-Кн "Вниз" включится соответственно контактор КВ или КН. Движение кабины осуществляется только при нажатой кнопке. При отпуске кнопки двигатель отключается, накладывается тормоз и кабина останавливается.

В качестве примера рассмотрим электрическую схему **пассажирского лифта грузоподъемностью 1000 кг**, движущегося со скоростью 1,4 м/с и устанавливаемого в общественных зданиях (рис. 4.132 – 4.136). Кабина лифта оборудована устройством короткоходового пола, под которым установлены специальные следующие микропереключатели. Контакт ВБГ-110 (ограничитель грузоподъемности) не допускает пуска лифта в случае его перегрузки на 110% и более номинальной грузоподъемности. При этом двери не закрываются, и на кнопочном посту загорается световой сигнал "Перегрузка". При загрузке кабины на 90% номинального груза срабатывает переключатель ВБГ-90 и кабина по вызовам не останавливается. Выключатели ВБГ-30 и ВБГ-70 срабатывают, когда кабина загружена соответственно на 30 и 70% номинальной грузоподъемности. С помощью этих выключателей обеспечивается смещение точки начала замедления: отключение контактора КБ задерживается примерно на 0,2 с при загрузке кабины на 70- 100% номинальной грузоподъемности и движении вверх, а также при загрузке на 0-30% номинальной грузоподъемности и движении вниз. При загрузке кабины

на 30-70% номинальной грузоподъемности обеспечивается смещение точки начала замедления примерно на 0,1 с.

При движении лифта вверх с грузом 0-30% и вниз с грузом 70-100% смещение начала замедления не производится. Смещение точки начала замедления увеличивает производительность и улучшает комфортные показатели лифта. Выключатель блокировочный подпольный ВВП срабатывает при нахождении в кабине пассажира или груза весом более 15 кг.

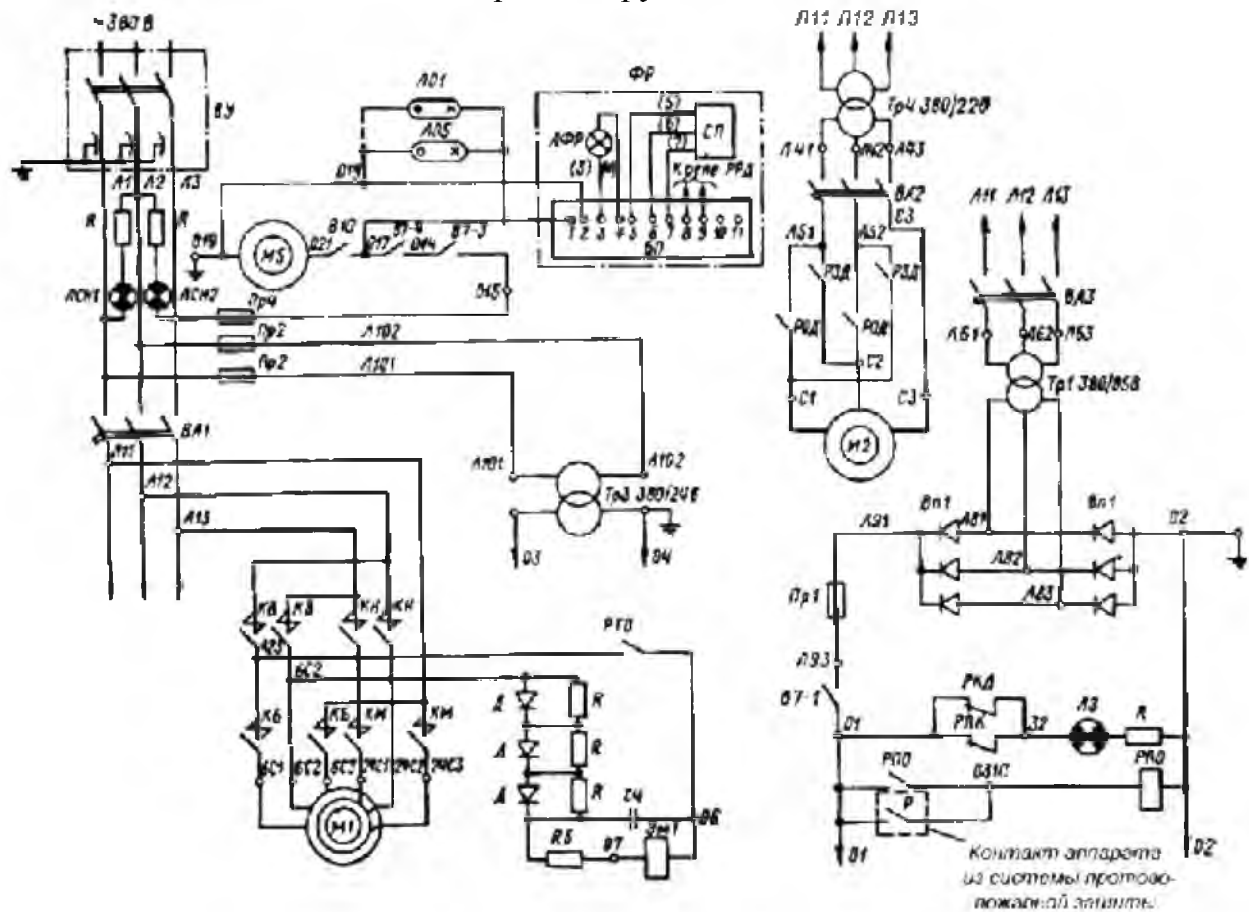


Рисунок 4.132 - Цепи электропривода лебедки, дверей кабины и питания фотореле пассажирского лифта грузоподъемностью 1000 кг со скоростью движения 1,4 м/с

Исходное состояние схемы в режиме **нормальной работы**: вводное устройство, автоматические выключатели, выключатель В7 включены, предохранительные устройства в исправности, двери шахты и кабины закрыты, переключатель режимов работы ВР2 (рис. 4.136, а) в положении "Нормальная работа", кабина лифта - на первом этаже. Режим нормальной работы может быть дневным или утренним. Переключение осуществляется переключателем ВР1 (рис. 4.136, б), установленным в коммутационном устройстве на первом этаже.

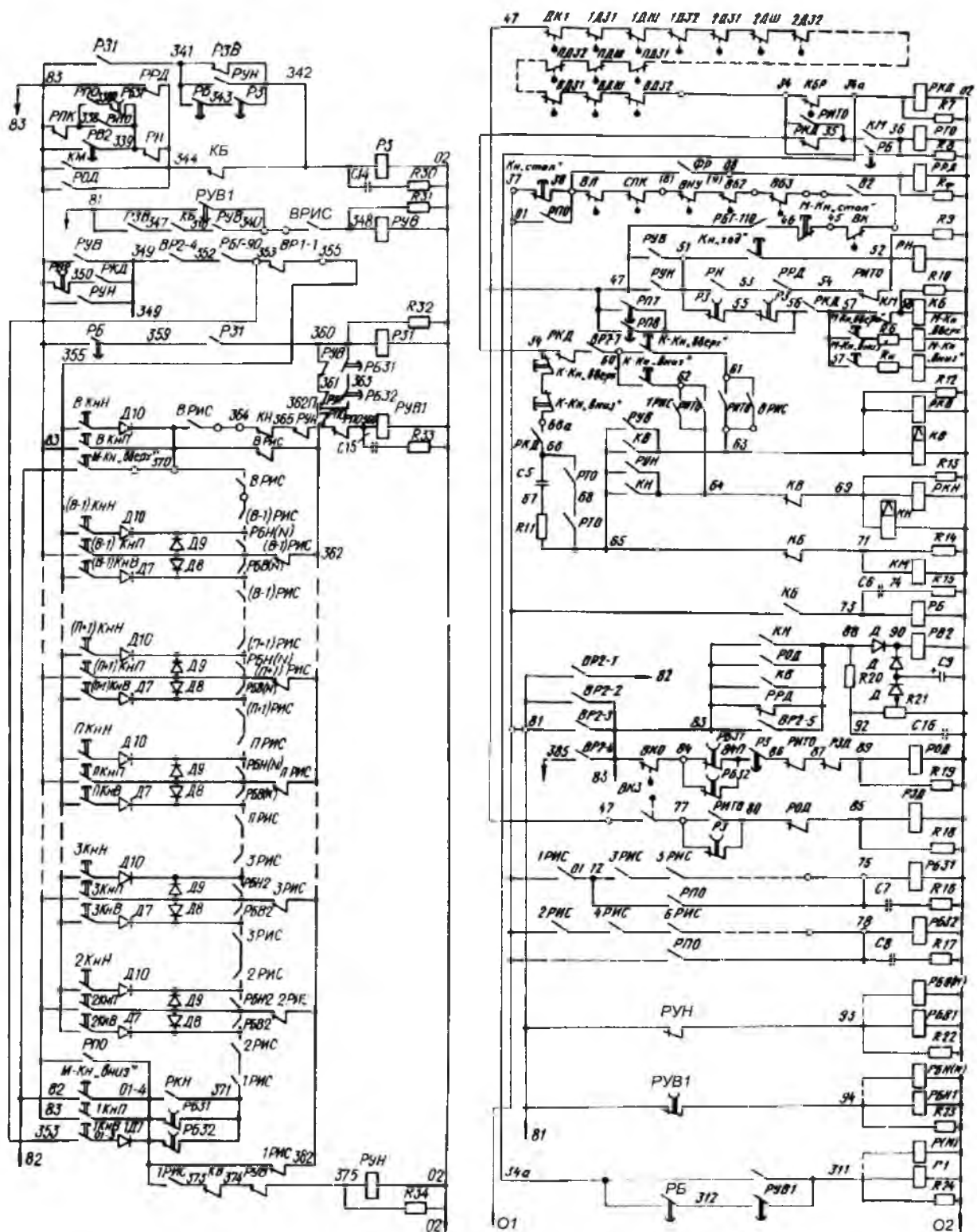


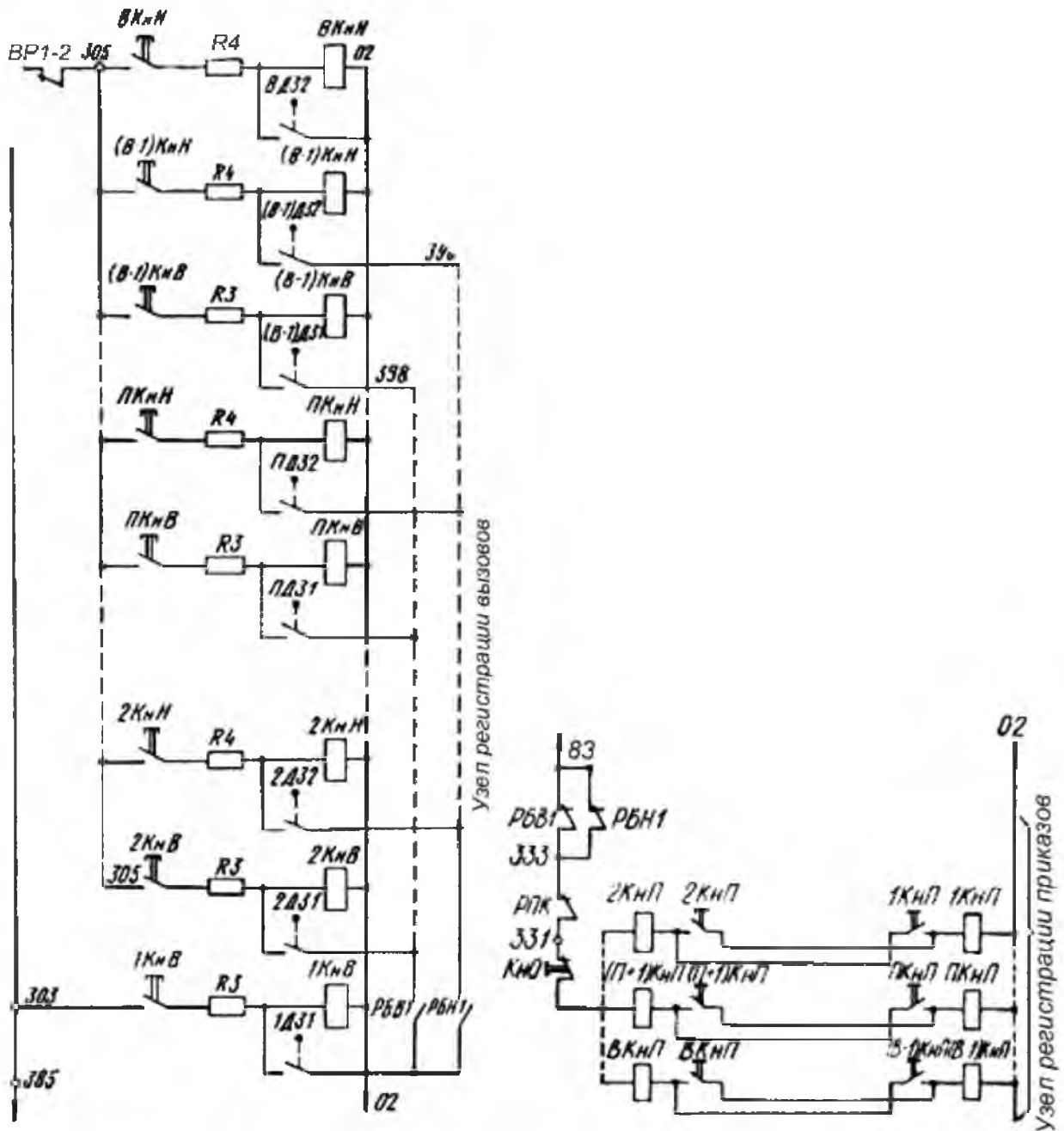
Рисунок 4. 133 - Цепи управления пассажирского лифта грузоподъемностью 1000 кг

В **дневном** режиме осуществляется внутреннее кнопочное управление из кабины с выполнением попутных вызовов при движении кабины вверх и вниз. Обеспечивается вызов пустой кабины на все этажи. При движении кабины с пассажирами и наличии нескольких зарегистрированных приказов и вызовов кабина останавливается на ближайшем по направлению движения

этаже по зарегистрированному приказу или вызову. До выполнения последнего (в заданном направлении) приказа все приказы остаются зарегистрированными.

Закрытие дверей после выхода или входа пассажира в кабину происходит автоматически по истечении выдержки времени после пересечения луча фотореле последним выходящим или входящим пассажиром. Ускорить закрытие дверей можно нажатием кнопки Кн "Ход". Если после выполнения всех приказов зарегистрирован вызов выше или ниже освободившейся от пассажиров кабины, последняя направляется на вызов, направление движения к которому совпадает с прежним направлением движения кабины. Направление движения кабины по вызову или приказу может быть изменено только после выполнения всех приказов и вызовов того направления, в котором двигалась кабина. Свободная кабина с закрытыми дверями остается до следующего вызова на том этаже, на котором она была оставлена последним пассажиром. Для открытия дверей на первом этаже пассажир нажимает кнопку вызова первого этажа 1КнВ. При этом подается питание на реле РЗ1 по следующей цепи: питающий зажим Л93, выключатель В7-1(Л93-01), переключатель режимов работы ВР2-3 (81-83), контакты реле РВ-2 (83-350), реле РКД (350-349), переключателя ВР2-4, реле РБГ-90 (352-353), контакт кнопки вызова первого этажа 1КнВ 353-(01-3), диод 1Д, размыкающий контакт реле 1 РИС (01-4)-362) контакты реле пожарной опасности РПО (362-362П), реле РУН и РУВ (362П- 360). Контакт реле РЗ1 (83-341) через контакт реле РЗВ (341-342) включается реле РЗ, которое в свою очередь контактом РЗ (84П-86) включает реле РОД. Контакт РОД (83-88) включает реле РВ2, а контакт РОД (83-344) обеспечивает дальнейшее питание реле РЗ. Одновременно контакты реле РОД подают напряжение на двигатель привода дверей М2, при этом двери кабины и шахты открываются. Реле РОД и двигатель М2 отключаются при полном открывании дверей - размыкается контакт ВКО (83-84). В начале открывания дверей замыкается контакт 1Д31, шунтирующий катушку электромагнитной кнопки вызова 1КнВ - кнопка размыкается. Реле РЗ продолжает получать питание через контакты реле РВ2, РН, контактора КБ.

Входя в кабину, пассажир пересекает луч фотореле и реле реверса дверей РРД отключается, так как замыкающий контакт Фр (38-08) в его цепи в этот момент разомкнется. (При отсутствии пассажира в дверном проеме контакт фотореле Фр (38-08) замкнут.) Отключившись, реле РРД своим контактом (83-88) подключит реле РВ2, контактом (83-344) - реле РЗ. После освобождения пассажиром дверного проема вновь включится реле РРД и разомкнет свои контакты в цепях реле РВ2 и РЗ, однако реле РЗ на время, равное выдержке времени реле РВ2, остается включенным. Таким образом, включение реле РЗД и закрытие дверей произойдет через 3-4 с после пересечения пассажиром дверного проема. Закрытие, дверей может быть ускорено нажатием кнопки Кн "Ход" [включается реле РН, контакт которого РН (339-344) отключит реле РЗ, а контакт РЗ (77-80) включит реле РЗД].



В - верхний этаж; П - промежуточный этаж.

Рисунок 4.134 - Цепи регистрации приказов и вызовов пассажирского лифта грузоподъемностью 1000 кг со скоростью движения 1,4 м/с

Для отправления кабины пассажир нажимает кнопку требуемого этажа, например (П+1) КнП и кнопку Кн "Ход". Через контакт кнопки приказа (П+1) КнП, диоды, включенные параллельно контактам реле РБН, контакты реле РБВ (оно включено), контакты реле РИС, вышележащих этажей (П+1/-7/-364), включается реле РУВ1 и через контакт РУВ1 (81-340) - реле РУВ. Катушка кнопки приказа удерживается во включенном состоянии, получая питание по цепи: зажим 83, контакты реле РБН1 и РПК (83-331), контакт кнопки отменены приказа КНО, контакт самой кнопки приказа.

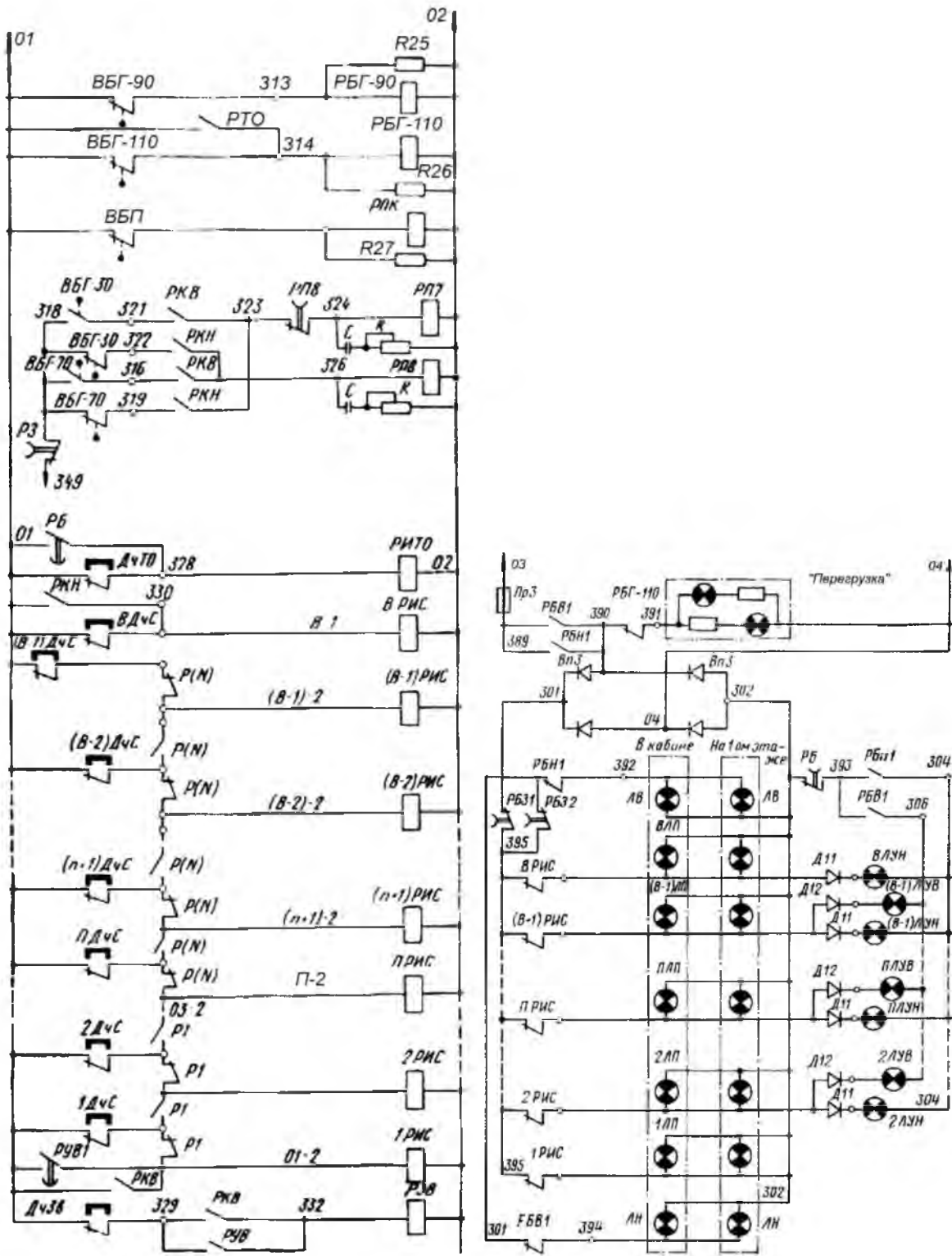


Рисунок 4.135 - Цепи подпольных контактов, датчиков селекции и точной остановки пассажирского лифта грузоподъемностью и цепи сигнализации о положении кабины и направлении ее движения пассажирского лифта

Реле РУВ, включившись контактами (47-51) и (65-63) подготавливает цепи для питания контакторов КВ и КБ; разомкнутым контактом (374-375) предотвращает включение РУН на время, пока выбрано направление вверх.

При нажатии кнопки Кн "Ход" включается реле РН и контактом (339-344) отключает реле РЗ, которое замыкает контакты (51-56), подготавливая питание контактора КБ и контакт (77-80), включая реле РЗД, которое подает питание на двигатель М2; двери закрываются.

Номер контак-та	Соедине-ние кон-тактов	Положение рукоятки		
		Назад	Из позы	Нам-раба-та
		-45°	0°	+45°
1	13-14	—	×	—
2	3-4	×	—	—
3	9-10	—	—	×
4	5-6	—	—	×
5	7-8	×	—	—
6	1-2	—	—	×
7	17-18	—	×	—
	11-12	×	—	—
	15-16	×	—	×
	19-20	×	—	×

Контакты 11-12, 15-16, 19-20 в схеме не используются
 × — контакт замкнут
 — — контакт разомкнут

а) **BP2**

Но-мер кон-так-та	Мар-кировка кон-так-тов	Положение рукоятки	
		Дневной режим	Утренний режим
		I ↑	II ↓
1	1-2	×	—
2	3-4	×	—
3	5-6	×	—
4	7-8	×	—

Контакты 3,4 в схеме не используются

б) **BP1**

При полном закрытии дверей конечный выключатель ВКЗ отключает цепь питания реле РЗД и электродвигатель привода дверей М2 останавливается; контакты ДК1, ДЗ и ДШ замыкаются. Далее включается реле РКД, включается катушка контактора большой скорости КБ по цепи: питающий зажим 01 - через контакт кнопки Кн "Стоп" (01-37-38), цепь контактов предохранитель-

ных устройств (38...45), контакты кнопки М-Кн "Стоп", реле РБГ-110, реле РУВ (47-51), реле РЗ (51-55-56), реле РКД (56-57), контактора КМ (57-58). Контакт КБ (01-73) включает реле РБ, силовые контакты КБ подготавливают включение двигателя лебедки. Контакт реле РБ (01-328) включается реле РИТО, контактом (34-36) – реле РТО. Включается контактор КВ по цепи: зажим 01 - предохранительные устройства (01-46), контакт реле РБГ-110 (46-47), контакты дверей кабины и шахты (47-34), кнопок К-Кн "Вверх" и К-Кн "Вниз", реле РКД (34-66), реле РТО (66-68-65), реле РУВ (65-63), силовые контакты которого подают напряжение на двигатель М1 и тормозной электромагнит ЭМТ. Кабина движется вверх на основной скорости.

Так как при скорости движения кабины 1,4 м/с путь замедления перед остановкой составляет 1,8-2 м и поэтому в схему введены датчик замедления вверх ДчЗВ, устанавливаемый на кабине, и шунты, устанавливаемые в шахте на расстоянии (от уровня точной остановки), равном пути замедления кабины при движении ее вверх. В схему введены также реле Р1... Р (N) (их число

зависит от числа этажей, обслуживаемых лифтом), с помощью которых работа узла селекции смещается на один этаж. При движении вверх реле Р включены, через датчик селекции 1ДчС питается реле 2РИС, через датчик ПДчС - реле (П+1) РИС и т. д. Благодаря этому при зарегистрированном приказе на (П+1) этаж в зоне П этажа при входе шунта селекции в рабочий зазор датчика селекции ПДчС отключается реле селекции (П+1) РИС, которое своим замыкающим контактом отключит реле РУВ1, а размыкающим контактом включит реле Р31 по цепи: контакты кнопки приказа (П+1) КнП и (П+1) РИС (83-362), контакт реле РПО (362-362П), замкнутые контакты реле РБ31 и РБ32 (362П-360). Реле РБ31 (РБ32), несмотря, на то, что реле (П+1) РИС отключается, остается включенным еще 0,3-0,4 с, благодаря включенной параллельно его катушке РС-цепочке.

После отключения реле РБ31 питание реле Р31 будет поддерживаться через контакты реле РБ и реле Р31 (83-360). При входе шунта замедления вверх в зазор датчика ДчЗВ отключается реле РЗВ, которое контактом (81-347) отключает реле РУВ, а контактом (341-342) включает реле замедления РЗ. Реле РЗ включившись контактами (51-55-56) отключит катушку контактора большой скорости КБ. Катушка удерживающего электромагнита кнопки приказа отключается, так как отключившееся реле РУВ1 включит своим размыкающим контактом (81-94) реле РБН1, которое в свою очередь обесточит цепь питания кнопок приказа. Силовыми контактами контактор КБ обесточивает обмотку большой скорости приводного электродвигателя М1, а контактом КБ (71-65) включается контактор КМ. Электродвигатель снижает скорость, и кабина продолжает движение на малой скорости. После отключения контактора КБ катушка реле РТО в первый момент питается через замыкающий контакт реле РБ (34-36), которое имеет небольшую выдержку времени при отключении катушки. За это время успевает замкнуться контакт КМ (35-36), через который и будет осуществляться дальнейшее питание реле РТО.

При подходе кабины к заданному этажу срабатывает датчик точной остановки ДчТО, реле РИТО отключается и размыкает свой контакт в цепи реле РТО. Последнее своими контактами отключает контакторы КВ, КМ и тормозной электромагнит ЭмТ - кабина останавливается на заданном этаже. При включении контактора КМ во время замедления кабины через контакты КБ и КМ включается катушка реле РЗ, которое готовит к включению реле РОД. Последнее включится при остановке кабины, когда отключится реле РИТО и замкнется его контакт (86-87) - двери открываются. Непрерывность питания реле РЗ во время открытия дверей обеспечивается замыкающим контактом реле РОД (83-344). Реле РЗ остается включенным через контакты реле РВ2 и РН до тех пор, пока не реализуется выдержка времени реле РВ2 (3-3,5 с после окончания открытия дверей), после чего реле РЗ отключится, замкнет свой контакт (77-80) в цепи реле РЗД, двери закроются и кабина останется стоять на этаже в ожидании вызова.

Если в кабину входят несколько пассажиров, которые нажимают несколько кнопок приказов, например ПКнП, (П+1) КнП, то замедление осуществляется иначе: оно произойдет на ближайшем зарегистрированном по ходу движения этаже. При подходе кабины к (П-1) этажу отключается реле ПРИС, но реле РУВ1 остается включенным, получая питание через замкнутый контакт кнопки (П+1) КнП. Замедление кабины произойдет только благодаря включению реле РЗ в момент отключения реле ПРИС. Включившись реле РЗ разомкнет цепь питания катушки контактора Б, включается контактор М и т. д.

Отправление кабины с П этажа после выхода из нее пассажира и пересечение им луча фотореле произойдет по истечении выдержки времени реле РВ2, после чего дверь закроется автоматически или после нажатия оставшимися в кабине пассажирами кнопки Кн "Ход". Кнопки приказа ПК. Н. П и (П+1) КнП остаются включенными до тех пор, пока не будет реализован последний приказ, в данном случае на (П+1) этаж. При подходе кабины к этому этажу отключатся реле (П+1) РИС, РУВ1 и РУВ, зарегистрированные кнопки приказа выпадают. Замедление и остановка происходят как описано выше.

Если при движении вверх по последнему приказу имеются зарегистрированные вызовы для движения вверх и вниз с этажей, расположенных выше кабины, то реле РУВ1 и РУВ не отключатся, так как реле РУВ1 останется включенным через замкнутые контакты кнопок вызова. В этом случае зарегистрированные кнопки приказа останутся в нажатом состоянии до тех пор, пока из кабины, выполнившей последний приказ, не выйдут все пассажиры, т. е. не включится реле РПК и своим контактом (331-333) разомкнет цепь питания катушек кнопок приказов. В этом случае если в освободившуюся кабину на (П+1) этаже войдет пассажир, желающий ехать вниз, он не сможет изменить направление движения; реле РУН не включится, так как контакт РУВ (374-375) разомкнут. Изменить направление движения кабины можно лишь тогда, когда кабина пришла на этаж, выше которого нет зарегистрированных вызовов. В этом случае реле РУВ отключится, и освободившаяся кабина может быть использована вошедшим пассажиром для движения в любом направлении.

Если вызовы вверх или вниз поступили после отключения реле РУВ], то направление движения от действия этих вызовов не будет выбрано, так как шина вызовов (355) будет отключена размыкающим контактом РВ2 (83-350). Тем самым пассажиру, вошедшему в кабину с невыбранным направлением, гарантируется возможность отправления кабины по приказу независимо от появления вызовов с этажей. Эта же гарантия сохраняется для пассажира, входящего в кабину в момент автоматического закрывания дверей после отключения реле РВ-2. Появление пассажира в дверях при их закрытии приведет к отключению реле РРД, повторному открытию дверей и отключению шины вызовов. разомкнутый контакт реле РКД (349-350) предотвращает включение реле РУВ или РУН от появившихся вызовов до момента полного закрытия дверей, поэтому в течение 3-3,5с выдержки времени реле РВ2 пассажир, находящийся в кабине, должен выбрать направление дви-

жения, в противном случае кабина с пассажиром может быть отправлена по вызову.

Управление кабиной по приказам при ее движении вниз происходит аналогично рассмотренному, за исключением работы узла селекции и замедления. После включения реле РУН и начала движения смещения реле селекции на один этаж не происходит, так как не включены реле Р1 - Р(N). При этом если нажата кнопка приказа, например второго этажа 2КнП, то при приближении к нему, когда скоба селекции войдет в датчик селекции второго этажа (2ДчС), отключится реле селекции 2РИС. Размыкающий контакт реле 2РИС, замкнувшись, включает реле Р31; замедление и остановка кабины происходят аналогично рассмотренному выше.

Кабина, движущаяся по зарегистрированным приказам вверх, замедляет движение по попутным вызовам только на тех этажах, где нажаты кнопки КнВ. Допустим, кабина движется вверх по приказу на В этаж, на (В-1) этаже нажата кнопка (В-1) КнВ, а на (П) этаже нажата кнопка ПКнН. При подходе кабины к (П-1) этажу отключится реле ПРИС. Однако цепь питания реле Р31 останется разомкнутой, так как при движении кабины вверх реле РБН отключено, а диод Д9, включенный в обратном направлении, запирает цепь, не позволяя включиться реле Р31 через кнопку ПКнН; кабина на П этаже не замедлится. При подходе кабины к (В-1) этажу отключение реле (В-2) РИС приведет к включению реле Р31 через замыкающий контакт РБВ.

При нахождении на этаже стоящей с закрытыми дверями свободной кабины и нажатии кнопки вызова на этаже, расположенном выше (или ниже) кабины, незамедлительно включаются реле РУВ1 и РУВ (или РУН), которые своими замыкающими контактами включают контактор КБ. Дальнейший процесс пуска кабины будет происходить таким же образом, как это было рассмотрено ранее.

При нажатии нескольких кнопок вызовов для движения вниз (КнН), расположенных выше кабины, последняя, освободившись от пассажиров, пойдет на наивысший этаж, не замедляясь на промежуточных этажах, на которых нажаты кнопки КнН; движение кабины будет происходить при включенных реле РУВ и РБВ, реле РБН отключены, что предотвращает включение реле Р31 на всех промежуточных этажах, где нажаты кнопки КнН. Замедление на наивысшем этаже произойдет за счет отключения реле РУВ1 после отключения реле РИС этого этажа и в момент отключения реле РЗВ. Точно так же, при движении свободной кабины по вызовам, поступившим ниже кабины для движения вверх, замедление движения кабины не произойдет на всех промежуточных этажах, где нажаты кнопки КнВ, так как при этом будут включены реле РБВ, которые предотвратят включение реле Р31 на всех промежуточных этажах, где нажаты кнопки КнВ. Замедление движения кабины на низшем этаже (из числа зарегистрированных) произойдет за счет отключения реле РУН в момент отключения реле РИС этого этажа.

Свободная кабина, стоящая на этаже с закрытыми дверями, подготовлена к принятию вызова в любом направлении (включены реле РБВ и РБН). При наличии одновременно зарегистрированных вызовов с этажей, расположенных выше и ниже свободной кабины, обеспечивается питание реле РУВ1 и РУН через замкнувшиеся контакты нажатых кнопок вызова и замыкающие контакты РБВ и РБН. Однако включится только реле РУВ1, благодаря наличию емкости С15, подключенной параллельно катушке реле РУВ1, которая создает преимущественные условия для включения этого реле, кабина отправится по вызову вверх.

Кабина останавливается по попутному вызову, если расстояние между движущейся кабиной и этажом, с которого поступил вызов, больше пути замедления кабины. В этом случае один из замыкающих контактов реле РБ31 и РБ32 (362П-363-360) в цепи реле Р31 еще не разомкнулся; последнее успевает включиться, и кабина остановится по вызову на этом этаже. Если же вызов поступил после размыкания контактов реле РБ3, реле Р31 не включится и кабина на данном этаже не замедлится. Замедления кабины по попутным вызовам при загрузке ее на 90% не происходит. В этом случае размыкается контакт РБГ-90 (352-353), который отключает шину вызовов, и реле Р31 и Р3 включиться не могут. Если кабина загружена на 110% и более, пуск ее с этажа невозможен, так как при этом размыкается контакт ВБГ-110, отключающий реле РБГ-110, а следовательно, и цепи питания катушек контакторов КБ, КВ, КН и реле РЗД, так как контакт РБГ-110 (46-47) разомкнут. Нажатые кнопки приказа остаются включенными, но двери кабины не закрываются.

Утренний режим работы предназначен для быстрого заполнения здания в часы пик. Все вызывные кнопки, кроме кнопки первого этажа, отключены. Кабина работает по приказам вошедших в нее на первом этаже пассажиров. Режим задается с помощью переключателя ВР1. Освободившаяся от пассажиров кабина отправляется с любого этажа на первый этаж при нажатии вызывной кнопки первого этажа 1КнВ. Контакт кнопки 1КнВ подключает реле РУН по цепи: контакты реле РВ2 (83-350), РКД (350-349), переключателя ВР2-4, реле РБГ-90, кнопки вызова 1КнВ, диод 1Д7, контакты реле 1РИС (01-4/-373), контактора КВ и реле РУВ. Все остальные вызывные кнопки в этом режиме работы отключены контактами переключателя ВР1-1 и ВР1-2 (рис.38).

Схемой предусмотрена сигнализация о положении кабины в шахте. Световые табло устанавливаются на основном посадочном этаже и в кабине (рис. 24). В табло кроме сигнализации о положении кабины в шахте предусмотрена сигнализация о направлении движения кабины (стрелки, освещаемые лампами ЛВ, ЛН). Для ориентации пассажиров, находящихся на этажных площадках, о возможности использования кабины на каждом этаже предусмотрен световой сигнал, загорающийся при подходе кабины к этажу, на котором она должна остановиться и показывающий дальнейшее направление ее движения. Если свободная кабина стоит на остановке, над дверями горят обе

стрелки "Вверх" и "Вниз" (ЛУВ, ЛУН), сигнализируя пассажиру, что кабина может быть использована им в любом направлении.

Если кабина остановилась с выбранным направлением (при наличии не реализованных приказов или по попутному вызову), над дверью горит один сигнал, указывающий пассажиру, в каком направлении пойдет кабина после закрытия дверей. Световые сигналы включаются в момент замедления через размыкающий контакт РИС этажа, где остановится кабина, контакты РБВ или РБН, размыкающий контакт реле РБ (302-393).

В случае перегрузки кабины в кнопочном посту управления загорается световой сигнал "Перегрузка (ЛГ)", так как замыкается контакт реле РБГ-110 (390-391).

Управление лифтом в режиме ревизии и управление из машинного помещения производится при установке переключателя ВР-2 в положение "Управление из машинного помещения". В режиме ревизии дополнительно следует вынуть из кнопочного поста на крыше кабины специальный ключ. Работа лифта в этих режимах аналогична описанной выше и легко прослеживается по схеме. На крайних этажах в режиме ревизии остановка происходит автоматически даже при нажатой кнопке К-Кн "Вверх" (или К-Кн "Вниз") благодаря контактам реле РИТО и 1РИС (62-64) на первом этаже и контактом реле РИТО и ВРИС (61-63) на последнем этаже.

Режим наладки введен для наладки лифтов и проверки точной остановки. При управлении в этом режиме переключатель ВР2 в шкафу управления устанавливается в положение "Наладка", при этом контакты ВР2-2 и ВР2-5 замыкаются и включают реле РВ2, которое контактом РВ2 (83-339) включает реле РЗ. Контакт реле РЗ (84П-86) включает реле РОД, двери кабины открываются.

Автоматическое закрытие дверей при работе лифта в режиме наладки исключается. Закрытие дверей и пуск кабины производятся только при нажатии обслуживающим персоналом кнопки приказа и кнопки Кн "Ход". При этом реле РН включившись, разорвет цепь питания реле РЗ, двери закроются и кабина направится на выбранный этаж. Лифт, работающий в режиме наладки, вызовы не выполняет, так как контактом переключателя ВР2-4 (349-352) отключается шина вызовов в узле выбора направления, а контактом переключателя ВР2-6 (83-385) отключается питание катушек кнопок вызовов.

Автоматический переход лифта в режим "Пожарная опасность" осуществляется при работе лифта в дневном режиме. После подачи сигнала из системы пожарной защиты посредством замыкающего контакта реле Р(01-031П) включается реле РПО. Рассмотрим случай, когда кабина, свободная или с пассажирами, в режиме "Нормальная работа" движется вверх на большой скорости. При подаче сигнала от системы пожарной защиты включается реле РПО и своим размыкающим контактом обесточивает цепь реле управления вверх РУВ1, которое в свою очередь разрывает цепь катушки реле РУВ. Контакт реле РУВ (47-51) отключается цепь питания катушки контактора КБ.

Кабина лифта переходит на малую скорость и останавливается на ближайшем по направлению движения этажа; двери кабины не открываются, что обеспечивается включением реле РБ31 (через замыкающий контакт реле РИС (01-/01-12) и замыкающий контакт реле РПО (01-12/-75), а также реле РБ32 (через замыкающий контакт реле РПО (01-78)). Контакты реле РБ31 и РБ32 (84-84П) в цепи реле РОД размыкаются и исключают возможность открытия дверей.

Кроме того, обеспечивается принудительный выбор направления вниз и опускание кабины на первый этаж, так как кнопка приказа первого этажа 1КнП зашунтирована контактом реле РПО, благодаря чему включается реле РУН. Кабина, двигаясь на первый этаж, по попутным приказам и вызовам не останавливается, потому что контактом реле РПО (362-362П) разорвана цепь реле замедления РЗ1.

По прибытии кабины на первый этаж отключается реле РБ31 и происходит автоматическое открывание дверей. Если в кабине были пассажиры, двери остаются открытыми до тех пор, пока из кабины лифта не выйдет последний пассажир, что обеспечивается цепочкой контактов реле РПК, РПО и РБ31 в цепи катушки реле РЗ. После выхода всех пассажиров из кабины размыкающим контактом реле РПК обесточивается цепь питания катушки реле РЗ, которое, отключившись замыкает свой контакт в цепи катушки реле РЗД - двери закрываются. Возможность повторного открытия дверей от кнопки вызова 1КнВ первого этажа исключена, так как цепь реле РЗ1, с помощью которого осуществляется открытие дверей кабины, разомкнута контактом реле РПО (362-362П). Возможность вызова свободной кабины на промежуточные этажи также исключена, потому что цепь катушки реле РУВ1 разомкнута контактом реле РПО.

При стоянке кабины с пассажирами на промежуточном этаже с открытыми дверями и поступлении сигнала от системы пожарной защиты двери автоматически закроются. Это обеспечивается тем, что кнопка приказа первого этажа 1КнП шунтируется контактом реле РПО. Включается реле РУН. За счет отключения реле РВ2 его контакт (83-339) отключит реле РЗ, которое подает импульс на включение реле РЗД. После закрытия дверей кабина лифта принудительно отправляется на первый этаж, аналогично вышеописанному.

При движении кабины вниз в режиме "Нормальной работы" и поступлении сигнала из системы пожарной защиты включенное реле РПО шунтирует кнопку приказа первого этажа. Кабина проследует до первого этажа, так как возможность попутного замедления исключена за счет разрыва цепи реле РЗ1 контактом реле РПО (362-362П). Замедление и остановка кабины на первом этаже будут осуществляться за счет отключения реле РИС в цепи реле РУН. В зоне точной остановки двери автоматически откроются, после выхода всех пассажиров вновь закроются и возможность повторного открытия дверей и вызова кабины исключается.

4.7 Особенности схем автоматизации электроприводов поточных линий

Поточная линия – это система рабочих машин и механизмов, выполняющая законченный технологический или производственный цикл, который характеризуется поточностью, непрерывностью и ритмичностью рабочего процесса. Концентрация машин и оборудования, размещение их в разных местах по площади и уровню, тесная взаимосвязь и регламентированная последовательность их работы требуют дистанционного, централизованного и автоматического управления. Поточные линии получили широкое распространение в предприятиях переработки и хранения сельскохозяйственной продукции. В качестве составных частей поточных линий в основном используются транспортные машины: шнековые, скребковые, ленточные транспортеры, нории. Также имеются измельчающие машины (дробилки, измельчители, корнерезки и т. д.), грануляторы, сортирующие установки. Очень много устанавливаются датчиков контроля уровня, скорости, давления и т.п.

Основные требования, предъявляемые к схемам управления электроприводами поточных линий можно разделить на 3 группы:

- технологические;
- безопасности;
- надежности

Технологические требования.

Для наладочных и ремонтных работ в схемах необходимо предусмотреть деблокировочные режимы, обеспечивающие включения отдельных электродвигателей, обычно работающих в потоке. Если в поточной линии малое число приводов, то при наладке разрешается включать всю линию.

Электродвигатели всех машин и механизмов поточной линии пускают в последовательности, направленной против движения продукта, а останавливают в последовательности, совпадающей с направлением движения продукта.

Для остановки всей поточной линии необходимо сначала остановить головной механизм, обеспечивающий прекращение подачи продукта на поточную линию, затем с выдержкой времени - все машины, полностью освободившиеся от продукта.

При наличии в линии инерционных машин (дробилки, прессы, триерные блоки и т.д.) необходимо обеспечить задержку времени на запуск машин загружающих эти механизмы (установка реле времени или выдержек времени на микроконтроллерах), что требуется для разгона этих инерционных механизмов.

Требования безопасности.

Пуску автоматизированного электропривода поточной линии должен предшествовать предупредительный звуковой или световой сигнал (или оба).

Схема должна предусматривать аварийную остановку всех машин и механизмов. Если помещение протяженное, то кнопки аварийного отключения должны быть в разных местах.

Схемы должны иметь блокировки от неправильного включения и отключения электрических цепей.

В схемах управления необходимо использовать защитно - отключающие устройства при нарушениях технологического процесса и возникновения аварийных режимов работы электродвигателей.

Требования надежности.

Для устойчивой работы электропривода, а также во избежание недопустимых снижений напряжения схемы последовательного (каскадного) включения электроприводов должны быть рассчитаны на предельно - допустимую мощность, одновременно включаемых двигателей.

В схемах должна быть предусмотрена защита электрооборудования от коротких замыканий в цепях управления и силовых сетях, а также от электрических и технологических перегрузок.

Схемы должны быть простыми и надежными. В них рекомендуется применять однотипные средства автоматизации с наименьшим числом элементов. Надежность повышается, если выполнены все необходимые электрические и механические блокировки.

Схемы управления должны обеспечивать достаточную гибкость и удобство управления, т.е. должны быть обеспечены простые переходы к управлению во всех предусмотренных режимах.

Схемы управления должны иметь сигнализацию нормального состояния элементов, предупредительную, аварийную.

Электрические схемы управления должны быть составлены таким образом, чтобы было удобно контролировать неисправность системы и быстро находить повреждения. Для этого сложные схемы разбивают на отдельные секции и питают через секционирующие предохранители и автоматические выключатели.

Выбор коммутационной аппаратуры должен производиться с учетом режима работы, размещения и условий окружающей среды .

Схемы должны быть выполнены с учетом удобства монтажа.

На предприятиях переработки и хранения зерна очень часто встречаются типовые схемы отдельных поточных линий. Так, например, технологическая линия приема зерна и загрузка в один или несколько бункеров. Один из вариантов технологической схемы представлен на рисунке 4.137. Данная поточная линия может работать в нескольких режимах: 1 - загрузка в 1-й бункер; 2 – загрузка во 2-й бункер; 3 – выгрузка на машину из 1-го бункера; 4 - выгрузка на машину из 2-го бункера; 5 - выгрузка на машину из обоих бункеров; 6 – режим перелопачивания из 1-го бункера во 2-й; 7 – режим перелопачивания из 2-го бункера в 1-й. В 1-м и 2-м режимах, после выгрузки зерна автомобилем в завальную яму, продукт через заслонку завальной ямы $3C_5$ поступает в норий M_1 и ей поднимается на верх в надбункерный шнек M_2 . Далее зерно двигается в надбункерном шнеке до одной из заслонок $3C_1$ или $3C_2$. В зависимости от того какая из заслонок открыта зерно попадает в соответствующий бункер. В бункерах установлены датчики верхнего уровня SL_1 SL_2 . В 3-м , 4-м, 5-м режимах зерно через подбункерные заслонки $3C_3$ и $3C_4$

попадает в подбункерный шнек и двигаясь по нему выгружается на машину. Оставшиеся режимы связаны с необходимостью перегрузить зерно из одного бункера в другой, что необходимо делать при длительном хранении, так как зерновая масса может слеживаться и образовываться своды.

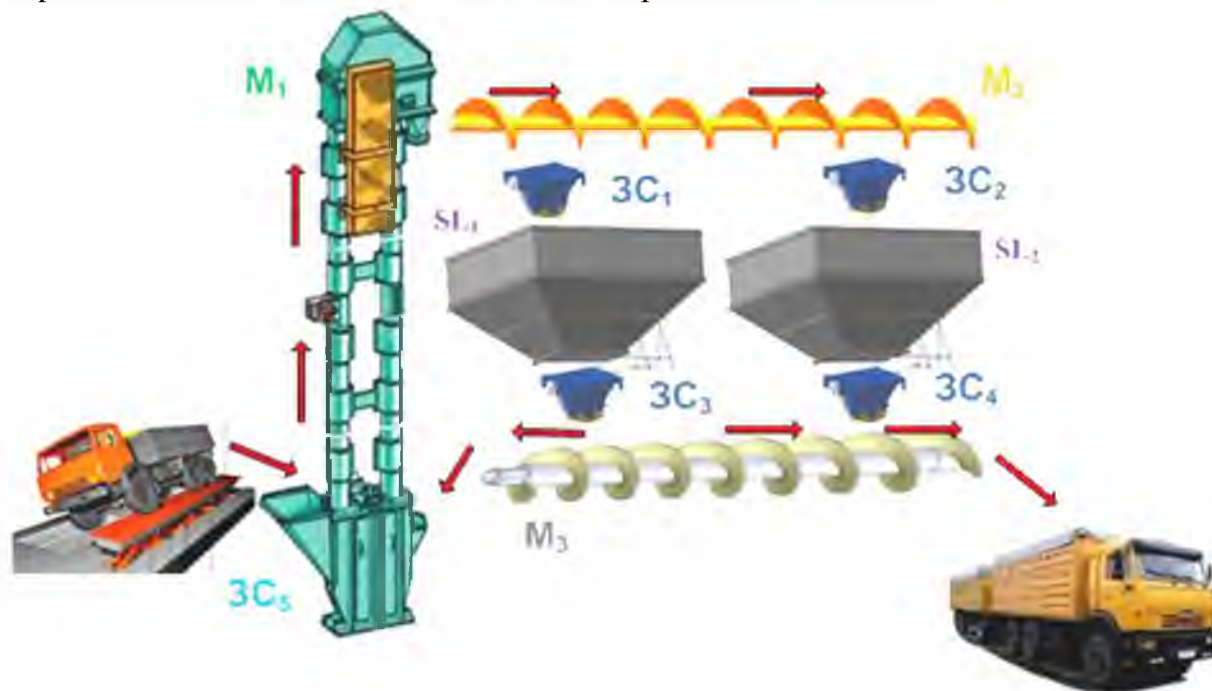
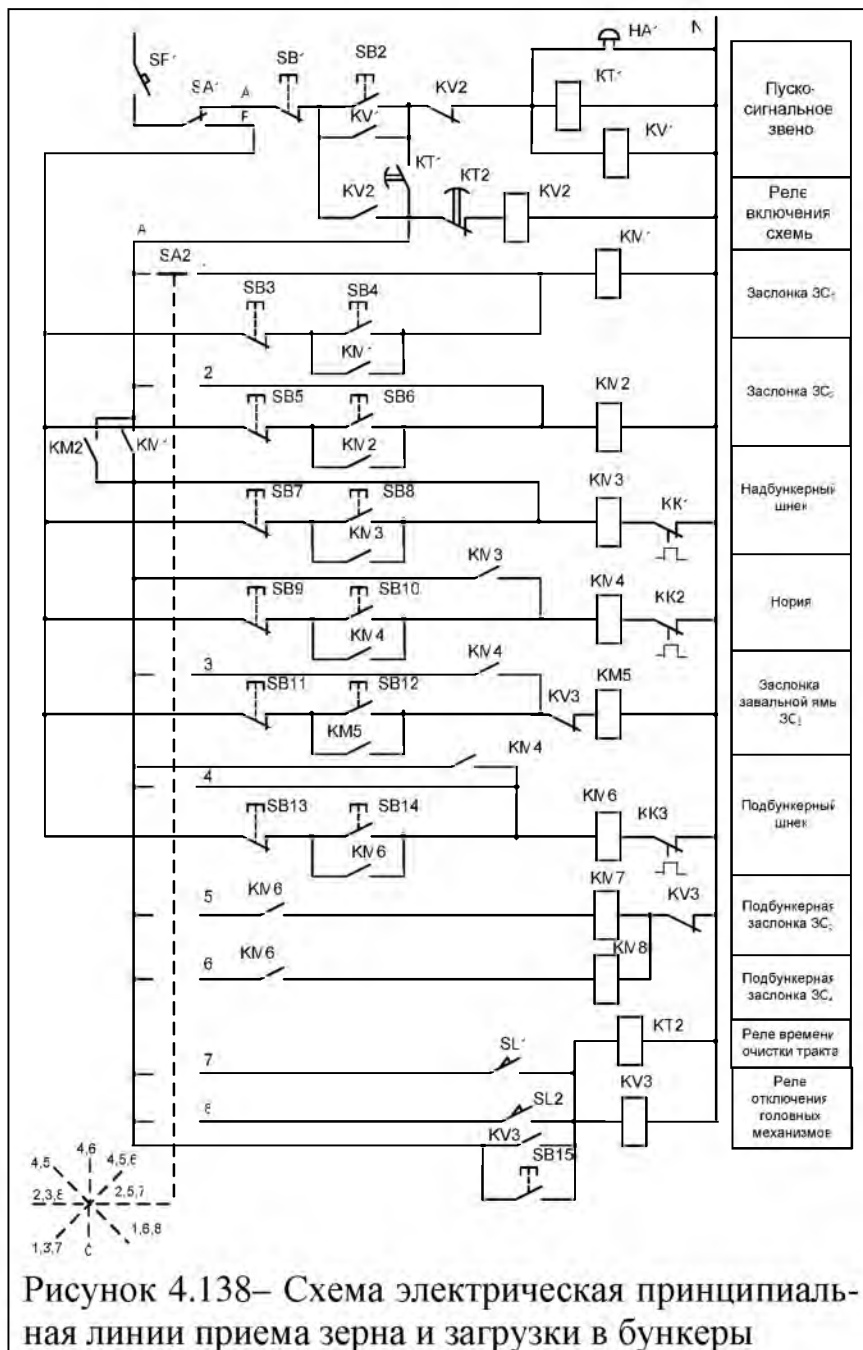


Рисунок 4.137– Технологическая линия приема зерна и загрузка в бункеры.

Принципиальная электрическая схема данной поточной линии представлена на рисунке 4.138. Рассмотрим работу схемы в 1-м технологическом режиме – загрузка зерна в 1-й бункер. Первоначально устанавливают переключатель *SA1* в режим автоматизированной работы - *A* (положение изображенное на схеме). Переключатель *SA2* ставят в положение соответствующее выбранному режиму – минус 225° , при этом замыкаются *1, 3, 7* направления. После этого нажимают кнопку *SB2* «Пуск», получает питание звуковой предупредительный сигнал *HA1*, а также реле времени *KT1* и реле *KV1*. Реле *KV1* блокирует кнопку «Пуск», а реле времени *KT1*, через временной промежуток 10-15 с., замыкает свой контакт с выдержкой времени на замыкание. Получает питание реле включения схемы *KV2*, которое размыкает свой контакт в цепи звуковой сигнализации и включает себя на самоудержание, шина автоматической работы *A* становится под напряжение. Через замкнутое первое направление переключателя *SA2* получает питание катушка магнитного пускателя *KM1* (заслонка *3C1*) и открывается надбункерная заслонка в первом бункере. Магнитный пускатель *KM1* своим замыкающим контактом подает напряжение на катушку магнитного пускателя *KM3* (надбункерный шнек) и пускатель срабатывает, включая электродвигатель надбункерного шнека. После этого срабатывает магнитный пускатель *KM4* электродвигателя нории и далее через третье направление переключателя *SA2*, напряжение подается на катушку магнитного пускателя *KM5* и открывается заслонка завальной ямы. Идет процесс загрузки в 1-й бункер.



При достижении зерна в бункере верхнего уровня срабатывает датчик *SL1* и через замкнутое 7-е направление переключателя *SA2* получает питание реле отключения головных механизмов *KV3*, которое размыкает свой контакт в цепи питания магнитного пускателя *KM5* заслонки завальной ямы – прекращается подача продукта на поточную линию. Одновременно, получает питание реле времени очистки тракта *KT2*, которое через выдержку времени размыкает свой контакт в цепи реле включения схемы *KV2* и вся схема обесточивается. Если необходимо произвести отключения не дожидаясь срабатывания датчика уровня, то нажимают кнопку *SB15* «Рабочий стоп». При этом получит питание промежуточное реле *KV3*, которое заблокирует эту кнопку и отключит головной механизм, а далее произойдет отключение аналогично режиму срабатывания датчика уровня.

Аналогично схема работает и во втором технологическом режиме – загрузка во 2-й бункер (переключатель *SA2* находится в положении минус 180°). При переводе переключателя *SA2* в положение минус 135° замыкаются его 4 и 5 направления (режим выгрузки из первого бункера). После отработки звена предупредительной сигнализации включится первым магнитный пускатель *KM6* (подбункерный шнек), который своим замыкающим контактом подаст напряжение на катушку магнитного пускателя *KM7* (подбункерная заслонка *ЗС3*). Начнется процесс выгрузки зерна из первого бункера. Остановка будет производиться только кнопкой *SB15* «Рабочий стоп». Также будет работать схема и в режимах выгрузки из 2-го бункера и из двух одновременно.

Если необходимо будет произвести перегрузку зерна из 1-го бункера во 2-й, то переключатель **SA2** ставят в положение 0°, при этом замкнутся 2, 5, 7 направления. После нажатия кнопки **SB2** «Пуск» и отработки пуско-сигнального звена получит питание шина автоматической работы **A**. Через замкнутое 2-е направление переключателя **SA2** сработает магнитный пускатель **KM2** и откроется надбункерная заслонка **ЗC₂**. Магнитный пускатель **KM2** подаст напряжение на катушку **KM3** (надбункерный шнек), далее сработает **KM4** (нория), а **KM4** включит пускатель **KM6** (подбункерный шнек). Последним механизмом включится подбункерная заслонка **ЗC₃** (**KM7**) через 5-е направление переключателя **SA2**. Идет процесс перелопачивания из 2-го бункера в 1-й, что может происходить до срабатывания датчика **SL1**, после чего произойдет отключения с очисткой тракта.

В схеме предусмотрено аварийное отключение, что производится кнопкой **SB1**. Если **SA1** перевести в режим пуско-наладочных работ, то получит питание шина ручного управления, и каждый механизм можно будет включить и отключить с помощью кнопочных постов.

Поточные линии широко применяются в линиях приготовления и раздачи кормов в животноводстве. Так на рисунке 4.139 представлена принципиальная электрическая схема приготовления корма на основе смесителя.

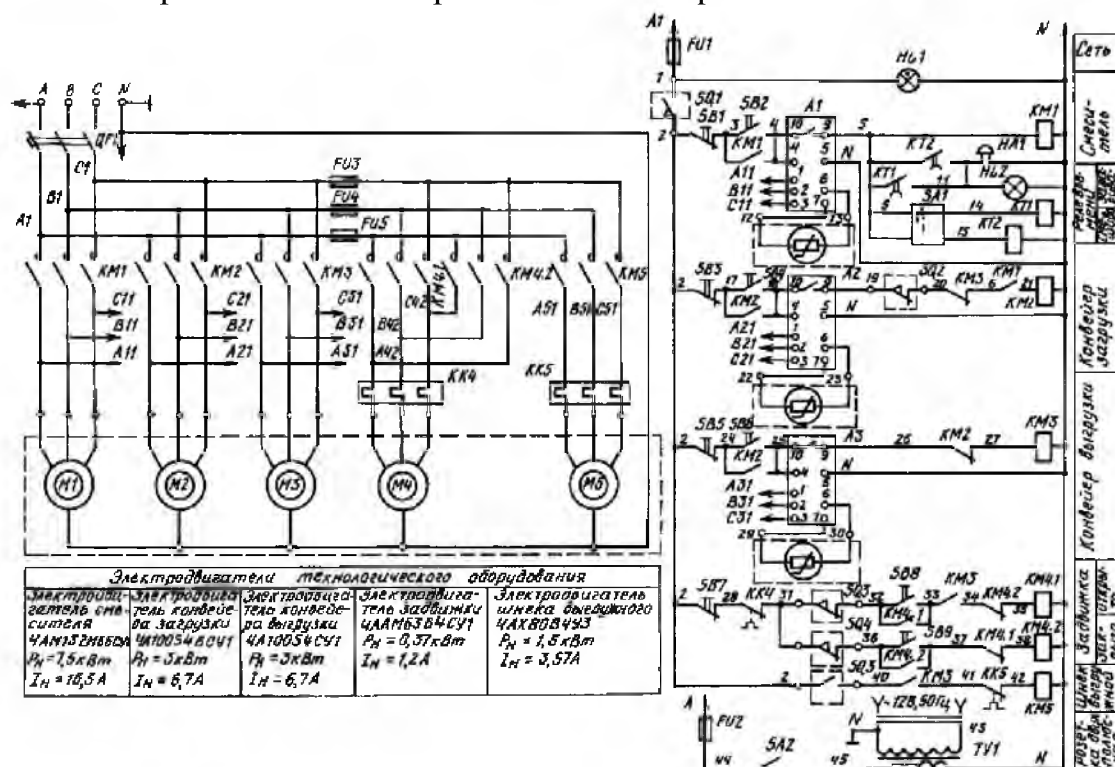


Рисунок 4.139 - Схема электрическая принципиальная поточной линии смешивания кормов.

В схеме предусмотрены блокировки от неправильного включения механизмов (с нарушением технологических требований), также в качестве защиты электродвигателей от аварийных режимов работы установлены устройства встроенной температурной защиты УВТЗ-5М.

В качестве примера также можно рассмотреть установки для послеуборочной обработки зерна типа ЗАВ-20. Зерноочистительный комплекс ЗАВ-20

представляет собой набор машин и оборудования, смонтированных в технологическую линию и объединенных электрической схемой блокировок и сигнализаций (рис. 4.140).



Рисунок 4.140– Внешний вид зерноочистительного комплекса ЗАВ-20

Данный агрегат предназначен для очистки и сортирования семян сельскохозяйственных растений зерновых, зернобобовых, технических культур. ЗАВ-20 производит очистку продовольственного зерна от сорной и зерновой примесей на воздушно-решетных машинах, при необходимости, от короткой (куколь) и длинной (овсюг) примесей на триерных блоках.

Чаще всего встречается в своем классическом исполнении, это ЗАВ-20 и ЗАВ-40 (три бункера в ряд, и

четыре бункера). Поскольку типовой проект ЗАВ изначально спроектирован был по принципу модулей, то и вариантов исполнения ЗАВов множество. Металлическая арматура включает в себя бункера, колоны, балки из которых составлен металлический каркас здания (рис. 4.141 – 4.142). Основным несущим элементом арматуры являются опорные колонны, на которых смонтированы блок бункеров и каркас здания. Зерноочистительный комплекс, в состав технологической линии которого входит зерносушилка, называется КЗС.

У агрегата ЗАВ-20 имеется 3 бункера назначение которых раньше распределялись следующим образом, первый бункер - резерв, второй - бункер фуража и отходов который разделен на две части, третий - бункер чистого зерна. Сегодня часто бункер отходов не используется, при реконструкции агрегата из него делают дополнительный бункер отходов и на него устанавливается машина предварительной очистки, а при строительстве нового агрегата вариант с использованием бункера резерва не рассматривается. Завальная яма, которая предназначена для загрузки норией, располагается с торца агрегата. Для защиты от внешней среды над ямой устанавливают навес, или крышку, которая может подниматься или сдвигаться в сторону.

Технологический процесс (рис.4.141) происходит следующим образом. Материал загружается в приемный бункер 2 автотранспортом самосвального типа, питателем-дозатором 3 выгружается в транспортер 4 и далее – в одну из загрузочных норий 5, 7, или в обе вместе. Загрузочная нория 5 загружает воздушно-решетную зерноочистительную машину 6 (предварительной очистки для выделения части примесей), либо в бункер резерва 1. Загрузочная нория 7 поднимает материал и направляет его в воздушно-решетную машину 8 для очистки от крупных, легких и мелких примесей.

Основной материал от машины 8 норией 10 подается в триерный блок 11 (рис.4.142), где выделяемые короткая и длинная примеси выводятся в длинную часть шнека чистого зерна 12. Материал короткой частью шнека 12 на-

правляется в норию 13 загрузки машины окончательной очистки 14 (пневно-сортировальный стол) (рис.4.143) для выделения трудноотделимых примесей и сортирования по плотности с выделением выполненных - физиологически зрелых семян. Семена и примеси накапливаются в бункерах отдельно.

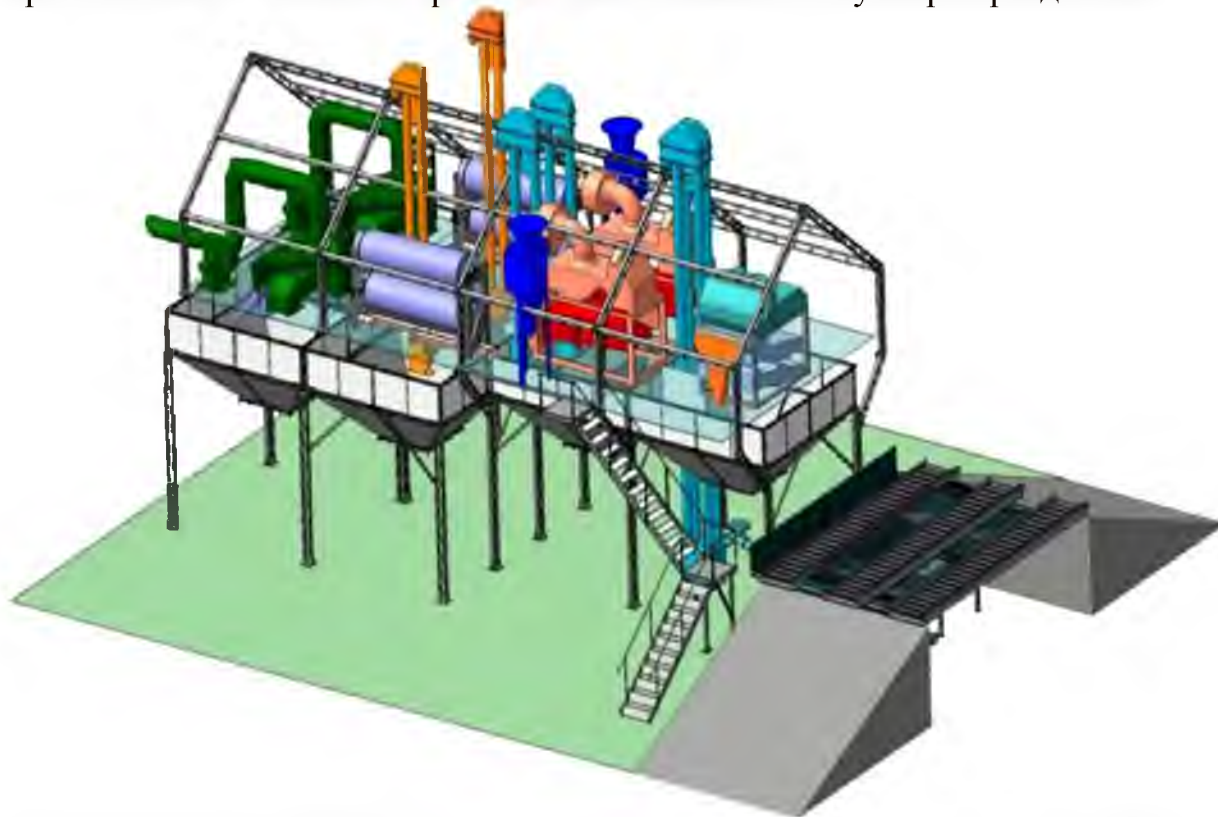


Рисунок 4.140 – Объемный вид зерноочистительного комплекса ЗАВ-20

Электрическая принципиальная схема управления (рис.4.144) предусматривает работу зерноочистительного агрегата ЗАВ-20 по нескольким режимам: 1- основной цикл с режимом сортировки, 2-я линия; 2 – пропускание зерна через триерные блоки, но без сортировки, 2-я линия; 3 – работа с воздушно-решетной машиной и выгрузка без работы триерного блока, 2-я линия; 4- работа только с машиной предварительной очистки, 1-я линия; 5 – загрузка бункера без всех обработок, 1-я линия; 6- совместная работа 2 –х линий. Схема работы технологического оборудования задается с помощью универсальных переключателей SA2, SA3 переводом их в различные положения. Так переключатель SA2 управляет 2- линией и имеет 4 положения: 0 – все направления разомкнуты; 1 – замкнуты 1, 4 и 5 направления соответствует 1-му технологическому режиму; 2- замкнуты 2 и 5 направления соответствует 2-му технологическому режиму; 3 – замкнуто 3 направление соответствует 3-му технологическому режиму. Переключатель SA3 управляет 1- линией и имеет 3 положения; 0 – все направления разомкнуты; 1 – замкнуто 1 направление соответствует 4-му технологическому режиму; 2 - замкнуто 2 направление соответствует 5-му технологическому режиму. Если включены два переключателя, то можно создать 6-й технологический режим и еще дополнительные комбинации.

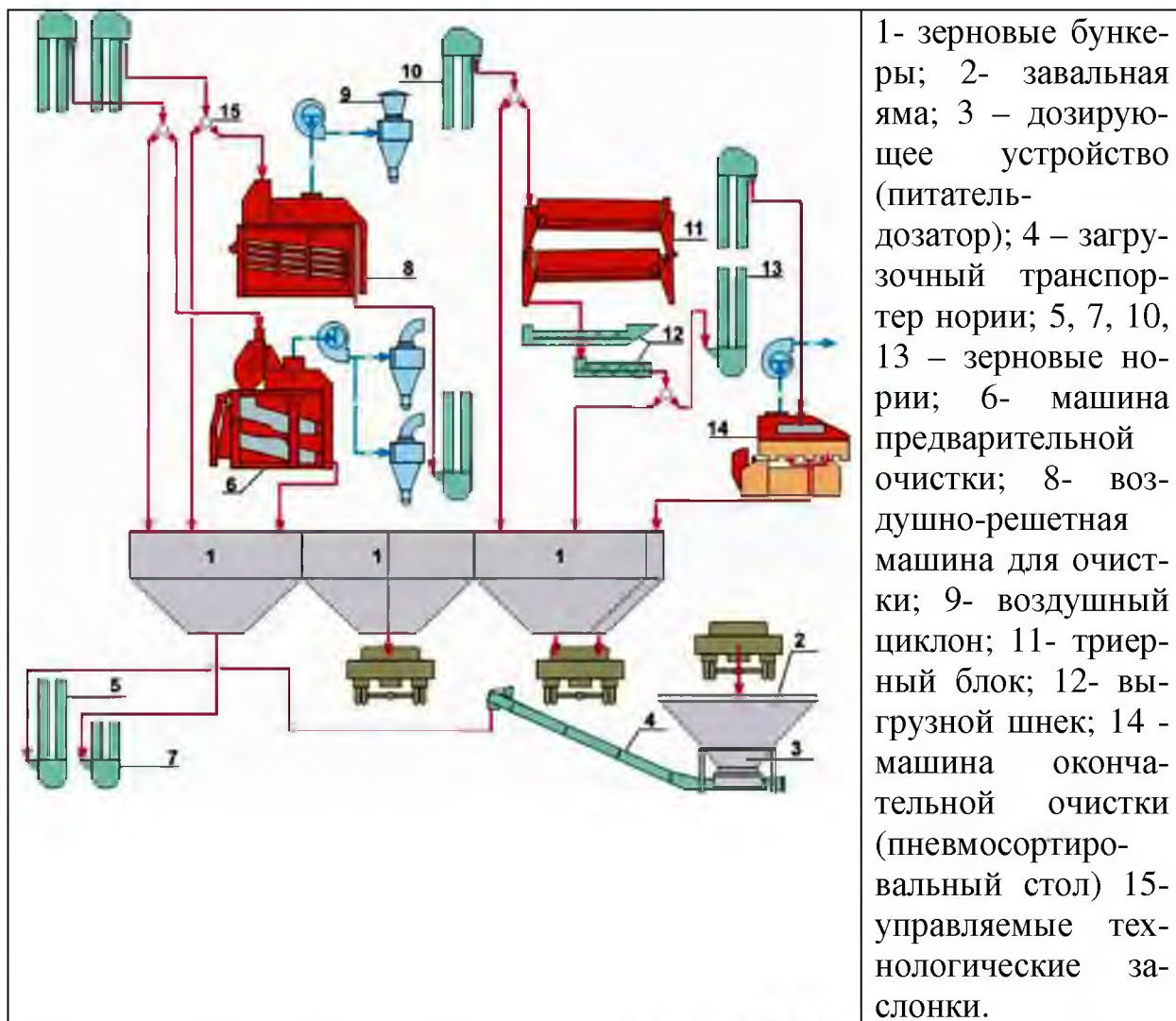


Рисунок 4.141 – Технологическая схема агрегата ЗАВ-20



Рассмотрим работы схемы управления по 1-му – основному режиму работы (рис. 4.144). Для этого первоначально устанавливают переключатели *SA1* – положение А; *SA2* - положение 1 (замкнуты направления 1,4,5); *SA3* – положение 0 (все направления разомкнуты).

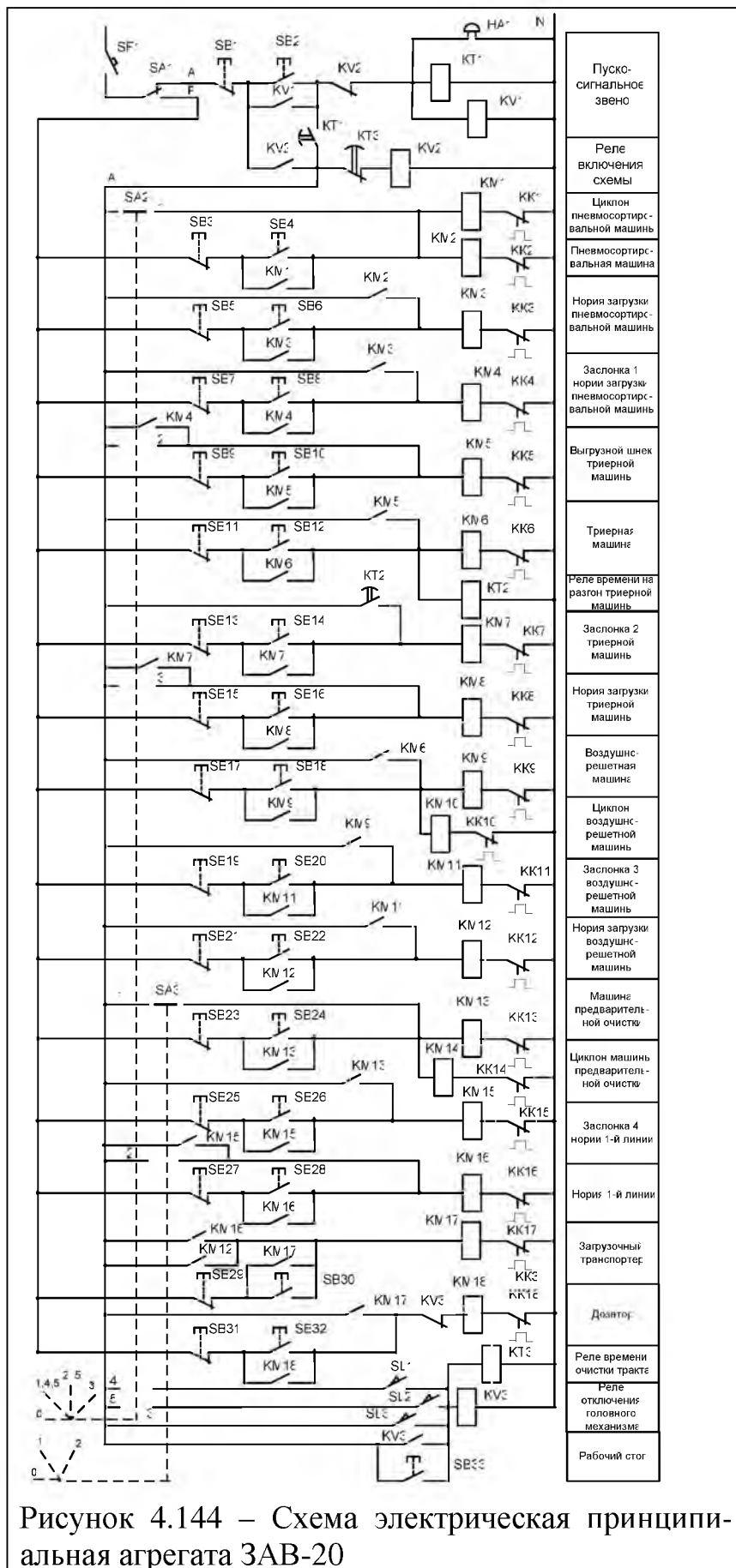


Рисунок 4.144 – Схема электрическая принципиальная агрегата ЗАВ-20

После включения автоматического выключателя *SF1* нажимают кнопку *SB2*, при этом получает питание пуско-сигнальное звено. Подается напряжение на предупредительный звуковой сигнал *HA1*, реле времени *KT1* и реле блокировки *KV1*. Через промежуток времени замыкающий контакт с выдержкой времени на замыкание *KT1* сработает и получит питание реле включения схемы *KV2*. Первым своим контактом – размыкающим реле *KV2* отключит звуковой сигнал и обесточит реле времени *KT1*, а вторым – замыкающим включит себя на самоудержание. На шину *A* поступит напряжение. В соответствии с технологическими требованиями начнут включаться механизмы против движения продукта: через 1-е направление *SA2* получат питание катушки магнитных пускателей *KM1* и *KM2* – включится циклон и пневмосортировальная машина; затем последовательно сработают магнитные пускатели

KM3 (нория), *KM4* (заслонка норы 1), *KM5* (выгрузной шнек триерной машины), *KM6* (триер). Одновременно с *KM6* получит питание реле времени

КТ2, которое обеспечит запуск триера без продукта. Через промежуток времени сработает замыкающий контакт **КТ2** с выдержкой времени на замыкание и напряжение поступит на катушку магнитного пускателя **КМ7** (откроется заслонка триерной машины), далее срабатывают пускатели **КМ8** (нория загрузки триерной машины), **КМ9** (воздушно-решетная машина), **КМ10** (циклон), **КМ11** (заслонка), **КМ12** (нория), **КМ17** (загрузочный транспортер), **КМ18** (дозатор). Технологическая линия начинает функционировать. При заполнении одного из бункеров срабатывают соответствующие датчики уровня **SL1**, **SL2**, **SL3**. После чего срабатывает реле отключения головного механизма **КВ3**, которое своим размыкающим контактом отключает катушку магнитного пускателя дозатора **КМ18** – прекращается подача продукта в технологическую линию. Одновременно получает питание реле времени очистки тракта **КТ3**. Идет процесс очистки линии от остатков зерна. По истечению времени срабатывает размыкающий контакт с выдержкой времени на размыкание реле времени **КТ3** в цепи питания реле включения схемы **КВ2**, отключается вся схема управления.

В случае задания другого технологического режима 2-й линии переключатель **SA2** переводят в соответствующее положение и после включения схемы начинают запускаться машины с конца линии выбранного режима. При необходимости подключения 1-й линии или ее работа совместно со 2-й линией, переключатель **SA3** переводят в соответствующее положение и также будут запускаться машины по обоим линиям против движения продукта. При необходимости остановки процесса очистки и сортировки в произвольный момент времени нажимают кнопку **SB33** «Рабочий стоп» и отключение происходит аналогично при срабатывании датчиков уровней.

Если необходимо провести режим пуско-наладочных работ, то переключатель **SA1** переводят в положение Р и получает питание шина ручного включения. В этом случае можно включить каждую технологическую машину с помощью соответствующего кнопочного поста. На схеме не показаны цепи световой сигнализации, но фактически каждый магнитный пускатель своим дополнительным контактом включает световое табло, которое расположено на лицевой стороне силового шкафа (установлено на мнемосхеме).

Как уже говорилось модификаций данного агрегата очень много, но принцип работы их аналогичен и два варианта внешнего вида шкафа управления отдельных изготовителей представлены на рисунках 4.145, 4.146. Станция управления, изготавливаемая в Казахстане базируется на стандартной релейно-контактной схеме, а решение станции управления Рязанских изготовителей - на программируемом логическом контроллере (ПЛК) и панели оператора (ПО). При этом система обладает несравненно более широкими возможностями, позволяющими реализовать любые временные задержки, любое количество последовательностей включения и выключения, ведение архива тревог и событий, визуализацию событий, легкость расширения и подключения дополнительных устройств, имеющих как релейные входы/выходы, так и общающихся по любым протоколам. В связи с этим необходимо пояснить работу современных логических контроллеров.

Особое место занимают электронные программируемые реле, или, как их еще называют, интеллектуальные реле. Программируемые реле являются отдельным видом управляющих мини-ЭВМ, которые можно назвать управляющими логическими машинами последовательного действия.



Рисунок 4.145 - Станция управления ЗАВ20-М (Рязанская обл., п. Боброво)



Рисунок 4.146 - Станция управления ЗАВ20-М (Республика Казахстан)

Серия программируемых реле **easy** представляет собой универсальную систему программируемых реле, устройств отображения и управления, компактных контроллеров. Управляющие реле **easy** (рис.4.147), многофункциональный дисплей MFD-Titan и контроллер **easyControl** позволяют решать широкий спектр задач автоматизации от элементарных схем до сложных технологических процессов. Базовые модули позволяют подключаться к шинам передачи данных **easy-NET**, **CANopen** и **Ethernet**. Также доступны для использования стандартные модули расширения (входы/выходы), стандартные модули также модули с дисплеем и кнопками и без дисплея и кнопок. для передачи данных по шинам **ASInterface**, **DeviceNet**, **CANopen**, **ProfiBus** и **Ethernet**. Особенностью логических реле является облегченное программирование, которое выполняется, как правило, в форме предварительно составленной релейной электрической принципиальной схемы (рис. 4.149). Задание программы ведут на клавиатуре ручного ввода в символах принципиальной релейной схемы путем нажатия на кнопки.

Рассмотрим для примера выполнение схемы автоматизации линии предварительной обработки зерна. Технологический процесс выглядит следую-

шим образом. Поточная линия производит перемещение продукта ковшовой норией на дробилку, в которой зерно измельчается и далее скребковым транспортером загружается в бункер для зерна (рис.4.150). В бункере установлен датчик уровня, при срабатывании которого линия полностью отключается.



Рисунок 4.147 – Общий вид реле easy-719.



Рисунок 4.148 – Внешний вид релейной электрической схемы графического вида в программе EASY-SOFT6 Pro.

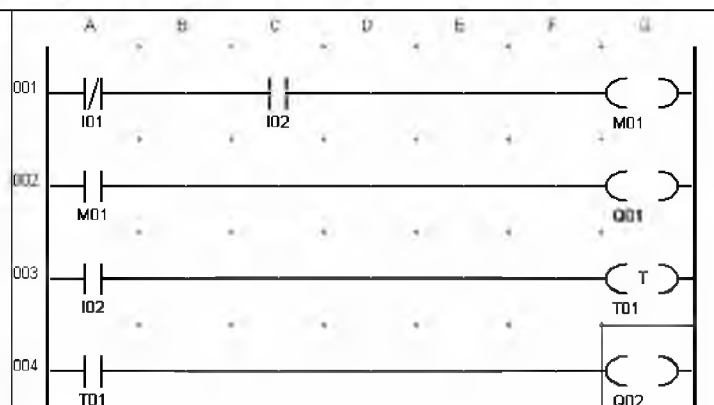


Рисунок 4.149 – Внешний вид релейной электрической схемы ANCI/CSA в программе EASY-SOFT6 Pro.

Дополнительные данные. Для предотвращения завала башмака транспортируемым продуктом, на норийной трубе устанавливается датчик подпора ВБЕ-Ц30-96-2111-3А, на расстоянии 200-250 мм выше фланца башмака. При превышении допустимого уровня продукта размыкаются контакты цепи управления электродвигателя, приводящего в движение транспортер, подающий продукт в элеватор. Транспортер останавливается, а элеватор продолжает работать и уменьшает подпор груза в носке. Контроль скорости при пробуксовке или обрыве ленты осуществляется при помощи датчика скорости ВБИ-М30-49-2111-Л. При уменьшении частоты вращения барабана ин-

дуктируемый ток в датчике ВБИ-М30-49-2111-Л уменьшается, что приводит к срабатыванию реле и отключению механизмов, подающих продукт в элеватор.



Рисунок 4.150 – Технологическая схема линии предварительной обработки зерна.

Требование к схеме управления: перед запуском линии дробления предусмотреть звуковую сигнализацию; электродвигатели нории, дробилки, транспортера должны быть защищены от аварийного режима - заклинивание; предусмотреть задержку на включение ковшовой нории; при достижении верхнего уровня в бункере, линия должна отключаться, контроль заполнения бункера осуществляется бесконтактным датчиком; линия должна иметь режим «Рабочий стоп».

Схема автоматизации линии на базе программируемого реле представлена на рисунке 4.151, принципиальная электрическая схема показана на рисунке 4.152.

Наряду со стандартными функциями, представленными в easy500/700, такими как многофункциональные реле, импульсные реле, счетчики, аналоговые компараторы, таймеры, часы реального времени и энергонезависимая память, **easy800** дополнительно содержит ПИД-регуляторы, арифметические блоки, блоки масштабирования значений и многие другие функции. Также возможность объединения в сеть до 8 устройств, делает **easy800** (рис.4.153) мощным программируемым реле на электротехническом рынке. При решении комплексных задач, программируемые реле Easy800 могут быть объеди-

нены в одну общую сеть устройств EasyNet. Очень часто реле easy работают в комплекте с дисплеями MFD-Titan (рис.4.154).

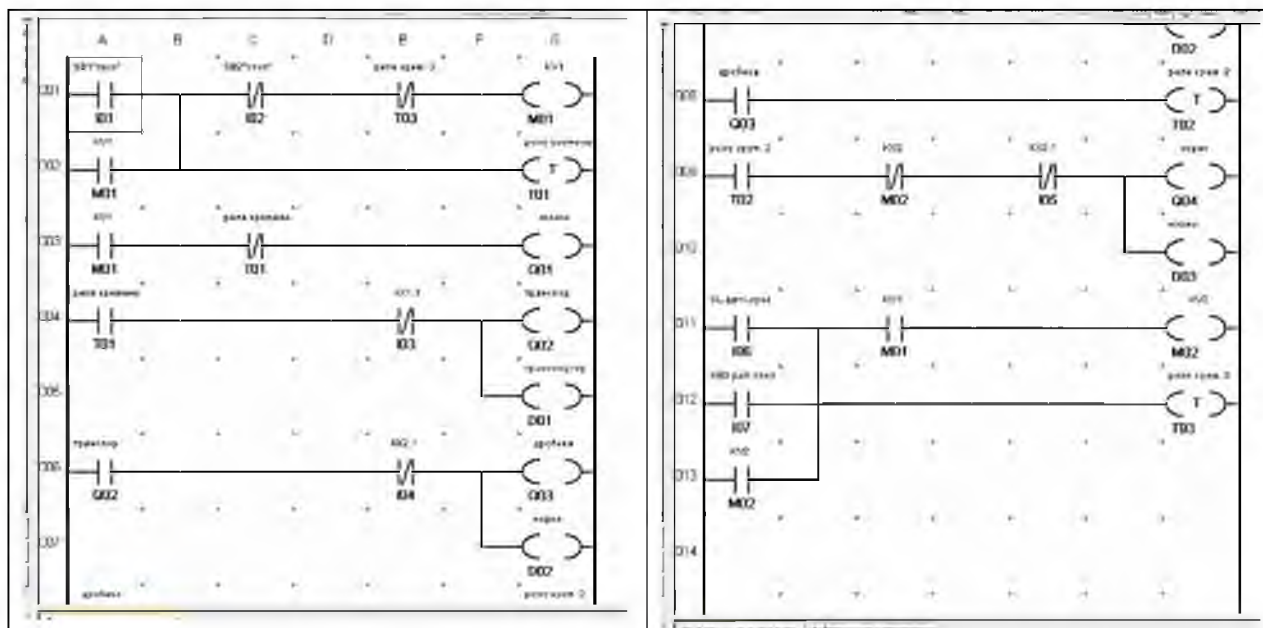


Рисунок 4.151 – Схема автоматизации линии на базе программируемого реле.

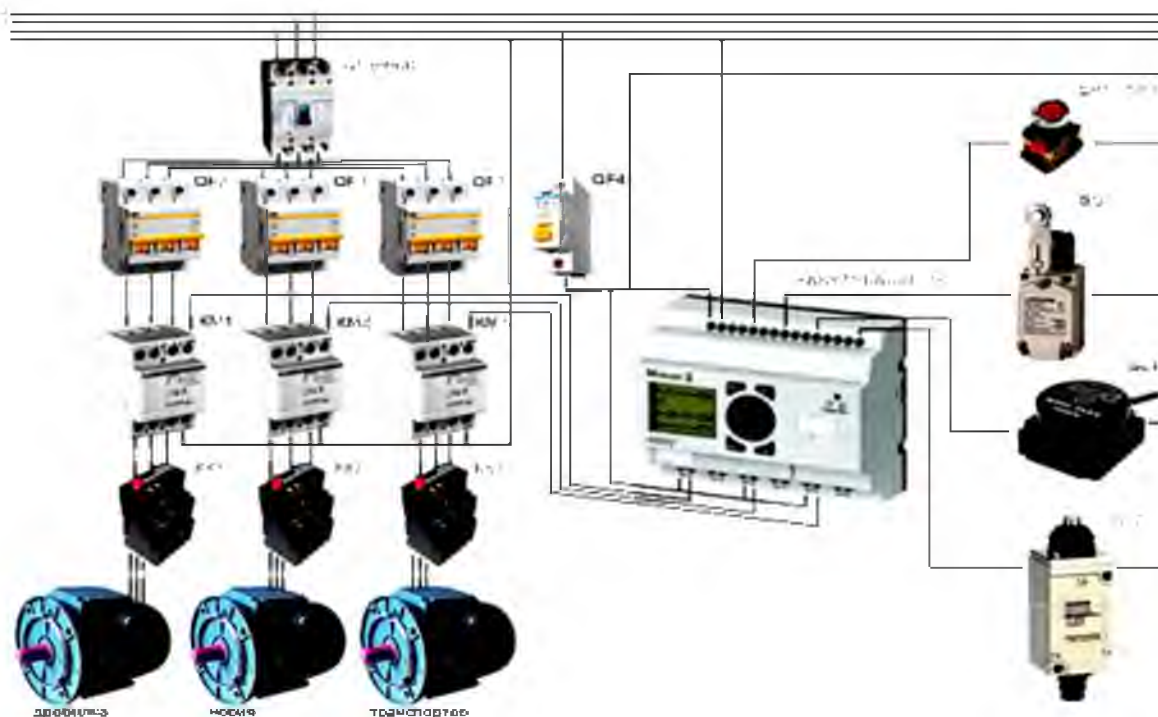


Рисунок 4.152 – Принципиальная схема подключения логического реле.

Кроме того выпускается электротехнической промышленностью большое количество **контроллеров и программируемых логических реле (ПЛК)** (рис.4.155 – 4.158.), которые способны управлять сложными поточными линиями, делать оценку качества работы, архивировать данные и т.д.



Рисунок 4.153 – Общий вид реле easy-800.



Рисунок 4.154 – Общий вид дисплея MFD-Titan



Рисунок 4.155 - Контроллеры IP-4K-4P



Рисунок 4.156 - Логические модули LOGO



Рисунок 4.157 - Программируемые логические контроллеры ОВЕН ПЛК63.



Рисунок 4.158-Логические модули ZEN

Основным показателем ПЛК является количество каналов ввода-вывода. По этому признаку ПЛК делятся на группы:

- **нано-ПЛК** (менее 16 каналов);
- **микро-ПЛК** (более 16, до 100 каналов);
- **средние** (более 100, до 500 каналов);
- **большие** (более 500 каналов).

По расположению модулей ввода-вывода ПЛК бывают следующими.

Моноблочные - в которых устройство ввода-вывода не может быть удалено из контроллера или заменено на другое. Конструктивно контроллер представляет собой единое целое с устройствами ввода-вывода (например, одноплатный контроллер). Моноблочный контроллер ОВЕН ПЛК100 может иметь, например, 8 каналов дискретного ввода и 6 каналов релейного вывода (рис.4.159, 4.160).

Модульные - состоящие из общей корзины (шасси), в которой располагаются модуль центрального процессора и сменные модули ввода-вывода (рис.4.161). Состав модулей выбирается пользователем в зависимости от решаемой задачи. Типовое количество слотов для сменных модулей - от 4 до 32.

Распределенные (с удаленными модулями ввода-вывода) - в которых модули ввода-вывода выполнены в отдельных корпусах, соединяются с модулем контроллера по сети (обычно на основе интерфейса RS-485 или Ethernet, Internet) и могут быть расположены в большом расстоянии от процессорного модуля (рис.4.162).



Рисунок 4.159 – Внешний вид ОВЕН ПЛК100

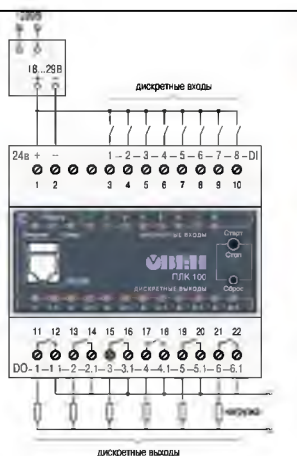


Рисунок 4.160
схема подключения
ОВЕН ПЛК100



Рисунок 4.161 – Внешний вид ПЛК Direct LOGIC 205

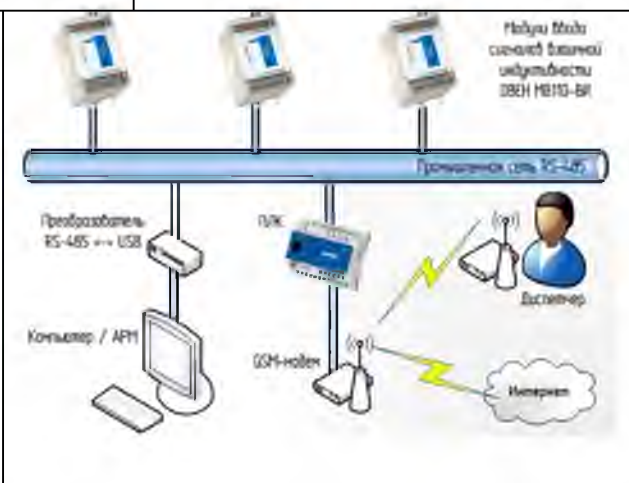
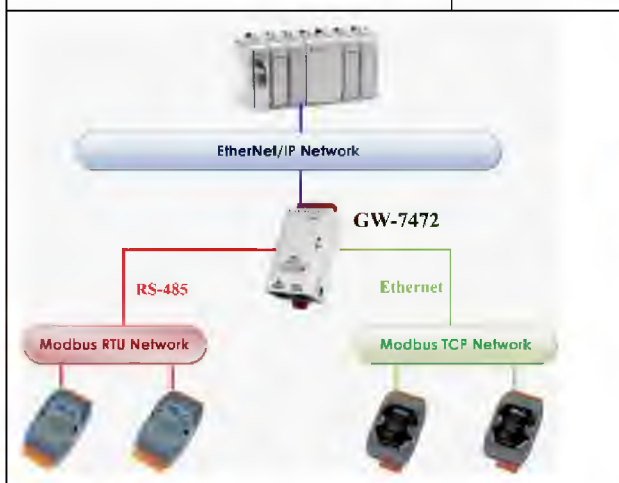


Рисунок 4.162 - Структурные схемы распределенного контроллера на основе интерфейса RS-485, Ethernet, Internet

Часто перечисленные конструктивные типы контроллеров комбинируются, например, моноблочный контроллер может иметь несколько съемных плат; моноблочный и модульный контроллеры могут быть дополнены удаленными модулями ввода-вывода, чтобы увеличить общее количество каналов (рис.4.163).



Рисунок 4.163 – Внешний вид моноблочного ПЛК Direct LOGIC 06 с четырьмя съемными сменными платами

Многие контроллеры имеют набор сменных процессорных плат разной производительности. Это позволяет расширить круг потенциальных пользователей системы без изменения ее конструктива. По конструктивному исполнению и способу крепления контроллеры делятся на: панельные (для монтажа на панель или дверцу шкафа) (рис.4.164); для монтажа на DIN-рейку внутри шкафа (рис.4.165); для крепления на стене (рис.4.166); стоечные - для монтажа в стойке (рис.4.167); бескорпусные (обычно одноплатные) для применения в специализированных конструктивах производителей оборудования (ОЕМ - "Original Equipment Manufacturer") (рис.4.168).



Рисунок 4.164– Внешний вид и схема работы панельного контроллера ОВЕН СПК207



Рисунок 4.165– Внешний вид ОВЕН ПЛК100 на DIN-рейке



Рисунок 4.166– Внешний вид ОВЕН САУ-У для настенного монтажа



Рисунок 4.167 - Монтируемый в стойку 1U контроллер NI RMC-8354



Рисунок 4.168– ПЛК IPC@CHIP под управлением системы CoDeSys

По области применения контроллеры делятся на следующие типы: **универсальные общепромышленные**; для управления роботами; для управления позиционированием и перемещением; **коммуникационные**; **ПИД-контроллеры**; **специализированные**.

По способу программирования контроллеры бывают: **программируемые с лицевой панели контроллера**; **программируемые переносным программатором**; **программируемые с помощью дисплея, мыши и клавиатуры**; **программируемые с помощью персонального компьютера**.

Контроллеры могут программироваться на: классических алгоритмических языках (C, C+, Visual Basic); на языках МЭК 61131-3.

Контроллеры могут содержать в своем составе модули ввода-вывода или не содержать их. Примерами контроллеров без модулей ввода-вывода являются коммуникационные контроллеры, которые выполняют функцию межсетевого шлюза, или контроллеры, получающие данные от контроллеров нижнего уровня иерархии АСУ ТП (рис.4.169).



Рисунок 4.169– Внешний вид коммуникационного контроллера ОВЕН ПЛК304

Очередным этапом совершенствования автоматизированного электропривода стало включение его в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). В настоящее время принято разделять системы автоматизации на три глобальных класса: **PLC (Programmable Logic Controller)**, **DCS (Distributed Control System)**, **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**.

- **PLC (Programmable Logic Controller)** - аппаратный модуль для реализации алгоритмов автоматизированного управления на отдельной технологической установке (регулятор температуры, блок управления станком). Устройства данного класса используются, когда операции носят дискретный характер или требуют быстрой реакции со стороны автоматики. Для систем класса

PLC характерно то, что они не требуют непрерывного контроля со стороны диспетчера, т.е. работают в автоматическом режиме.

- **DCS (Distributed Control System)** - распределенная система управления (PCY). Применяются для управления взаимосвязанными технологическими процессами, на их базе автоматизируются технологические установки, производственные цехи и целые заводы.

Для характеристики масштаба PCY часто используют специальный термин “количество параметров ввода/вывода”. Один параметр ввода/вывода – это либо сигнал измерения, получаемый с датчика (текущее давление пара в котле), либо управляющий сигнал, воздействующий на исполнительный механизм (например команда пуска насоса). Современные PCY способны об-

рабатывать до 50000 параметров ввода/вывода, что соответствует большому заводу. Основная особенность данного класса систем - масштабируемость.

PCU одинаково хорошо подходят для автоматизации как одной установки, так и для всего завода. При этом система может расширяться для того, чтобы охватить новые производственные участки. Расширение системы может проходить без остановки уже внедренных участков системы.

Для конфигурирования таких масштабных систем, как PCU инженерам предлагается целый набор подготовленных программных компонентов и средств разработки. К ним относятся: пакеты визуального программирования, графические библиотеки, функциональные блоки, преднастроенные сетевые протоколы и интерфейсы.

Подобные системы могут охватывать множество территориально распределенных объектов. В действительности расстояние между технологическими установками, объединенными в одну систему управления, порой достигает нескольких километров. Система может покрывать большие площади. Это стало возможным за счет применения современных сетей и шин передачи данных, таких как: всем известный Ethernet или, например, специальная промышленная шина Profibus DP. При этом используются как медные кабели, так и оптоволокно. Цифровая сеть позволяет объединить разнесенные компоненты системы в единый программно-аппаратный комплекс. Типовая структура современной PCU изображена на рисунке 4.170. Реализация PCU на базе приборов производства фирмы «ОВЕН» представлена на рисунке 4.171.

Типовая структура PCU

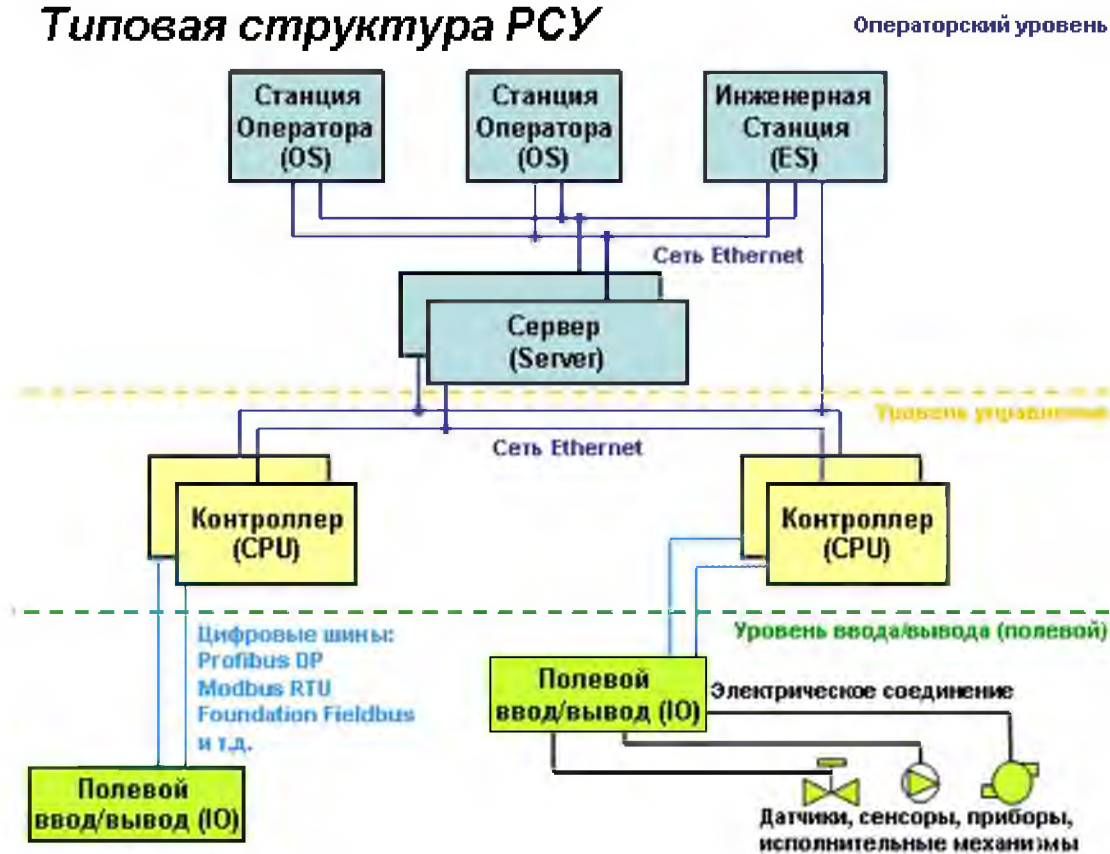


Рисунок 4.170– Типовая структура распределенной системы управления

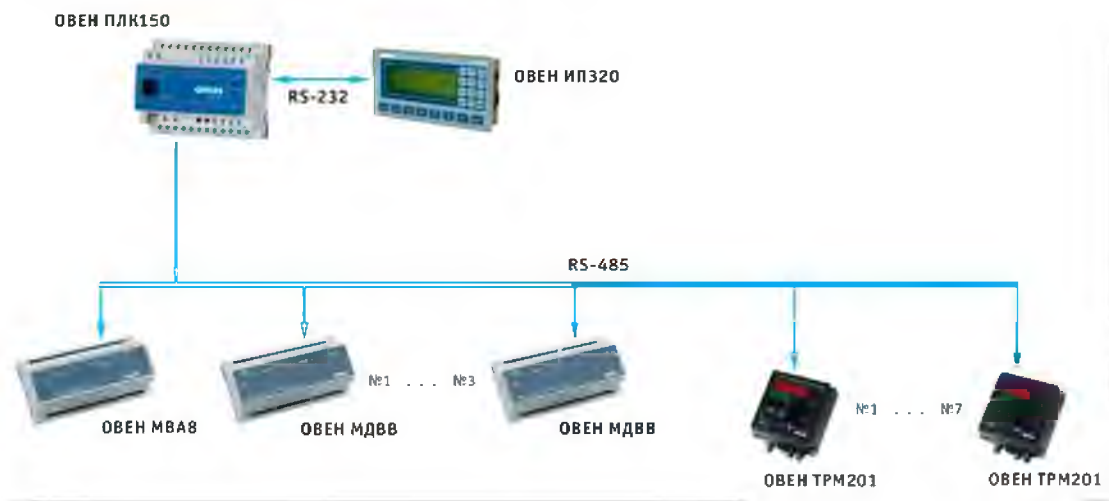


Рисунок 4.171– Реализация распределенной системы управления на базе приборов производства фирмы «ОВЕН»

Для большинства РСУ характерна трехуровневая модель построения. На нижнем уровне, уровне ввода/вывода (IO Layer), располагаются полевые приборы (датчики, сенсоры, исполнительные механизмы), которые с помощью электрических кабелей подключаются к подсистеме полевого ввода/вывода (IO subsystem). Электрический сигнал, поступающий с датчика, в подсистеме ввода/вывода интерпретируется как измерение определенной физической величины (температуры воды, например), потом сигнал оцифровывается (переводится из аналоговой формы в цифровую, двоичную). В цифровой форме сигнал передается по специальной шине в контроллер. Подсистема ввода/вывода работает и в другом направлении. Получив от контроллера по той же шине управляющую команду, подсистема ввода/вывода переводит ее из цифровой формы в электрическую аналоговую. Сформированный электрический сигнал по кабелю подается на соответствующий исполнительный механизм. На рисунке 4.170 шина, связывающая подсистему ввода/вывода с контроллерами, резервирована (дублирована). Подсистема ввода/вывода – состоит из аппаратных модулей ввода/вывода. Модули различаются по типу электрического сигнала (с помощью которого они взаимодействуют с полевыми приборами) и по направлению передачи сигнала. Если к модулю подключается датчик – то модуль осуществляет ввод сигнала в систему и называется модулем ввода; если подключается исполнительный механизм – то модуль выводит управляющее воздействие из системы и называется модулем вывода.

На среднем уровне находятся контроллеры (CPU). Они представляют собой мощные вычислительные машины специального (промышленного исполнения). Их задача – обрабатывать поступающую из подсистемы ввода/вывода информацию и выдавать обратно управляющее воздействие. Эта обработка осуществляется в соответствии с заложенными алгоритмами управления и происходит циклически в среднем 10-20 раз в секунду. Для решения сложных задач контроллеры могут обмениваться между собой данными.

ми, используя цифровые коммуникационные сети (в нашем случае, Industrial Ethernet).

Контроллеры PCU могут различаться по производительности, функционалу и архитектуре, хотя существуют и общие требования. Одно из них – возможность менять алгоритмы управления на “лету” (online changes), то есть без остановки процесса управления. Другое важное требование – возможность полного резервирования модулей, в том числе и питания. Пара контроллеров, синхронно выполняющих одну и ту же программу управления и страхующих друг друга, называется “резервированной парой”.

Верхний уровень – это уровень операторского управления, объединяющий серверы и операторские рабочие станции. Выделенный сервер (на рисунке резервирован) поддерживает коммуникацию с подключенными к нему контроллерами и копит внутри себя архив технологических параметров.

Операторские станции OS (operator station) представляют собой персональные компьютеры. В рамках клиент-серверной архитектуры они ведут обмен данными с сервером, а не напрямую с контроллером. При этом операторских станций может быть несколько десятков.

Операторская станция служит для отображения технологической информации в виде интерактивных графических мнемосхем, а также для эффективного управления процессом. На мнемосхемах показывается исчерпывающая информация: параметры ввода/вывода, значения процессных переменных, аварийные сигнализации, диагностика аппаратных модулей системы, графики, отчеты и т.д. На станции оператор может, например, посмотреть показание любого датчика, вручную закрыть клапан, запустить насос или изменить температурную уставку.

• **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)** - класс систем диспетчерского управления (программно-аппаратный комплекс сбора данных).

К основным задачам, решаемым SCADA-системами, относятся следующие.

- Обмен данными в реальном времени с УСО (устройством связи с контролируемым объектом). Этим устройством может быть как промышленный контроллер, так и плата ввода/вывода.
- Обработка информации в реальном времени.
- Отображение информации на экране монитора в понятной для человека форме (HMI сокр. от англ. Human Machine Interface — человеко-машинный интерфейс).
- Ведение базы данных реального времени с технологической информацией.
- Аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями.
- Подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса.
- Архивирование технологической информации (сбор истории).
- Обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронными таблицами, текстовыми процессорами и т.д.). В системе управления предприятием такими приложениями чаще всего являются приложения, относимые к уровню MES.

Иногда SCADA-системы комплектуются дополнительным ПО для программирования промышленных контроллеров. Такие SCADA-системы называются интегрированными, и к ним добавляют термин SoftLogic. Все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента: **Remote Terminal Unit (RTU); Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS); Communication System (CS)**.

Remote Terminal Unit (RTU) удаленный терминал, подключающийся непосредственно к контролируемому объекту и осуществляющий обработку задачи (управление) в режиме реального времени. Спектр воплощений RTU широк: от примитивных датчиков, осуществляющих съем информации с объекта, до специализированных многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управление в режиме жесткого реального времени. Конкретная его реализация определяется спецификой применения. Использование устройств низкоуровневой обработки информации позволяет снизить требования к пропускной способности каналов связи с центральным диспетчерским пунктом.

Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS) диспетчерский пункт управления (главный терминал); осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме мягкого (квази-) реального времени. Одна из основных функций – обеспечение человеко-машинного интерфейса (между человеком-оператором и системой). В зависимости от конкретной системы MTU может быть реализован в самом разнообразном виде: от одиночного компьютера с дополнительными устройствами подключения к каналам связи до больших вычислительных систем (мэйнфреймов) и/или объединенных в локальную сеть рабочих станций и серверов. Как правило, и при построении MTU используются различные методы повышения надежности и безопасности работы системы. Устройство MTU часто называют SCADA-сервером.

Communication System (CS) коммуникационная система (каналы связи) между RTU и MTU. Она необходима для передачи данных с удаленных точек (RTU) на центральный интерфейс диспетчера и передачи сигналов управления обратно с MTU на RTU. В качестве коммуникационной системы можно использовать следующие каналы передачи данных: выделенные линии - собственные или арендованные; медный кабель или оптоволокно; частные радиосети; аналоговые телефонные линии; цифровые ISDN сети; сотовые сети GSM (GPRS). С целью дублирования линий связи устройства могут подключаться к нескольким сетям, например к выделенной линии и резервному радиоканалу.

Число представленных на рынке разнообразных микроконтроллеров непрерывно растет. Почти еженедельно появляется новое изделие. Наряду с небольшими МК-чипами на рынок выпускается все больше многоядерных устройств.

Микроконтроллер – интегральная сборка (микросхема), предназначенная для управления электронными устройствами, которая сочетает в себе

функции процессора и периферийных устройств, а также содержит ОЗУ и ПЗУ (рис.4.173).



Рисунок 4.173 - 32-разрядный микроконтроллер семейства PIC со встроенными периферийными модулями для сопряжения с внешними устройствами.

По сути, это однокристалльный компьютер, способный выполнять определенные задачи. Большая часть выпускаемых в современном мире процессоров — микроконтроллеры. Наибольшее распространение микроконтроллеры получили во встроенных системах контроля и управления. Одной из главных причин популярности микроконтроллеров служит то, что они являются практически полностью готовыми вычислительными устройствами, не требующими для своей работы дополнительного оборудо-

дования. Кроме того, возможность программировать работу микроконтроллера позволяет реализовывать достаточно сложные электронные устройства, в которых большая часть функционала реализуется программно.

Важной характеристикой, влияющей как на практичность, так и на цену устройства, является способ программирования. Перепрограммируемые микроконтроллеры, являются самыми дорогими, но вместе с тем, и наиболее практичными устройствами для мелкосерийного и экспериментального производства. Однократно-программируемые микроконтроллеры дешевле перепрограммируемых, однако, программирование возможно только один раз. Масочно-программируемые микроконтроллеры – самый дешевый способ изготовления, но программирование осуществляется промышленным способом на заводе изготовителе, что делает возможным применение подобных микроконтроллеров только в крупносерийном производстве, при условии, что программа изменяться не будет.

Использование в современном микроконтроллере мощного вычислительного устройства с широкими возможностями (рис.4.174), построенного на одной микросхеме вместо целого набора, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость устройств, построенных на его базе. Список периферии, которая может присутствовать в микроконтроллерах, включает в себя: универсальные цифровые порты, которые можно настраивать как на ввод, так и на вывод; различные интерфейсы ввода-вывода, такие как UART, I²C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet; аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи; компараторы; широтно-импульсные модуляторы; таймеры; контроллеры бесколлекторных двигателей; контроллеры дисплеев и клавиатур; радиочастотные приемники и передатчики.



Рисунок 4.174 - Функционально законченные промышленные устройства, содержащие в своей основе микроконтроллеры.

За последние двадцать лет произошли качественные изменения в структуре электропривода, связанные в первую очередь с переходом на новую элементную базу построения силового канала (IGBT-транзисторы, интеллектуальные силовые модули ИРМ) и новую элементную базу канала управления – высокопроизводительные микроконтроллерные системы прямого цифрового управления оборудованием (рис.4.175, 4.176). Речь идет не только о прямом управлении ключами силовых преобразователей, но и о прямом сопряжении с широкой номенклатурой датчиков обратных связей (положения, скорости, ускорения), а также с элементами дискретной автоматики (релейно-контакторной аппаратурой, дискретными датчиками и дискретными исполнительными устройствами). Область управления двигателями и силовыми преобразователями стала ярким примером быстрой адаптации процессорной техники к задачам предметной области.



Рисунок 4.175 - Внешний вид модулей микроконтроллерных систем управления.



Рисунок 4.176 - Микроконтроллерные модули для управления электроприводом.

Функции прямого цифрового управления в современных приводах реализуются за счет использования специализированных периферийных ус-

ройств, интегрированных непосредственно на кристалл микроконтроллера и не требующих дополнительных развитых средств сопряжения, а также за счет высокопроизводительной архитектуры и системы команд центрального процессора, позволяющей решать большинство типовых задач управления двигателями программным способом (регуляторы, наблюдатели, преобразователи координат и т.п.).

Переход к цифровым системам управления приводами на базе специализированных микроконтроллеров позволил обеспечить новый, недостижимый в аналоговых системах, уровень показателей качества:

- на порядок меньшие габариты и вес управляющей электроники;
- резкое повышение надежности (фактическое время наработки на отказ достигает 100000 час и выше) и срока службы привода (до 10 лет и более);

- быструю и качественную интеграцию привода в систему комплексной автоматизации производства с помощью унифицированных интерфейсов сопряжения с системами управления более высокого уровня и соответствующих средств программной поддержки (RS-232, RS-485, CAN);

- местное и дистанционное управление;

- интерактивный дружественный интерфейс с человеком-оператором на языке страны использования привода: отображение на встроенном дисплее информации о текущем состоянии привода и значениях наблюдаемых переменных; ввод команд оперативного управления со встроенной клавиатуры; настройка параметров привода и системы управления в процессе пусконаладочных работ с сохранением значений в энергонезависимой памяти; интерактивная справочная система и система подсказок стратегии управления в реальном времени;

- встроенный и удаленный (по сети) мониторинг состояния привода и раннее предупреждение аварийных ситуаций в технологическом оборудовании, возникающих вследствие срабатывания защит или идентификации отказов в приводе;

- конфигурирование структуры системы управления самим пользователем в процессе запуска привода в эксплуатацию для адаптации к конкретной технологии или специфике применения привода;

- встроенное управление средствами привода сопутствующей дискретной автоматикой без использования дополнительных промышленных программируемых контроллеров и управляющих ЭВМ;

- распределенное мультимикропроцессорное управление многоосевыми приводами роботов, манипуляторов, кабельных линий и т.п. с использованием локальных промышленных сетей, например, CAN, с широкими возможностями синхронизации, вплоть до систем электрического вала, распределенного позиционного и контурного управления;

- унификацию встроенных средств управления приводами (контроллеров, модулей ввода-вывода, пультов оперативного управления) независимо от типа исполнительного двигателя, структуры силового канала, типов используемых датчиков обратных связей;

- простую систему наращивания мощности комплектного электропривода за счет использования секционируемых исполнительных двигателей (например, вентильно-индукторных), каждая секция которых управляется от отдельного типового преобразователя с объединением систем управления всеми преобразователями в локальную промышленную сеть;

- возможность использования самых современных структур и алгоритмов управления приводами, которые трудно, а порой и невозможно реализовать на аналоговой элементной базе: векторного управления двигателями переменного тока; прямого управления моментом; прямого частотно-токового управления; управления с элементами фаззи-логики; прямой программной реализации по графам переходов дискретных управляющих автоматов любой сложности и т.п.

Перый микроконтроллер появился на свет еще в 1976 году, это была микросхема фирмы Intel, получившая имя 8048. В дальнейшем, Intel продолжала развивать эту категорию устройств, положившую начало целому семейству микроконтроллеров, которые господствовали на рынке вплоть до недавнего времени. Первые значительные перемены произошли с появлением PIC-контроллеров фирмы Microchip. Эти чипы предлагались по рекордно низким ценам, что позволило им в короткий срок захватить значительную часть рынка микроконтроллеров.



Рисунок 4.177 - 8-разрядные микроконтроллеры семейства PIC в DIP-корпусах с различным числом выводов

Микроконтроллеры семейства PIC (рис.4.177) построены по гарвардской архитектуре, что подразумевает разделение памяти и шин данных и команд, что позволяет за один такт микроконтроллера выполнять обращение к памяти данных и к памяти команд. В микроконтроллерах PIC реализована двухступенчатая конвейерная обработка команд, что обеспечивает одновременное исполнение текущей команды и выборку из памяти данных следующей. Все команды микроконтроллера, кроме команд безусловного и условного переходов, выполняются за один конвейерный такт. Операции безусловного и условного перехода, включая команды вызова подпрограмм и возврат из них, исполняются за два конвейерных такта.

Ощутимые сдвиги в мире микроконтроллеров произошли когда корпорация Atmel представила свое семейство чипов на новом прогрессивном ядре AVR (рис.4.178). Продуманная архитектура AVR, быстродействие, составляющее конкуренцию микроконтроллерам от Microchip, привлекательная ценовая политика способствовали дальнейшему развитию и внедрению этих устройств.



Рисунок 4.178 - Микроконтроллеры фирмы Atmel в различных типах корпусов.

К 1995г. Фирмой Intel была разработана первая в мире серия специализированных микроконтроллеров для управления двигателями (Motor Control) и движениями (Motion Control). Серия состоит из трех микроконтроллеров 8xC196MC, 8xC196MD, 8xC196MH и создана на базе популярного семейства 16-разрядных микроконтроллеров для управления событиями в реальном времени с перспективной архитектурой и мощной системой команд. Эффек-

тивная производительность процессора - 2 млн.оп./с. Набор встроенных периферийных устройств включает в себя таймеры/счетчики, параллельные и последовательные порты ввода/вывода, многоканальный процессор событий, многоканальный АЦП, генератор частоты, 3-канальный генератор ШИМ-сигналов и универсальный 6-канальный генератор периодических сигналов.

Похожие по функциональным возможностям и производительности микроконтроллеры стали выпускать и другие фирмы, в частности Siemens и Motorola. Осознав преимущества для целей управления двигателями технологии цифровой обработки сигналов в борьбу за рынок включились ведущие компании: Texas Instruments, Motorola, Analog Devices. Имея на порядок более производительное ядро центрального процессора, они интегрировали на кристалл процессора специализированную периферию для управления двигателями, расширили ее функциональные возможности, предложили развитые интегрированные средства разработки и отладки ПО – создали новую элементную базу: специализированные сигнальные микроконтроллеры для управления двигателями (DSP Motor Control) высокой производительности (более 20 млн.оп. цифровой обработки/с). Возросший уровень технологии позволил производить сигнальные микроконтроллеры по цене обычных микроконтроллеров и даже ниже.

В качестве примера рассмотрим поточную линию первичной обработки зерна (рис.4.179), спецификация оборудования показана на рисунке 4.180.

В соответствии с технологической схемой (рис.4.179) зерновой материал выгружается в завальную яму 1, оттуда шнековым транспортёром 2 подается в приемный бункер – накопитель 3, затем посредством пневмотранспортёра 4 подается в триерную машину 5 и далее в зерноочистительную установку 6 для более тщательной очистки. Затем очищенное зерно по пневмотранспортёру 7 и увлажнительному шнеку 8 попадает в накопительные бункеры 9.

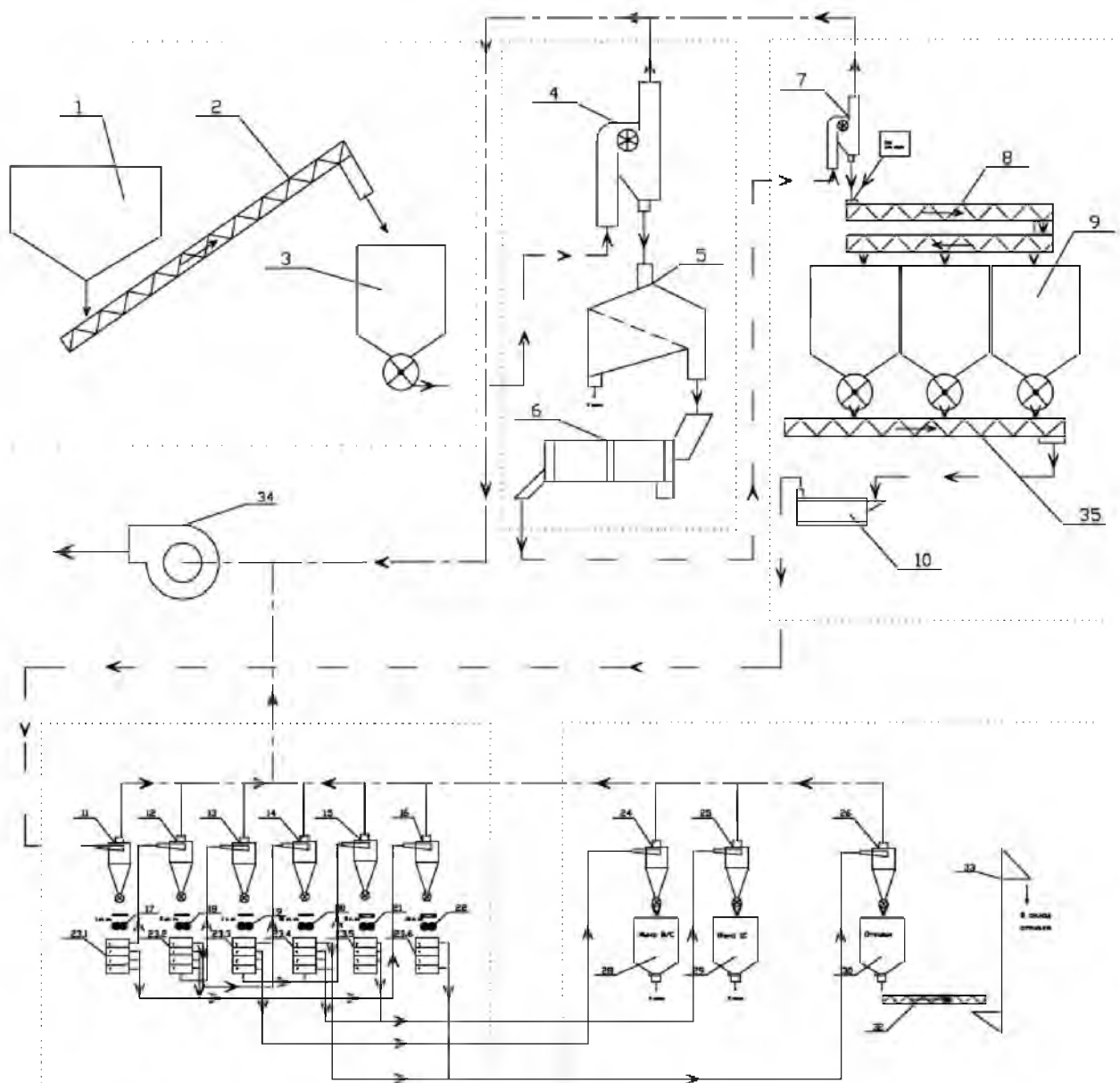


Рисунок 4.179 - Технологическая схема поточной линии.

После этого выгрузным шнеком 35 зерно попадает в бочную машину 10 и из нее подается в агрегатную мельницу, где размалывается и по конвейерам муки I-ого и II-ого сорта попадает в весовой дозатор, мешкозашивочную машину, после чего в мешках мука транспортируется на склады муки. Технологический процесс представляет собой целенаправленное воздействие специальными машинами на сырье по установленной технологии.

Принцип работы поточной линии заключается в последовательной очистке и переработке зерна на мельницах зерноочистительных и размольных отделений, увязанных между собой коммуникациями пневматического транспорта. Отходы, получаемые при обработке зерна, направляются в бункер отходов и вывозятся автотранспортом.

Автоматизация технологического процесса производства муки сделана на основе микроконтроллера PIC18F4550 производства фирмы Microchip.

№ по плану	Наименование
1	Бункер приемный
2, 32, 35	Винтовой транспортер
3	Расходный бункер
4	Пневмосепаратор
5	Зерноотчистительный сепаратор
6	Вибросито
7	Пневмосепаратор
8	Конвейер винтовой увлажнительный
9	Бункер для отвлаживания зерна
10	Машина обоечная
11, 12, 13 14, 15, 16	Разгрузитель центробежный
17, 18, 19 20, 21, 22	Станок вальцевый
23,1 23,2 23,3 23,4 23,5 23,6	Рассев ЗРК
24, 25, 26	Циклон
28	Бункер муки В/С
29	Бункер муки 1 сорта
30	Бункер отрубей
33	Нария
34	Вентилятор ВВД

Рисунок 4.180– Спецификация оборудования технологической линии обработки зерна

Основные параметры микроконтроллера PIC18F4550 даны в таблице 4.12 а его внешний вид и маркировка выводов представлен на рисунке 4.181.

Маломощные выходы микроконтроллера не позволяют непосредственно управлять нагрузкой (электродвигатели поточной линии мельницы), поэтому необходимо дополнительное устройство-драйвер, способное решить эту проблему. Для управления нагрузкой (электродвигателями) применяются магнитные пускатели ПМЛ соответствующей мощности с катушкой управления 220 В. Для включения/выключения пускателей электродвигателей используются оптосимисторы МОС3081 фирмы Motorola.

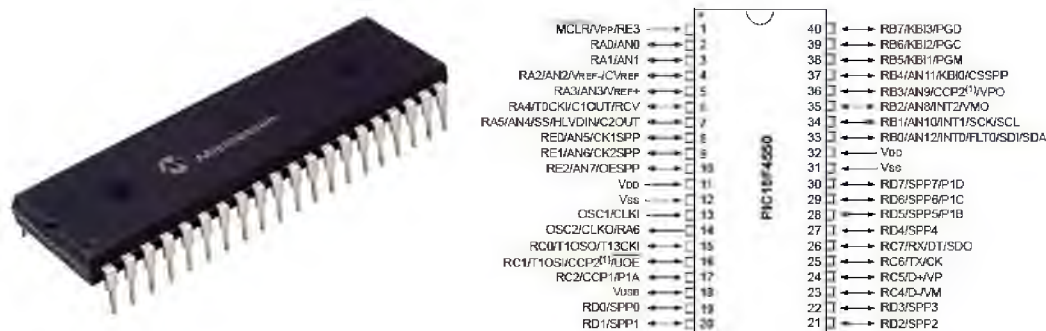


Рисунок 4.181 - Внешний вид микроконтроллера PIC18F4550 в корпусе DIP40 и расположение его выводов.

Собственный ток потребления микроконтроллера PIC18F4550 весьма мал и находится в районе 0,1мА при напряжении питания 5В. Основное потребление схемой будет приходиться на токи управления оптосимисторами, что позволяет сделать вывод о достаточности применения источника питания с максимально допустимым током 0,2А.

Таблица 4.12 - Основные параметры микроконтроллера PIC18F4550

ЦПУ: Ядро	PIC18
ЦПУ: F,МГц	от 0 до 48
Память: Flash,КБайт	32
Память: RAM,КБайт	2
Память: EEPROM,КБайт	0.25
И/О порты ввода-вывода (макс.), шт.	35
Таймеры: 8-бит,шт	1
Таймеры: 16-бит,шт	3
Таймеры: Каналов ШИМ,шт	1
Таймеры: RTC	Нет
Интерфейсы: SPI,шт	1
Интерфейсы: USB,шт	1
Аналоговые входы: Разрядов АЦП,бит	10
Аналоговые входы: Каналов АЦП,шт	13
Аналоговые входы: Аналоговый компаратор, шт	2
V _{CC} ,В	от 2 до 5.5
I _{CC} ,мА	25
T _A , °С	от -40 до 125
Корпус	DIP-40 QFN-44 SOIC-44

Электрическая принципиальная схема автоматизации части поточной линии, а именно линии размола показана на рисунках 4.182, 4.183. Схема может работать как от кнопочных станций, так и в автоматизированном режиме – после включения только одной пусковой кнопки. При работе в ручном режиме микроконтроллер сохраняет необходимые технологические блокировки от неправильного режима включения.

Для запуска поточной линии необходимо подать напряжение на цепь управления и силовую цепь автоматическим выключателем **QF1**. При подаче напряжения на схему также загорается **HL8**.

При нажатии кнопки **SB8** включается сигнальная сирена **HA1** и, в соответствии с алгоритмом работы микроконтроллера, появляется возможность включения вентилятора высокого давления (двигатель **M1**) при помощи кнопки **SB1**, появляется сигнал высокого уровня на выводе 40 микроконтроллера, подается ток управления на оптосимистор **Q1**, срабатывает магнитный пускатель **KM1** и включается вентилятор высокого давле-

ния, загорается сигнальный индикатор **HL1**. Затем, при нажатии кнопки **SB2**, срабатывает магнитный пускатель **KM2** и запускается батарея воздушных циклонов (**M2**), необходимых для работы пневмотранспортеров и появляется возможность включения машин отделения зерноочистки. По отдельной схеме производится запуск машин отделения зерноочистки.

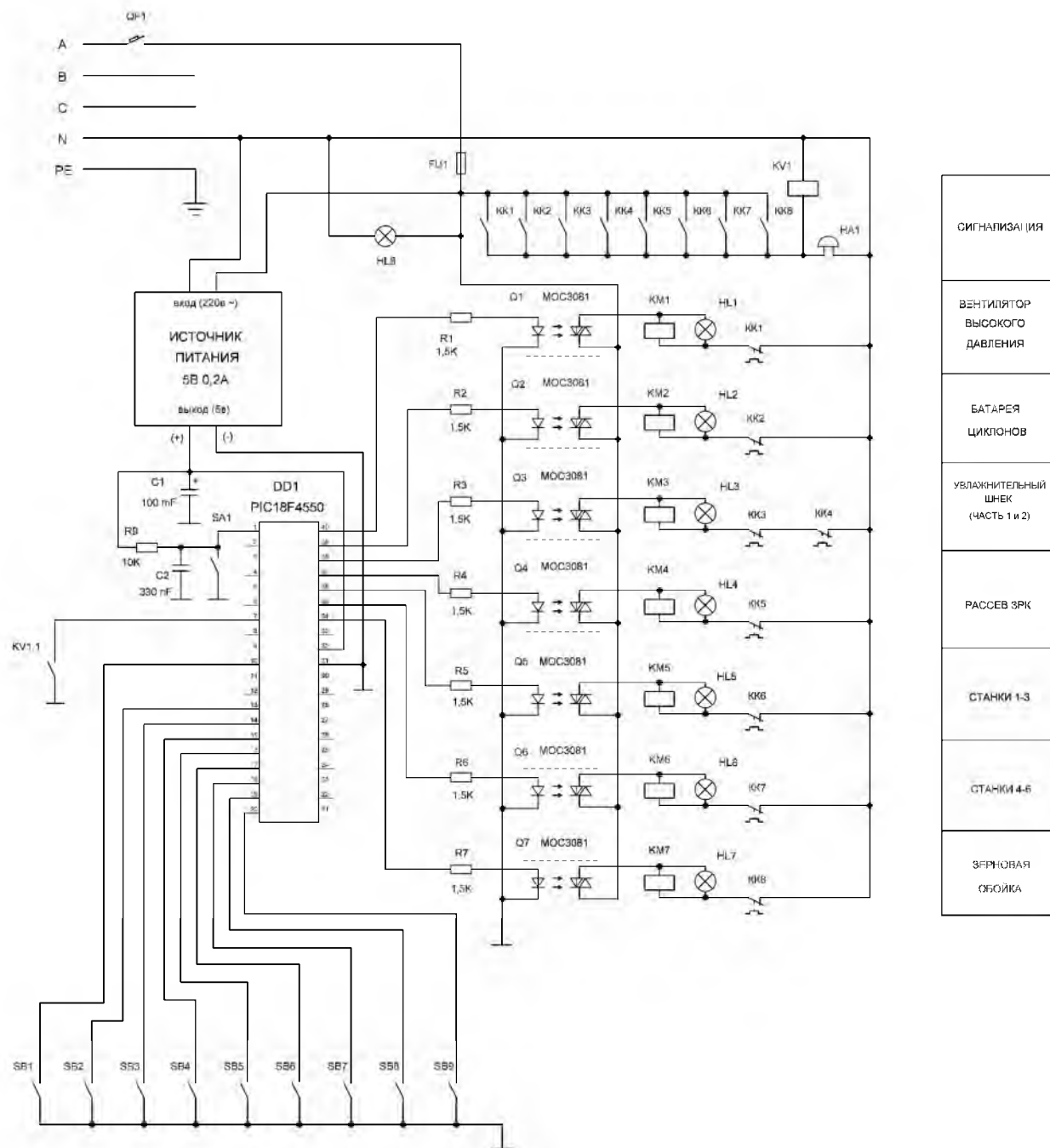


Рисунок 4.182 - Схема цепей управления автоматизации поточной линии размола на основе микроконтроллера.

Схема линии размола работает следующим образом. После загрузки от-влаживающих бункеров 9, увлажнительным шнеком 8 (состоит из двух частей с двумя электродвигателями **M3** и **M4**) можно запускать линию размола. При размоле нажатием на **SB4** включаем магнитный пускатель **KM4**, запускается рассев ЗРК (**M5**), и появляется возможность включения вальцевых станков 17-19. Кнопкой **SB5** подается напряжение на катушку магнитного

пускателя **КМ5**, запускаем вальцевые станки 17-19, и появляется возможность включения станков 20-22. После нажатия кнопки **SB6** срабатывает магнитный пускатель **КМ6**, запускаем станки 20-22, и загорается сигнальная лампа **HL6**. В последнюю очередь включается мягкая зерновая обойка нажатием кнопки **SB7**, срабатывает магнитный пускатель **КМ7**, и выгрузной винтовой транспортёр 35, загорается **HL7**.

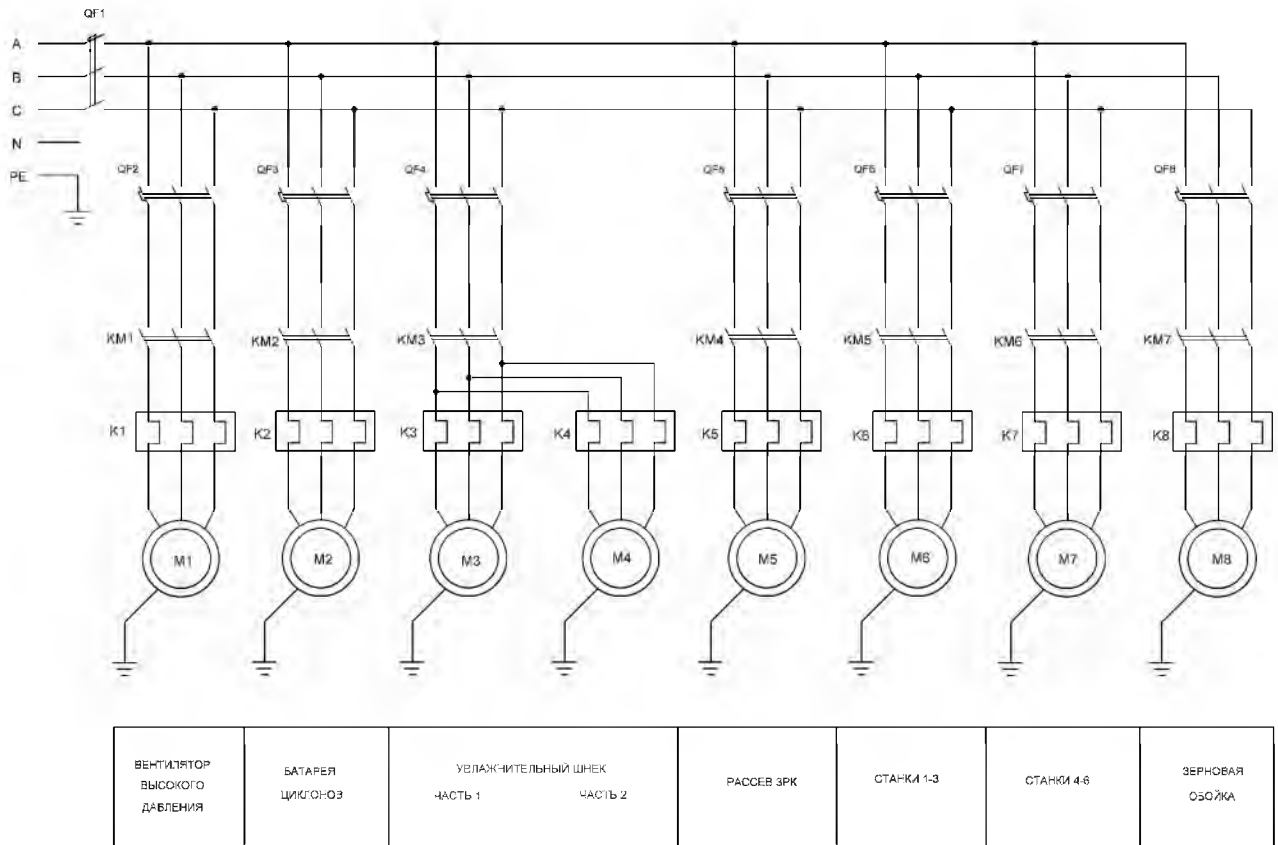


Рисунок 4.183 - Силовая часть схема автоматизации поточной линии размо-
ла.

Кнопка **SB9** предназначена для экстренного останова агрегата. В случае срабатывания теплового реле срабатывает промежуточное реле **КVI**, контакт **КVI.1**, подключенный к выводу 7 микроконтроллера замыкается, все электроприводы последующие по технологической схеме отключаются, гаснут соответствующие им светоиндикаторы, срабатывает сирена. Переключатель **SA1** применяется для перезагрузки микроконтроллера в случае сбоя.

На рисунке 4.184 представлена окно части программного кода прошивки микроконтроллера (на языке ассемблер). Использование такого типа микроконтроллеров позволяет минимизировать массогабаритные показатели устройств управления электроприводами с максимальной возможностью автоматизации работы приводных машин.

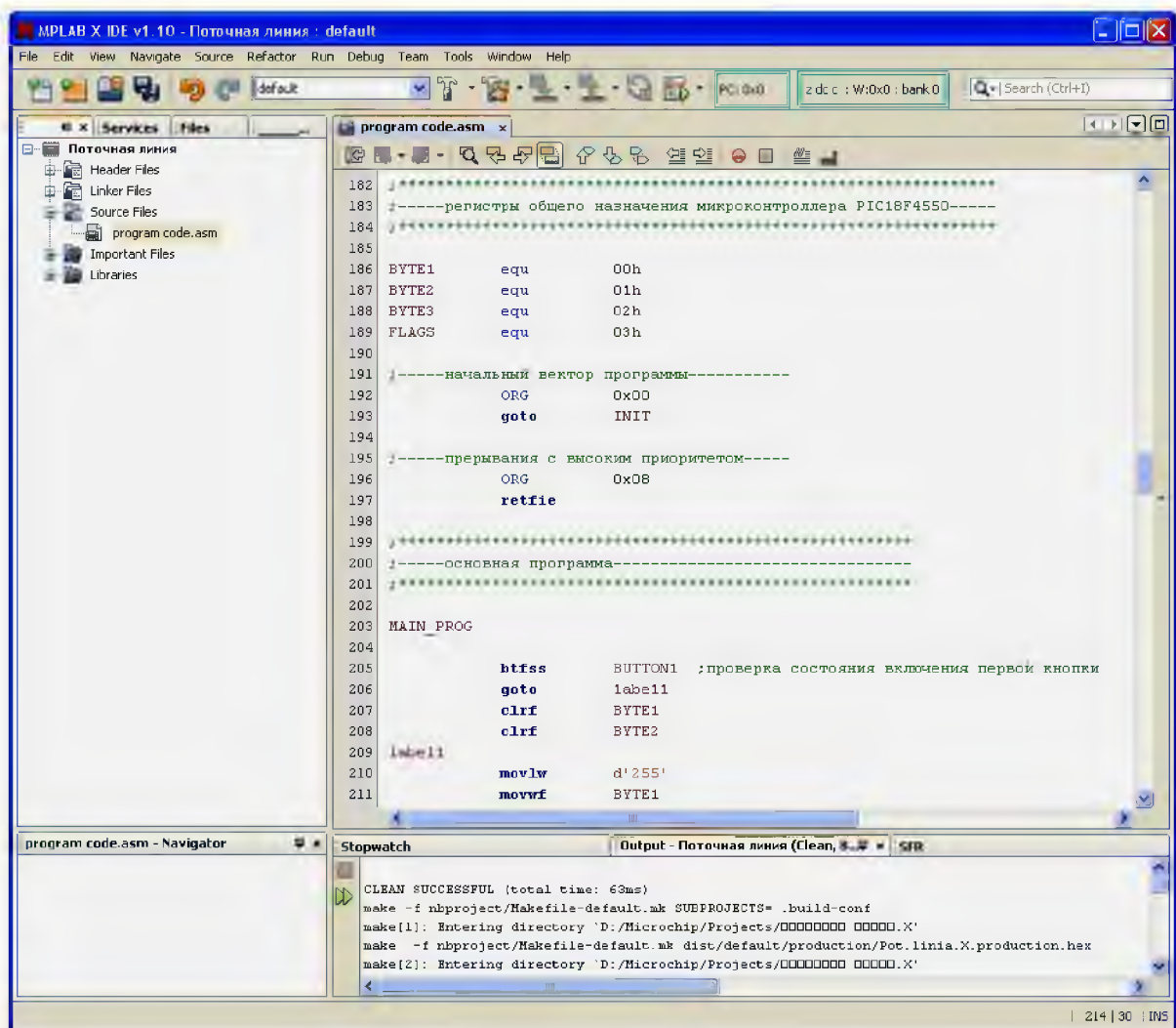


Рисунок 4.184 - Среда программирования MPLAB X. Окно кода программы микроконтроллера

Контрольные вопросы.

1. Приведите типы стационарных транспортеров и для каких видов грузов они применяются.
2. Как рассчитывается производительность отдельных типов транспортеров.
3. В чем особенность кинематических схем транспортеров и какие виды передаточных механизмов используют в их кинематике.
4. Приведите основные расчетные формулы для определения мощности приводных электродвигателей и как осуществляется пересчет полученной мощности на конкретный режим работы.
5. Какие используются способы сокращения потребления электроэнергии в электроприводе стационарных транспортеров.
6. Перечислите технологические характеристики грузоподъемных машин.

7. Особенности механических характеристик грузоподъемных машин.
8. Изобразите кинематические схемы лифтов.
9. Приведите формулы для расчета мощности приводных электродвигателей мобильных машин и уточните – как пересчитывается расчетная мощность на характерный режим работы.
10. Изобразите типовые схемы управления стационарными транспортерами, поясните принципы автоматизации.
11. Что такое поточная линия и какие требования к электроприводу предъявляются при его проектировании?
12. Какие устройства автоматики используются при автоматизации поточных линий?
13. Какого типа бывают микроконтроллеры и ПЛК, как они используются в электроприводах технологических линий?
14. Особенность схем управления лифтами, принципы автоматизации.
15. Типовые схемы управления мобильных машин, оборудование применяемое для автоматизации их работы.
16. Оборудование применяемое для работы норий, схемы включения.
17. Способы экономии электрической энергии в мобильном транспорте.
18. Оборудование для автоматизации работы кран-балок.
19. Что такое логические реле и какие языки программирования используются для их программирования?
20. Изобразите типовую структуру РСУ и поясните назначение ее элементов.
21. Что такое **SCADA** и где она применяется?

5. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВОБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ, СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

5.1. Назначение и приводные характеристики станков

Станки классифицируются по группам и каждая группа имеет отдельные виды. **Группа 1 станки токарные:** 1-1 автоматы и полуавтоматы одношпиндельные; 1-2 автоматы и полуавтоматы многошпиндельные; 1-3 револьверные; 1-4 сверлильно-отрезные; 1-5 карусельные; 1-6 токарные и лоботокарные; 1-7 многорезцовые; 1-8 специализированные для фасонных изделий; 1-9 разные токарные. **Группа 2 станки сверлильные и расточные:** 2-1 вертикально-сверлильные; 2-2 одношпиндельные полуавтоматы; 2-3 многошпиндельные полуавтоматы; 2-4 координатно-расточные одностоечные; 2-5 радиально-сверлильные; 2-6 расточные; 2-7 алмазно-расточные; 2-8 горизонтально-сверлильные; 2-9 разные сверлильные. **Группа 3 станки шлифовальные, полировальные, доводочные:** 3-1 круглошлифовальные; 3-2 внутришлифовальные; 3-3 обдирочно-шлифовальные; 3-4 специализированные шлифовальные; 3-6 заточные; 3-7 плоскошлифовальные с прямоугольным или круглым столом; 3-8 притирочные и полировальные; 3-9 разные станки, работающие абразивным инструментом. **Группа 4 станки комбинированные (электрохимические, электромеханические, электроэрозионные и др.):** 4-1 универсальные; 4-2 полуавтоматы; 4-3 автоматы. **Группа 5 станки зубообрабатывающие, резьбообрабатывающие:** 5-1 зубострогальные для цилиндрических колес; 5-2 зуборезные для конических колес; 5-3 зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валиков; 5-4 зубофрезерные для червячных колес; 5-5 для обработки торцов зубьев колес; 5-6 резьбофрезерные; 5-7 зубоотделочные; 5-8 зубошлифовальные, резьбошлифовальные; 5-9 разные зубообрабатывающие, резьбообрабатывающие. **Группа 6 станки фрезерные:** 6-1 вертикально-фрезерные консольные; 6-2 фрезерные непрерывного действия; 6-4 копировальные и гравировальные; 6-5 вертикальные бесконсольные; 6-6 продольные; 6-7 широкоуниверсальные; 6-8 горизонтальные консольные; 6-9 разные фрезерные. **Группа 7 станки строгальные, долбежные, протяжные:** 7-1 продольные одностоечные; 7-2 продольные двухстоечные; 7-3 поперечно-строгальные; 7-4 долбежные; 7-5 протяжные горизонтальные; 7-7 протяжные вертикальные; 7-9 разные строгальные. **Группа 8 станки отрезные:** 8-1 отрезные, работающие токарным резцом; 8-2 отрезные, работающие абразивным кругом; 8-3 отрезные, работающие фрикционным блоком; 8-4 правильно-отрезные; 8-5 ленточные; 8-6 пилы дисковые; 8-7 ножовочные. **Группа 9 станки разные:** 9-1 муфтообрабатывающие, трубообрабатывающие; 9-2 пилонасекательные; 9-3 правильнообдирочные, бесцентровообдирочные; 9-5 для испытания инструмента; 9-6 делительные машины; 9-7 балансировочные.

Внешний вид металлообрабатывающих станков представлен на рисунке 5.1 .



Рисунок 5.1 - Внешний вид металлообрабатывающих станков

Вид деревообрабатывающих станков представлен на рисунке 5.2 .



Рисунок 5.2- Внешний вид деревообрабатывающих станков

Составная часть электрооборудования металлообрабатывающих станков – электропривод главного движения. На выбор типа электропривода основного движения оказывают влияние следующие факторы: характер нагрузки, диапазон и плавность регулирования, частота включений, энергетические показатели, надежность, простота обслуживания. Для главных электроприводов применяют различные способы регулирования скорости: механические, электромеханические, электрические ступенчатые, электрические плавные.

Приводы подачи станков характеризуются значительным диапазоном изменения скорости – 100:1 и более. Применяют следующие типы приводов подачи: от главного привода через механическую передачу, от главного привода, от гидропривода. Осуществление подачи от главного привода позволяет сохранить постоянным установленное соотношение между скоростью подачи и скоростью шпинделя станка.

Технические характеристики станков включают: основные размеры и массу станка, показатели точности, кинематические, силовые характеристики и другие показатели. Основные размеры станков устанавливаются по нормальным рядам чисел, принятых в станкостроении.

Основные параметры станков некоторых типов следующие. Многошпиндельные горизонтальные патронные полуавтоматы: наибольший диаметр патрона; наибольшие ходы суппортов; наибольшие диаметр и длина заготовки. Токарно-револьверные станки: наибольшая длина подачи прутка; наибольший ход револьверного суппорта; наибольший диаметр прутка; наибольший диаметр заготовки над станиной и суппортом. Токарные и токарно-винторезные станки; наибольшее перемещение суппорта (продольное и поперечное); шаг резьбы; наибольший диаметр заготовки над станиной и над суппортом; наибольшая длина заготовки. Радиально-сверлильные станки: наибольшие и наименьшие расстояния от оси шпинделя до образующих колонны; наибольшее расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности; наибольшее перемещение шпинделя и суппорта; ширина и длина рабочей поверхности плиты, откидного стола и стола плиты; наибольший условный диаметр сверления. Плоскошлифовальные станки: ширина и длина рабочей поверхности стола или диаметр стола; наибольшие и наименьшие перемещения стола и шлифовальной бабки; наибольшая высота заготовки; наибольший диаметр шлифовального круга. Продольно-строгальные станки: размеры рабочей поверхности стола; наибольшая ширина обрабатываемой поверхности; высота устанавливаемой заготовки.

Деление станков по их массам: легкие станки - масса до 1 т; средние станки - от 1 т до 10 т; крупные станки - от 10 т до 30 т; тяжелые станки - от 10 т до 100 т; особо тяжелые станки - свыше 100 т. Технические характеристики некоторых тяжелых станков содержат еще и наибольшую массу заготовки.

Показатели точности. Точность металлорежущих станков определяется тремя группами показателей: характеризующими точность обработки образцов изделий; геометрическую точность станков; дополнительные. К показателям, характеризующим точность обработки образцов-изделий, относятся:

точность геометрических форм и расположения обработанных поверхностей образцов-изделий; постоянство размеров партии образцов-изделий; параметры шероховатости обработанных поверхностей образцов-изделий. К показателям, характеризующим геометрическую точность станка, относятся: точность баз для установки заготовки и инструмента; точность траекторий перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент; точность расположения осей вращения и направлений прямолинейных перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент относительно друг друга и относительно баз; точность взаимосвязанных относительных линейных и угловых перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент; точность делительных и установочных перемещений рабочих органов станка; точность координатных перемещений (позиционирования рабочих органов станка), несущих заготовку и инструмент; стабильность некоторых параметров при многократности повторений проверки, например, точность подвода на жесткий упор, точность малых перемещений подвода. К дополнительным показателям точности станка относятся способность сохранения взаимного расположения рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент при условии: приложения внешней нагрузки; воздействия тепла, возникающего при работе станка на холостом ходу; колебаний станка, возникающих при работе станка на холостом ходу. Классы точности станков: нормальной точности (Н); повышенной точности (П); высокой точности (В); особо высокой точности (А); особо точные (С).

Кинематические и силовые характеристики. Основными кинематическими характеристиками процесса резания являются скорость резания и подача. Скорость резания для станков с главным вращательным движением обеспечивается вращением шпинделя и регулируется частотой его вращения; для станков с главным поступательным движением - скоростью движения стола, которая измеряется числом двойных ходов в минуту. Подача обеспечивается приводом подач. Подача на оборот измеряется в миллиметрах за оборот шпинделя (оборотная подача), в миллиметрах в минуту (минутная подача), в миллиметрах на один двойной ход (для станков с главным поступательным движением). Кроме рабочих движений в станке имеются вспомогательные движения, не связанные с процессом резания, но необходимые для полного осуществления цикла. Силовые параметры процесса резания - силы резания и мощность резания зависят от ширины срезаемого слоя и обеспечиваются приводами и механизмами станка.

Технические характеристики станка включают следующие кинематические и силовые показатели: диапазон частот вращения шпинделя и подач (для ступенчатого привода - ряды частот или чисел двойных ходов в минуту); наибольшую скорость вращения шлифовального круга (для шлифовальных станков); скорости вспомогательных перемещений; мощность электродвигателя привода главного движения.

По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы. В станках с ручным управлением пуск и останов станка, переключение скоростей и подач, подвод и отвод инструментов, за-

грузку станка заготовками и разгрузку обработанных деталей и другие вспомогательные операции выполняет рабочий. Полуавтомат — станок, работающий по автоматическому циклу, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Так, рабочий вручную устанавливает на станок заготовку и снимает обработанную деталь, после чего включает станок для повторения цикла. В автомате все рабочие и вспомогательные движения, необходимые для выполнения цикла технологической операции, осуществляются без участия рабочего, который лишь наблюдает за тем, как функционирует станок, контролирует качество обработки.

Управление станками. Под управлением станком понимают совокупность воздействий на его механизмы, обеспечивающих выполнение технологического цикла обработки, а под системой управления — устройство или совокупность устройств, реализующих эти воздействия. Цикл работы станка — это совокупность всех движений, необходимых для обработки заготовок и выполняемых в определенной последовательности.

По виду различают цикловое и числовое программное управление. Цикловым программным управлением (ЦПУ) называют управление, при котором полностью или частично программируется цикл работы станка, режимы обработки и смена инструмента, а размерная информация (перемещения рабочих органов станка) задается с помощью путевых упоров, устанавливаемых на специальных линейках или барабанах. В автоматическом оборудовании с ЦПУ цикл работы является замкнутым, т.е. положения механизмов в начальной и конечной фазах цикла совпадают.

Числовым программным управлением (ЧПУ) называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе (УП), в которой данные представлены в цифровой форме. ЧПУ обеспечивает управление движениями рабочих органов станка, скоростью их перемещения при формообразовании, последовательностью обработки, режимами резания, а также различными вспомогательными функциями. Система числового программного управления (СЧПУ) — это совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, которые обеспечивают управление станком. Основой СЧПУ является устройство числового программного управления (УЧПУ), которое выдает управляющее воздействие на рабочие органы станка в реальном масштабе времени в соответствии с УП и информацией о состоянии управляемого объекта. Вся информация УП (размерная, технологическая и вспомогательная), необходимая для управления обработкой, вводится в память системы управления. УЧПУ преобразует эту информацию в управляющие команды для рабочих органов станка и контролирует их выполнение. Вид станков с ЧПУ представлен на рисунке 5.3.

Показатели технического уровня и надежности станков. Каждый станок имеет определенные выходные параметры. К ним относятся: производительность, точность, прочность, жесткость, виброустойчивость, стойкость к тепловым воздействиям, износостойкость, надежность, показатели качества, экономические и энергетические показатели. Все они, вместе взятые, характеризуют технический уровень станка.



Рисунок 5.3 – вид станков с ЧПУ фирм Milltronics (США) и Ge Fong (Тайвань)

Производительность - основной критерий количественной оценки станочного оборудования. Производительность станка характеризуется числом деталей, изготовленных на нем в единицу времени. Для металлорежущих станков различают:

идеальную (технологическую) производительность $Q_{ид} = 1/t_p$, где t_p — время резания;

цикловую производительность $Q_n = 1/(t_p + t_x)$, где t_x — время на холостые ходы;

фактическую (реальную) производительность $Q_f = 1/(t_p + t_x + t_{np})$, где t_{np} — время, затрачиваемое на смену инструмента, его регулирование, ремонт механизмов станка и т.д., этот параметр называют прочими потерями времени, приходящимися на одну обработанную деталь.

Технологическая производительность с уменьшением времени резания возрастает, чего нельзя сказать о фактической производительности. До некоторого момента значение Q_f будет возрастать с увеличением технологической производительности. Далее с ростом технологической производительности фактическая начнет падать. Это будет происходить, когда скорость резания станет выше рекомендуемой для обработки данного материала, так как станет увеличиваться значение t_{np} : быстрее будет затупляться режущий инструмент, чаще придется его заменять, а следовательно, переустанавливать и настраивать на размер.

К основным **технологическим требованиям** к электроприводу станков можно отнести следующие: регулирование частоты вращения двигателей в длительном режиме для обеспечения режимов резания; обеспечение рационального режима пуска двигателя по определенному закону; обеспечение рационального торможения с заданными параметрами (время, путь или момент); реверсирование двигателя с рациональным торможением и разгоном; слежение за данным углом поворота вала двигателя; позиционировании или повороте на определенный угол рабочего органа станка.

Кинематические схемы. Общий вид токарно-винторезного станка модели 1К62 приведен на рисунке 5.4. Основные части этого станка, присущие любому токарно-винторезному станку — неподвижная передняя бабка 1,

подвижная и закрепляемая в рабочем положении задняя бабка 3 и подвижный в работе суппорт 2, в резцедержателе которого крепится резец. Суппорт управляется с помощью механизмов фартука 4 и получает движение от коробки подач 6. Все эти части станка размещаются на станине 5.

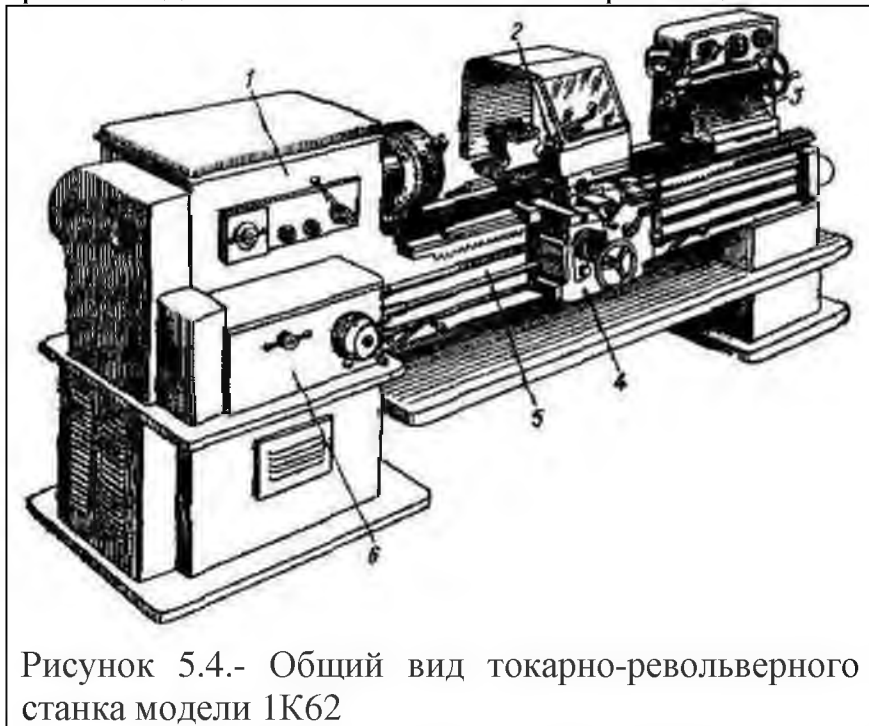


Рисунок 5.4.- Общий вид токарно-револьверного станка модели 1K62

Нужно отметить, что кинематика станков имеет сложную структуру, что связано с набором технологических требований как к электроприводу главного движения так к электроприводу вспомогательных перемещений. На рисунке 5.5 приведена кинематическая схема станка 1K62. Из данной схемы видно, что передача энергии от электрической машины к рабочим органам производится через большое количество промежуточных передач. Это приходится учитывать при расчете как мощности электродвигателя, так времени переходных процессов, влияющих на точность работы и производительность.

Это приходится учитывать при расчете как мощности электродвигателя, так времени переходных процессов, влияющих на точность работы и производительность.

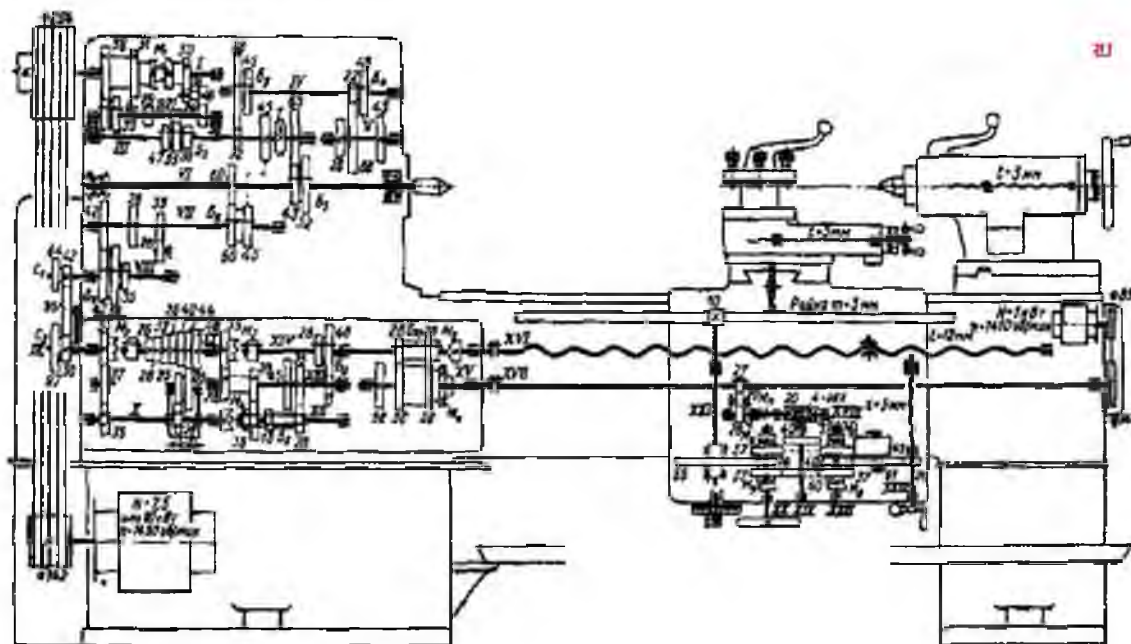


Рисунок 5.5. - Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 1K62.

На рисунках 5.6- 5.8 приведены для примера кинематические схемы и других станков, в том числе фрезерных

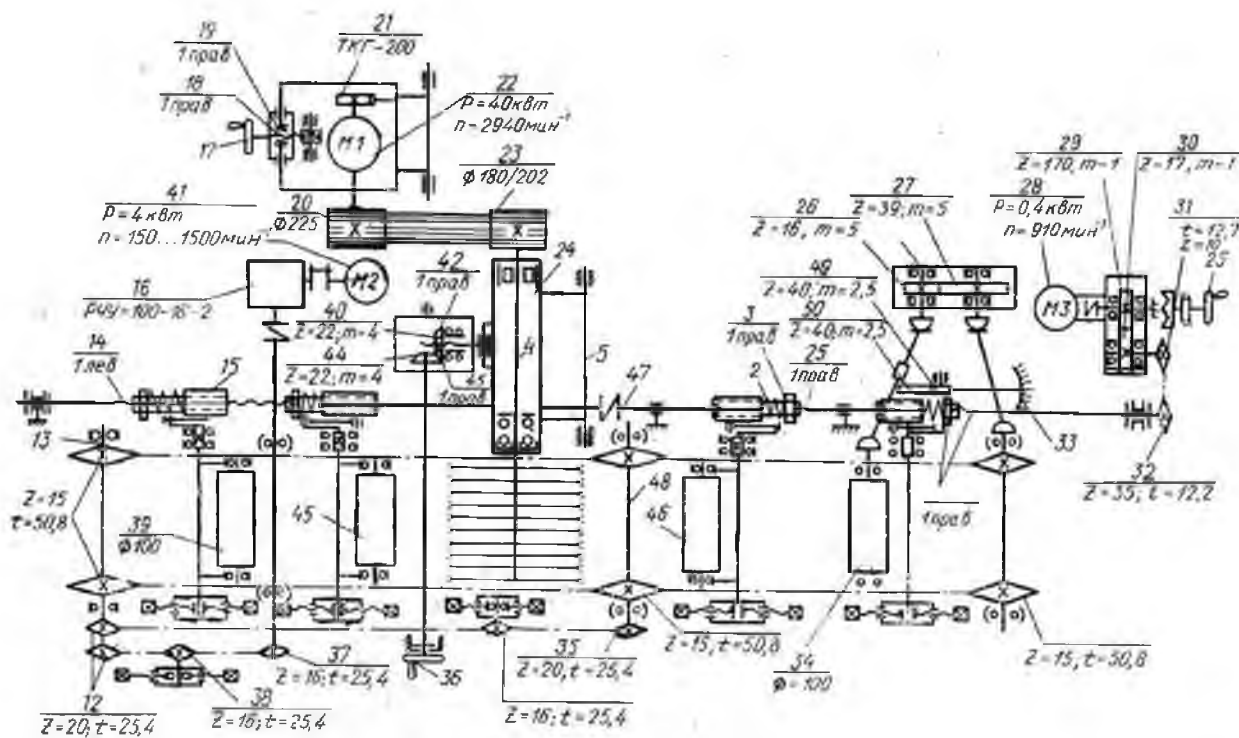
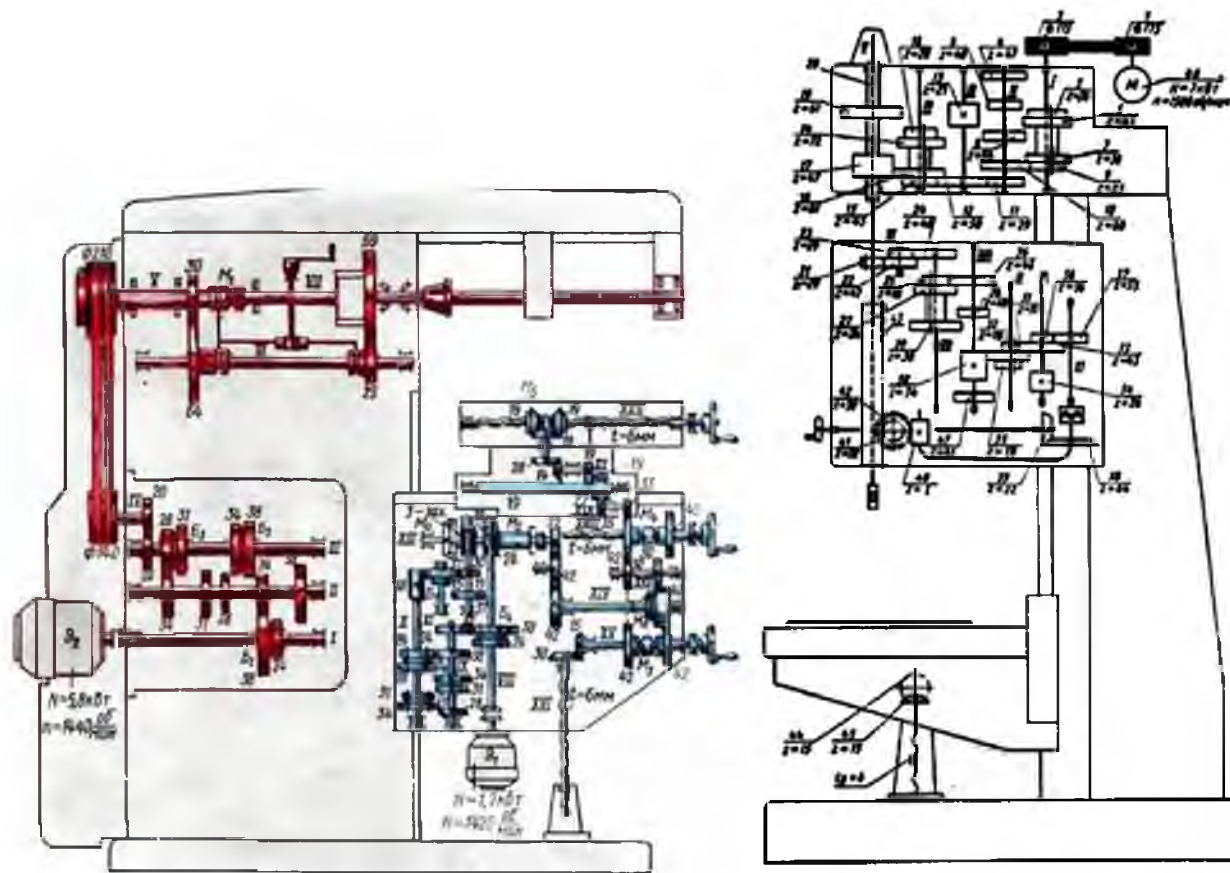


Рисунок 5.6. - Кинематическая схема токарно-винторезного станка



а) Рисунок 5.7. - Кинематические схемы консольно-фрезерного станка (а) вертикально-сверлильного 2А-150 (б)

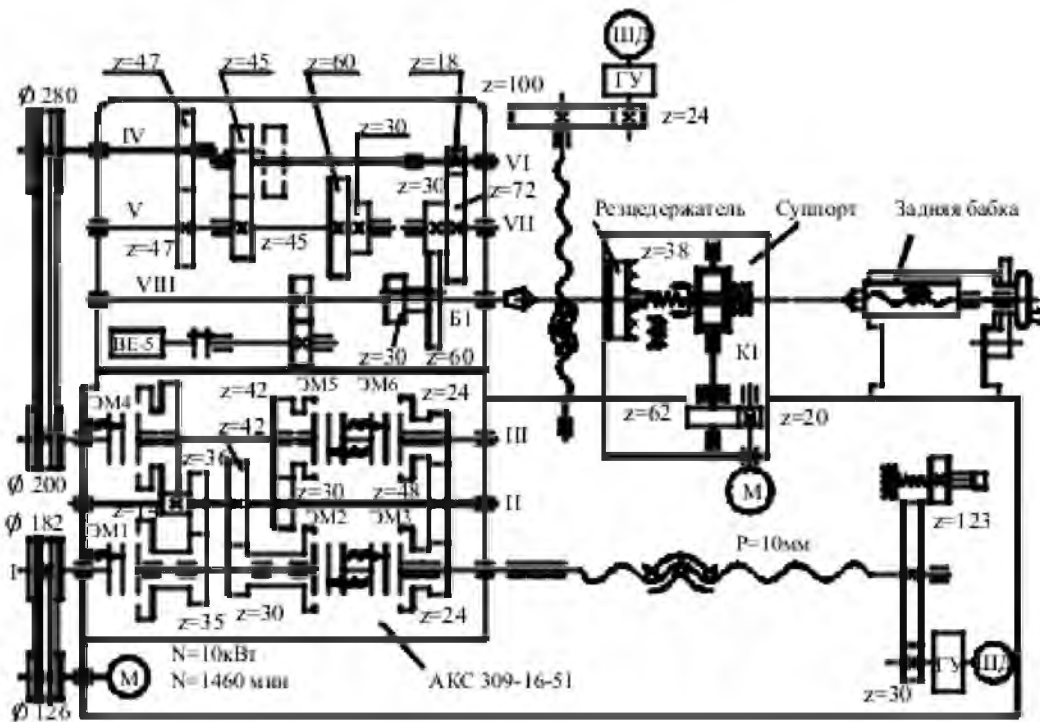


Рисунок 5.8. - Кинематическая схема станка с ЧПУ

Кинематика станков по обработки деревянных изделий несколько проще. Так на рисунке 5.9, 5.10 даны кинематические схемы деревообрабатывающих станков.

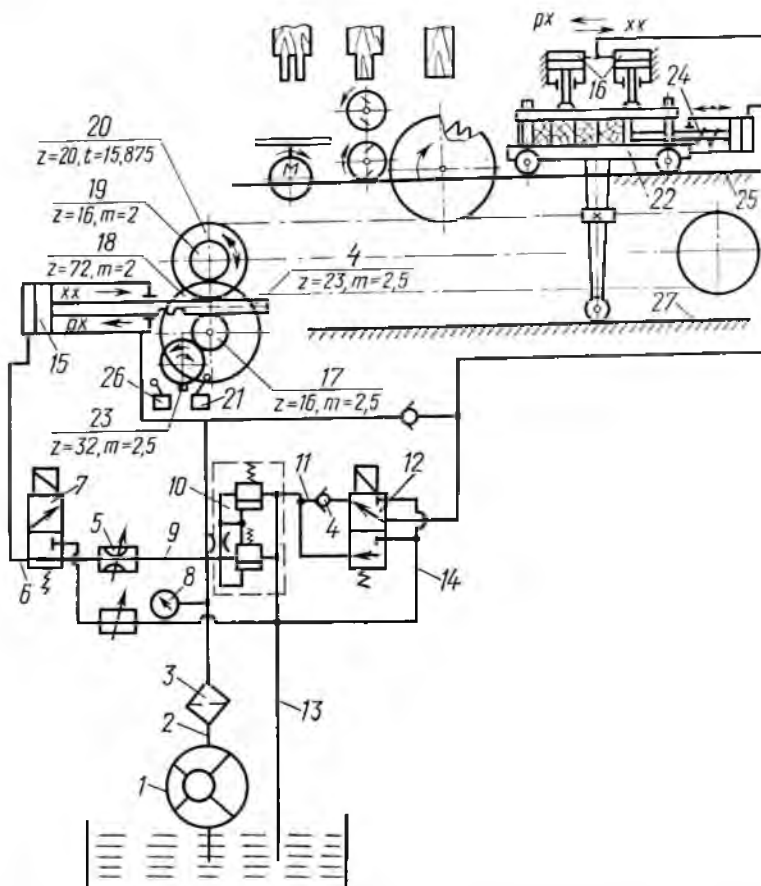
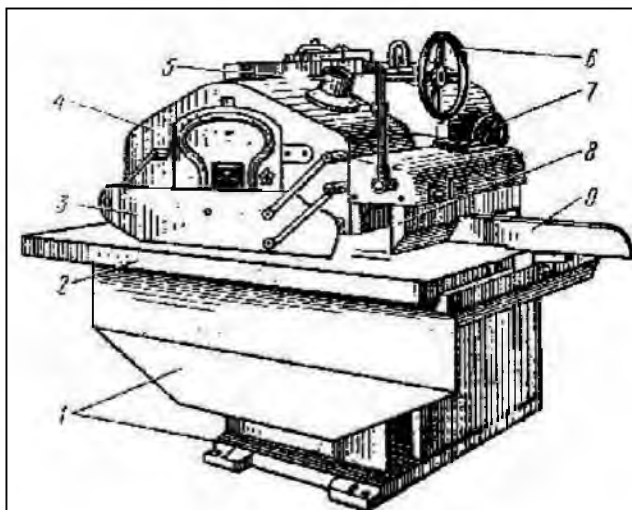
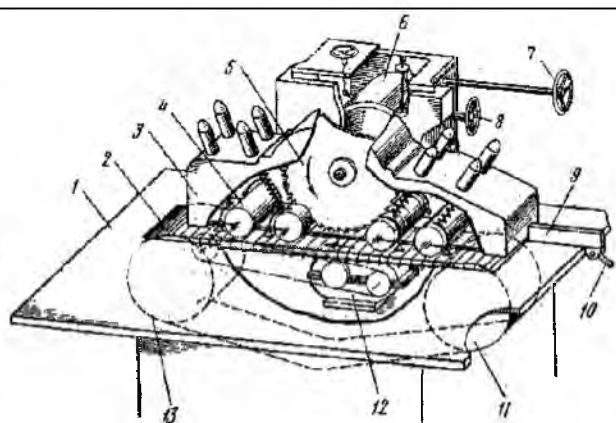


Рисунок 5.9 – Гидрокинематическая схема одностороннего рамного ши-порезного станка ШО-16-4



Станок ЦДК-5:

1- станина; 2-стол; 3- ограждение пилы; 4- суппорт пилы; 5 – патрубок приемника опилок; 6,7 – маховички; 8 – защита; 9 – направляющая линейка



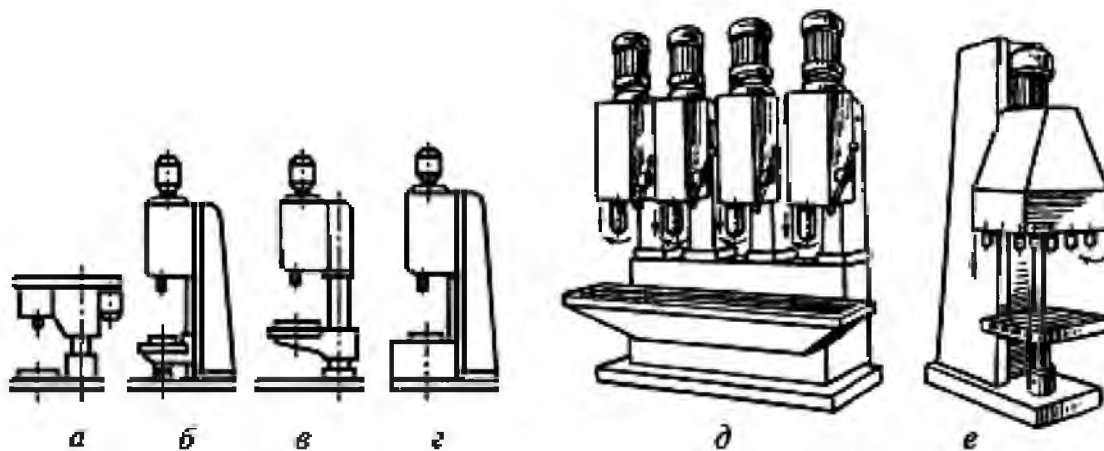
Станок ЦДК4-2:

1- стол; 2- цепь; 3 – корпус суппорта прижимного устройства; 4 – подпружиненные ролики; 5 – пила; 6 – электродвигатель; 7, 8 – маховички подстройки; 9 – направляющая линейка; 10 – фиксатор линейки; 11,13 – звездочки; 12 - редуктор

Рисунок 5.10 – Кинематические схемы деревообрабатывающих станков

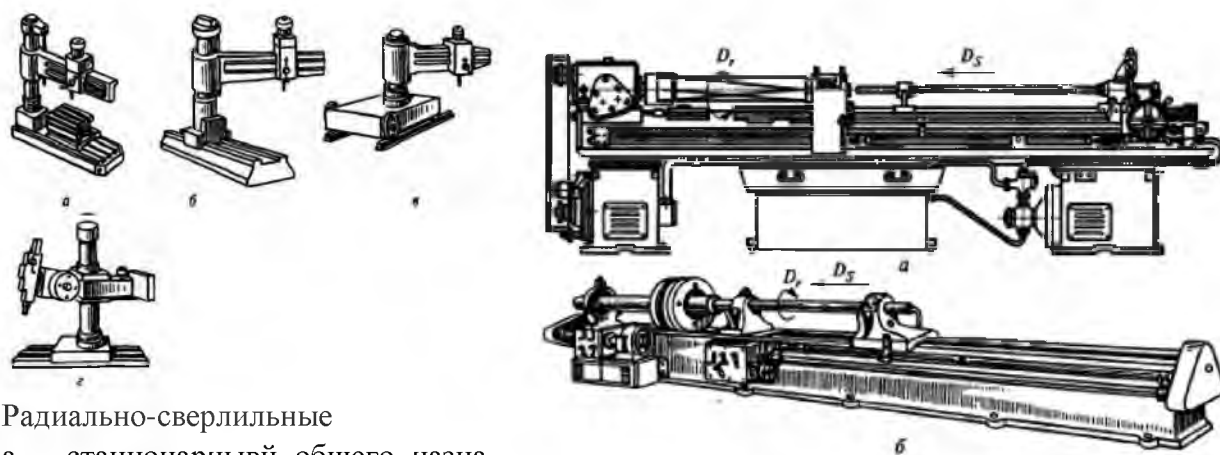
Сверлильные станки предназначены для обработки отверстий в сплошном материале, рассверливания, зенкерования и развертывания уже существующих в заготовке отверстий, нарезания внутренних резьб, вырезания дисков из листового материала и выполнения подобных операций сверлами, зенкерами, развертками, метчиками и другими инструментами. Основными параметрами станка являются наибольший условный диаметр сверления отверстия (по стали), вылет и максимальный ход шпинделя и т.д.

Существуют следующие основные типы универсальных станков: вертикально-сверлильные одно- и многошпиндельные (рис. 5.11); радиально-сверлильные (рис. 5.12); горизонтально-сверлильные для глубокого сверления (рис. 5.12) и горизонтально-центровальные.



Одношпиндельные: а – настольный; б – на коробчатой основе; в – на круглой колонне; г – тяжелый; **многошпиндельные:** д – с постоянными шпинделями; е – с переставными шарнирно соединенными шпинделями

Рисунок 5.11 – Вертикально- сверлильные станки



Радиально-сверлильные
 а – стационарный общего назначения; б – с колонной, перемещающейся по направляющим станины; в – передвижной по рельсам; г – переносной

Горизонтально-сверлильные для глубокого сверления

а – для сверления вращающихся деталей; б – для сверления неподвижных деталей

Рисунок 5.12 – Радиально-сверлильные и горизонтально-сверлильные станки

Сверлильно-расточные станки делят на типы: вертикально-сверлильные; одношпиндельные полуавтоматы; многошпиндельные полуавтоматы; радиально-сверлильные; горизонтально-сверлильные; разные сверлильные. Модели станков обозначают буквами и цифрами. Первая цифра обозначает, к какой группе относится станок, вторая — к какому типу, третья и четвертая цифры характеризуют размер станка или обрабатываемой заготовки. Буква, стоящая после первой цифры, означает, что данная модель станка модернизирована (улучшена). Если буква стоит в конце, то это означает, что на базе основной модели изготовлен отличный от него станок. Например, станок модели 2Н118 — вертикально-сверлильный, максимальный диаметр обрабатываемого отверстия 18 мм, улучшен по сравнению со станками моделей 2118 и 2А118. Станок модели 2Н118А также вертикально-сверлильный, диаметр обрабатываемого отверстия 18 мм, но он автоматизирован и предназначен для работы в условиях мелкосерийного и серийного производств.

Инерционные и механические характеристики. Механические характеристики для главных приводов станков при небольшом моменте холостого хода - $M_c \approx const/n$, для приводов подач - $M_c \approx const$. При регулировании скорости мощность потребляемая механизмом главного привода, остается практически постоянной. Мощность, потребляемая приводом подачи пропорциональна скорости. Стойки зрения допустимого нагрева электродвигателя при различных способах регулирования и разных характеристик нагрузок на рисунке 5.13 приведены графики различных комбинаций в станках. Графики *а* и *б* соответствуют условию нагрузки $P_c = const$, а графики *в* и *г* — $M_c = const$. Для обоих случаев показано использование методов регулирования: *а* и *б* — с постоянной мощностью, *в* и *г* — с постоянным моментом. На указанных графиках сплошными линиями показаны характеристики нагрузки M_c и P_c , а пунктирными — допустимые нагрузки электродвигателя. При соот-

ветствии выбранного метода регулирования (*а, з*) получается полное использование габарита электродвигателя во всем диапазоне от n_1 до n_2 .

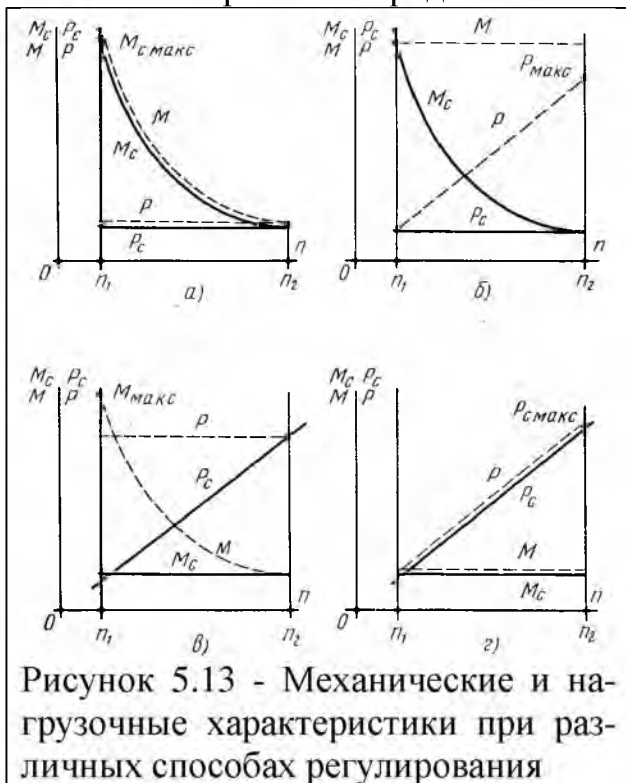


Рисунок 5.13 - Механические и нагрузочные характеристики при различных способах регулирования

При способах регулирования не соответствующих нагрузки (*б, в*) электродвигатель используется не эффективно. Так для графика *б* регулирования с постоянным моментом при постоянной мощности нагрузки номинальная мощность электродвигателя $P_n = P_{макс} = P_c \cdot n_2 / n_1$. Таким образом, мощность оказывается завышенной в *D* (диапазон регулирования) раз. Недогрузка электродвигателя приводит к тому, что он работает с низким коэффициентом мощности и кпд. Номинальный момент используется полностью только в точке минимальной скорости $M_n = M_{с.макс}$.

Для графика *в* регулирования с постоянной мощностью при постоянном моменте нагрузки номинальный момент электродвигателя при минимальной скорости - $M_n = M_{с.макс} = M_c \cdot n_2 / n_1$.

Следовательно, номинальный момент завышен в *D* раз по сравнению с моментом сопротивления, что приводит к завышению габарита электрической машины. Номинальная мощность используется только в точке соответствующей максимальной скорости, где $P_n = P_{с.макс}$.

Реальные графики механических характеристик несколько отличаются от приведенных выше. Так на рисунке 5.14 изображена механическая характеристики карусельного станка и зависимость кпд от частоты вращения.

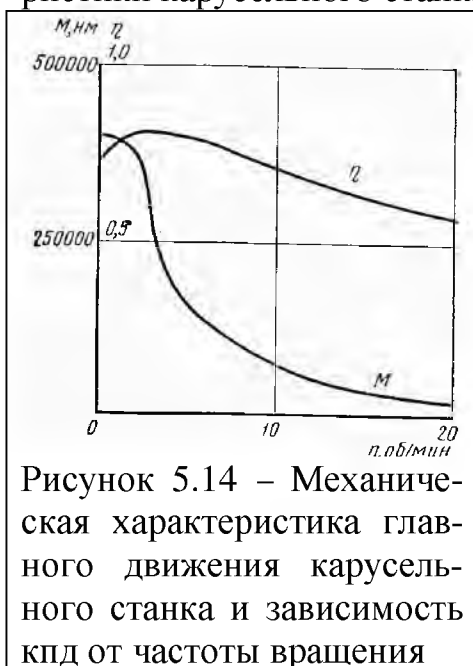


Рисунок 5.14 – Механическая характеристика главного движения карусельного станка и зависимость кпд от частоты вращения

Привод подачи имеет постоянный момент нагрузки почти на всем диапазоне регулирования скорости. Это обусловлено главным образом моментом трения в направляющих и передачах механизма подачи. Более точная механическая характеристики механизма подачи представлена на рисунке 5.15. В начальной части (участок 0-1) сохранить постоянство момента не удастся из-за невозможности увеличения глубины резания при малых подачах. Момент увеличивается с увеличением скорости подачи. Для электрической машины такой режим благоприятен - электродвигатель автоматически разгружается в нужной части диапазона. Таким образом на участках 0-1, 1-2 наиболее подходящим способом регулирования является спо-

соб изменения напряжения при сохранении магнитного потока электродвигателя.



Необходимость повышения номинального тока двигателя или применения системы независимой вентиляции должна применяться в соответствии с положением точек b_{01} и b_1 . Для небольших двигателей приводов подач система независимой вентиляции не является экономически целесообразной. Более часто идут по пути

повышения тока машины, а следовательно и завышается ее габарит. Участок $2 - O_2$ соответствует большой скорости подачи при повышенных скоростях резания. Из-за ограничения допустимой мощности главного движения усилие подачи должно быть снижено. В связи с этим возможно применения электродвигателей, скорость которых регулируется изменением магнитного потока и избежать завышение габаритов электрической машины. Таким образом, достаточно экономично в приводах подачи использовать электродвигатель с независимым возбуждением.

Двигатель подачи обеспечивает усилие, необходимое для линейного перемещения стола, которое в общем случае равно сумме усилий резания трения и прилипания:

$$F_{под} = k_z \cdot F_x + F_{тр} + F_{пр}, \quad (5.1)$$

где k_z - коэффициент запаса, 1,2...1,5; F_x - составляющая усилия резания в направлении подачи, Н; $F_{тр}$ - усилие трения стола о направляющие, Н; $F_{пр}$ - усилие прилипания, Н.

Усилие трения стола зависит от массы стола или суппорта и составляющих усилия резания F_y и F_z , направленных нормально к направляющим:

$$F_{тр} = \mu (gm + F_y + F_z), \quad (5.2)$$

где μ - коэффициент трения в направляющих.

Усилие прилипания возникает при трогании стола с места в начале движения:

$$F_{пр} = \beta \cdot S_{пр}, \quad (5.3)$$

где β - удельное усилие прилипания, Н/см²; $S_{пр}$ - площадь поверхности прилипания, см².

При трогании с места действуют только трения и усилие прилипания. Усилие подачи при трогании можно определить по формуле:

$$F_{подтр} = \mu_m \cdot g \cdot m + \beta \cdot S_{пр}, \quad (5.4)$$

где μ_m - коэффициент трения в направляющих при трогании стола с места, 0,2...0,3.

При рабочей подаче в процессе резания усилие подачи определяется усилием резания и трения:

$$F_{\text{под } p} = k_z \cdot F_x + \mu_\phi (gm + F_y + F_z), \quad (5.5)$$

где μ_ϕ - коэффициент трения в направляющих при движении, 0,05...0,15.

Момент на валу ходового винта, возникающий под действием усилия подачи определяется следующим образом:

$$M_{xв} = 0,5F_{\text{под } p} \cdot d_{cp} \cdot tg(\alpha + \varphi), \quad (5.6)$$

где d_{cp} - средний диаметр ходового винта, мм; α - угол наклона резьбы ходового винта, град.; φ - угол трения резьбы, град.

Угол наклона резьбы ходового винта зависит от диаметра винта и шага его нарезки:

$$\alpha = arctg\left(\frac{s_n}{\pi \cdot d_{cp}}\right), \quad (5.7)$$

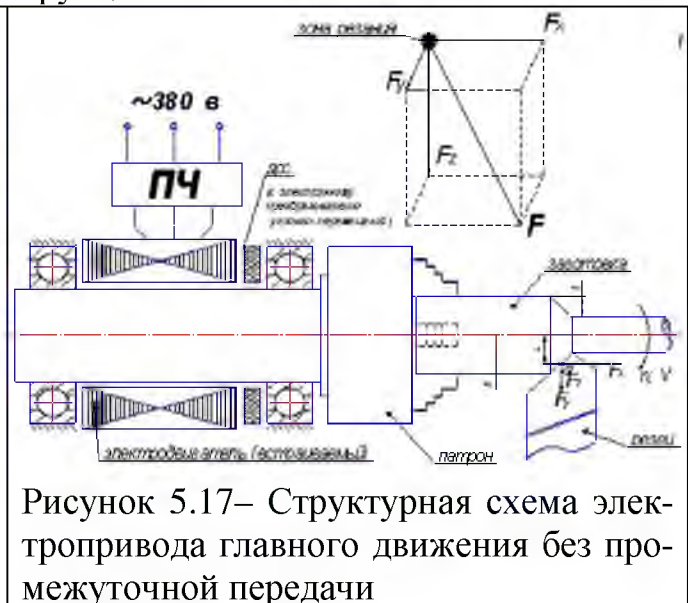
где s_n - шаг нарезки винта, мм.

Вращающий момент на валу ходового винта определяет момент статического сопротивления:

$$M_c = \frac{M_{xв}}{i \cdot \eta_{пер}}. \quad (5.8)$$

В механизмах станков, в которых использованы электроприводы, обеспечивающие режимы плавного регулирования частоты вращения или положения, одновременно решены задачи рациональных пуска, торможения, реверса. Это объясняется широкими возможностями регулируемых приводов. Особый класс составляют электроприводы, в которых не требуется регулирование частоты вращения или положения в длительном режиме и имеется одно либо несколько ограничений из числа перечисленных выше. В таких случаях возможно применение сравнительно простых систем электроприводов, в которых, как правило, используются асинхронные двигатели и преобразователи частоты. Приводы главного движения (рис. 5.16, 5.17) большинства станков в настоящее время выполняются регулируемые, с применением двигателей постоянного и переменного тока. Наибольший диапазон регулирования для обеспечения всех режимов резания обычно не превышает 1 : 10000. Причем в части диапазона (до 1:5), соответствующем большим значениям частот вращения, как правило, регулирование выполняется в режиме с сохранением неизменной номинальной мощности двигателя. В остальной части диапазона регулирование числа оборотов осуществляется с сохранением предельного длительного момента двигателя. Мощность соответственно снижается по мере уменьшения частоты вращения. Для расширения диапазона регулирования с неизменной мощностью на станке делается коробка с одним - двумя переборами. В большинстве станков на такое ограничение мощности приходится идти для того, чтобы как-то ограничить вели-

чину номинального момента и, следовательно, габарит двигателя. С определенными допущениями можно принять, что габарит любого электрического двигателя определяется только моментом на нижней частоте вращения. Поэтому чем меньше диапазон регулирования с $P=const$, тем меньше должен быть габарит двигателя. Традиционно принятое регулирование с $P=const$ в механических узлах станков может быть реализовано в ограниченном диапазоне, зависящем от конкретной конструкции.



Максимальная частота вращения двигателей общепромышленного исполнения составляет 2000-30000 об/мин, а диапазон номинальных мощностей применяемых приводов достаточно широк: от 0,5 до 300 кВт. Требования по допустимой нестабильности частоты вращения приводов главного движения (или жесткости механической характеристики привода) в принципе должны быть самыми высокими в сравнении с другими механизмами станка. Так при врезании инструмента в деталь «провал» частоты вращения шпинделя приводит к существенному увеличению силы резания и, следовательно, к еще большему, снижению частоты вращения. Этот процесс может развиваться до тех пор, пока не достигнет момент своего предельного значения, после чего двигатель начнет останавливаться. Наиболее жесткие требования к динамике привода главного движения по возмущающему воздействию предъявляются при обработке на низшей частоте вращения шпинделя. Существенно облегчаются условия процесса врезания, если регулируемые приводы подачи и главного движения электрически связаны. Привод подачи в таком случае работает в режиме слежения за положением шпинделя, или по заданной программе в системе с ЧПУ (рис. 5.18).

Допускаемая величина нестабильности частоты вращения двигателя во всем диапазоне не превышает 5% от установленного значения. Требования по быстродействию к динамическим изменениям момента нагрузки достаточно высоки и должна составлять 0,1 с - 0,3 с. Предъявляются определенные требования по минимальному среднему ускорению винта ШВП: например, при моменте до 1,7 Нм и дополнительном моменте инерции 0,002

$\text{Н}\cdot\text{м}^2$ ускорение равно 4000 рад/с^2 , а при моменте до $170 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и дополнительном моменте инерции $2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}^2$ ускорение должно быть 1500 рад/с^2 .

В ряде станков после останова необходима ориентация двигателя в определенном положении для вывода инструмента из детали. Обычно это обеспечивается за счет торможения с нижней скорости диапазона после поступления соответствующей команды путевых выключателей. В случаях выполнения операций резбонарезания требуется еще и реверсирование двигателя.

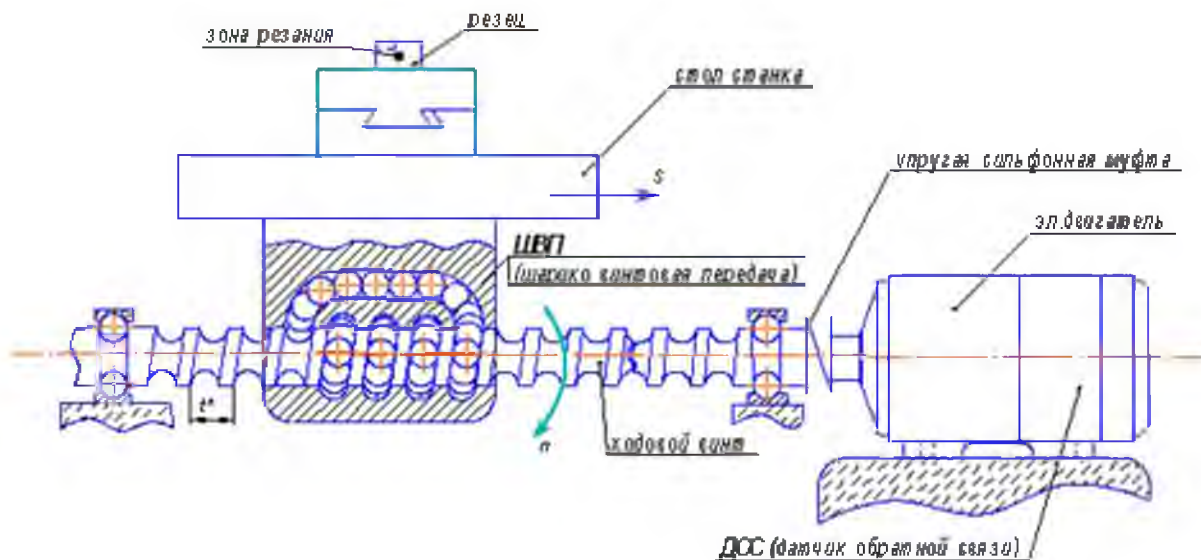


Рисунок 5.18– Структурная схема электропривода в режиме слежения за положением шпинделя

Особую группу составляют высокоскоростные электроприводы шлифовальных, сверлильных и фрезерных станков. Диапазон частот вращения этих приводов составляет до $D=1:1000$, наибольшие значения частот вращения достигают $150\,000 \text{ об/мин}$. В этих приводах применяются только асинхронные или синхронные двигатели. Требования по стабильности частоты вращения в этих приводах очень высоки. Разгон двигателей осуществляется за $0,1-0,2 \text{ с}$. Наибольшие мощности таких приводов в настоящее время довольно велики, например 25 кВт при $n_{\text{max}} = 48000 \text{ об/мин}$.

В механизмах подачи очень важным является требование сохранения неизменным момента электродвигателя при снижении частоты вращения. В прошлых разработках станков привод подачи выполнялся ступенчато-регулируемыми за счет коробки подач либо с плавным регулированием частоты вращения двигателя. Сегодня дополнительного механического перебора в механизмах подачи не требуется. Весь диапазон регулирования $1:20000$ перекрывается электрическими способами. Диапазон мощностей приводов подачи станков - $0,1-20 \text{ кВт}$. Как правило, реверс направления подачи осуществляется тоже посредством электропривода. Перегрузочную способность двигатель должен иметь при частотах вращения, соответствующих режимам резания, в два-четыре раза больше номинальной величины. При больших частотах вращения, как правило, резания не происходит. Эта зона

необходима для обеспечения быстрых перемещений механизмов, и наибольший момент определяется только необходимостью обеспечения заданного числа оборотов. Особенностью электроприводов для станков с ЧПУ является значительное расширение выполняемых ими функций. Например, приводы главного движения наряду с регулированием и стабилизацией частоты вращения при силовых режимах резания должны обеспечивать возможность резьбонарезания и позиционирования для автоматической смены инструмента. Параметры работы электропривода подачи и главного движения используются для получения информации о текущих значениях технологических режимов при контроле нагрузки и построения адаптивных систем управления. В связи с этим диапазоны регулирования приводов подачи и главного движения увеличиваются до 1:10000, а максимальный момент составляет четырех-шести кратную величину от номинального момента M_n . Некоторые типы машин постоянного тока позволяют получить динамические моменты в 10-12 раз большие M_n реализация их в большинстве случаев нецелесообразна из-за быстрого износа механических передач.

Во всех случаях, как правило, меньшая стоимость двигателя переменного тока требует больших затрат на преобразователь частоты. Поэтому целесообразность применения систем на переменном токе должна решаться путем технико-экономического анализа, проводимого с учетом конкретных особенностей станка.

Регулирование режима работы электропривода станков может производиться по двухзонной схеме (рис.5.19). При работе привода в первой зоне (зоне привода подачи) обеспечивается поддержание постоянства длительного момента во всем диапазоне изменения скорости. При регулировании во второй зоне от номинальной до максимальной скорости напряжение обмоток двигателя постоянного тока поддерживается постоянным, а ток обмоток изменяется от номинального до минимального значения.

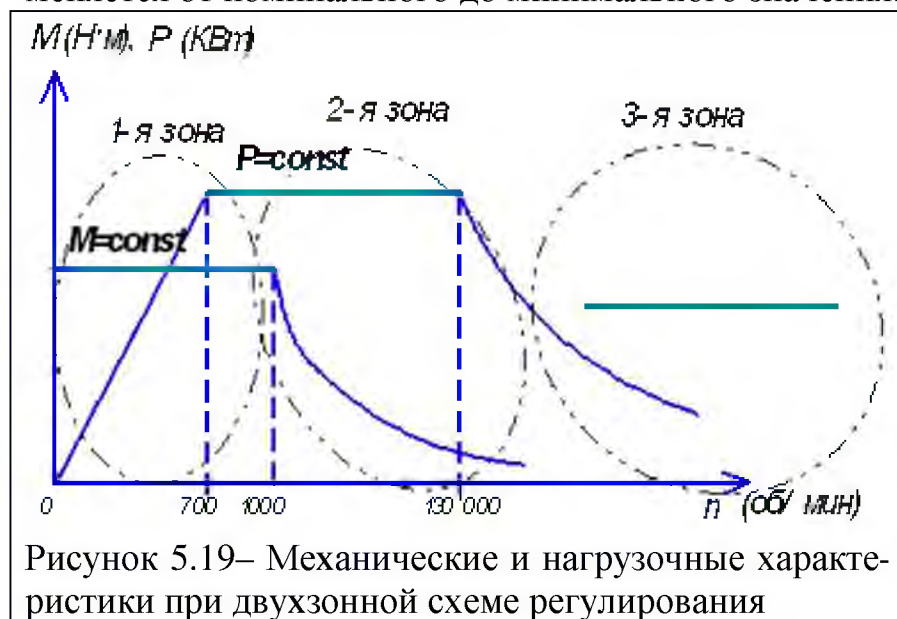


Рисунок 5.19– Механические и нагрузочные характеристики при двухзонной схеме регулирования

Таким образом, регулирование скорости выше номинальной осуществляется за счет ослабления магнитного потока двигателя. Регулирование скорости во второй зоне обеспечивает поддержание постоянства номинальной мощности, что соответствует требованиям механизмов

главного движения станков и машин. Регулирование напряжения и тока электродвигателя осуществляется по заданной программе.

В 1-й зоне скорость регулируется от номинального значения до нуля изменением напряжения на якоре от номинальной величины до нуля. Поток возбуждения остается номинальным. При этом вращающий момент не изменяется, а мощность уменьшается пропорционально скорости.

Во 2-й зоне скорость регулируется от номинального значения до максимального путем ослабления магнитного потока при номинальном напряжении на якоре. В этом случае мощность не изменяется, а вращающий момент снижается обратно пропорционально скорости.

В 3-й зоне скорость еще возрастает путем дальнейшего ослабления магнитного потока. При этом момент и мощность снижаются.

На рисунке 5.20 представлена структурная схема регулируемого электропривода с частотно-токовым управлением. Схема включает регулятор тока *РТ* и регулятор скорости *РС*, основная функция которого сформировать сигнал пропорциональный заданному значению тока. В асинхронном электроприводе необходимо контролировать модуль, частоту и фазу тока, так как задается синусоидальный сигнал. Модуль тока и фаза определяются следующими выражениями:

$$|I_1| = \sqrt{I_{1d}^2 + I_{1q}^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{I_{1q}}{I_{1d}}. \quad (5.9)$$

Эти процедуры производятся на регуляторе вектора тока *РВТ*. Первая составляющая модуля тока задается внешним устройством, а вторая формируется пропорционально величине скольжения.

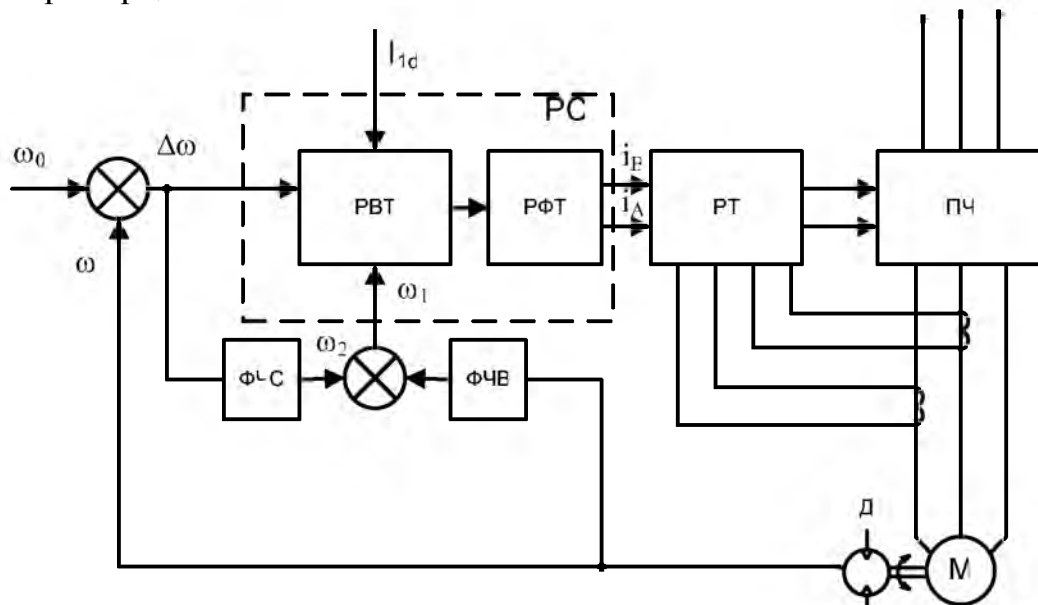


Рисунок 5.20- Структурная схема электропривода с частотным управлением

Для определения частоты тока статора ω_1 суммируют частоту скольжения ω_2 , равную частоте тока ротора и частоту вращения вала двигателя через датчик вращения *Д*. Частоту скольжения ω_2 и частоту вращения вала определяют блоками формирования частоты скольжения *ФЧС* и формирования частоты вращения *ФЧВ*. На выходе регулятора вектора тока имеется сигнал

пропорциональный вектору тока I_1 и его частоте ω_1 . В регуляторе фазных токов **РФТ** происходит преобразование токов двухфазной системы (d и q) в токи трехфазной системы. В регуляторе тока **РТ** заданные токи i_A i_B сравниваются с истинными, а их разность поступает на преобразователь частоты **ПЧ** в виде управляющего сигнала.

При работе станков довольно часто используется специфичный режим электропривода главного движения – **динамическое торможение** электрической машины. Режим динамического торможения асинхронных машин производится с независимым возбуждением или самовозбуждением. При **независимом возбуждении** обмотку статора отключают от сети переменного тока и подают на нее постоянный или пульсирующий однонаправленный ток. Обмотка статора создает постоянный магнитный поток, который пересекает вращающаяся обмотка ротора. В обмотке ротора наводится ЭДС E_2 и появляется ток I_2 . Ток I_2 взаимодействует с постоянным магнитным полем статора и создается тормозной момент.

Ток ротора определяется следующими параметрами:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}, \quad (5.10)$$

где r и x – сопротивления ротора соответственно активное и индуктивное.

ЭДС ротора зависит от скорости:

$$E_2 = E_{2\max} \omega^*, \quad (5.11)$$

где ω^* - относительное изменение угловой скорости, $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$; $E_{2\max}$ - максимальное значение ЭДС, возникающее при синхронной скорости ω_0 .

Индуктивное сопротивление ротора определяется по формуле:

$$x_2 = 2\pi f_{\text{рот}} L_2. \quad (5.12)$$

Индуктивность обмотки ротора L_2 можно принять постоянной, а частоту тока представить в следующем виде:

$$f_{\text{рот}} = f_0 \omega^*, \quad (5.13)$$

где f_0 - частота тока при синхронной скорости вращения (50 Гц).

График изменения сопротивлений в роторной цепи при динамическом торможении представлен на рисунке 5.21.

Выражение для тока ротора можно представить в следующем виде:

$$I_2 = \frac{E_{2\max} \omega^*}{\sqrt{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}}. \quad (5.14)$$

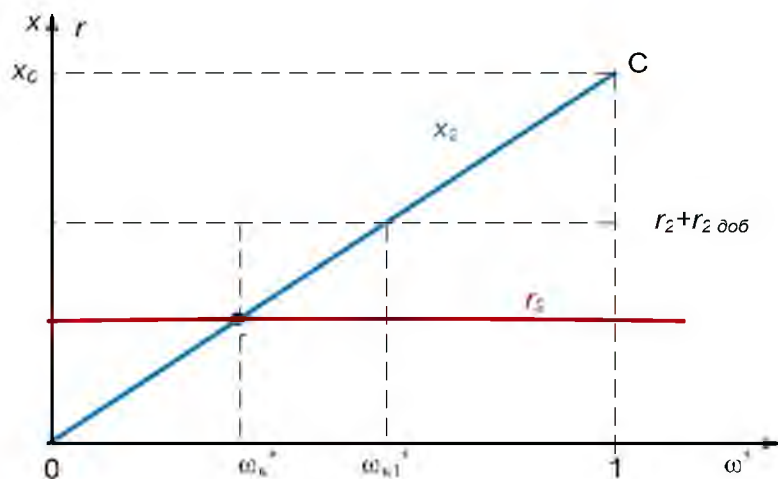


Рисунок 5.21– График изменения сопротивлений в роторной цепи при динамическом торможении

Тормозной момент создается активной составляющей тока ротора:

$$I_{2a} = I_2 \cdot \cos \varphi_2. \quad (5.15)$$

Представив $\cos \varphi_2$ как отношение активного сопротивления к полному сопротивлению, получим следующее выражение для активной составляющей тока ротора:

$$I_{2a} = \frac{E_{2\max} \omega^*}{\sqrt{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}} \cdot \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}} = \frac{E_{2\max} \omega^* \cdot r_2}{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}. \quad (5.16)$$

При изменении скорости вращения ротора активная составляющая имеет максимум. Для определения этого максимума необходимо взять первую производную и приравнять ее нулю:

$$\frac{d(I_{2a})}{d(\omega^*)} = \frac{d}{d(\omega^*)} \left(\frac{E_{2\max} \omega^* \cdot r_2}{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}} \right) = \frac{E_{2\max} \cdot r_2 (r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}) - E_{2\max} \cdot r_2 \cdot 2\omega^* x_0^2}{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}} = 0. \quad (5.17)$$

Данная дробь обращается в нуль при равенстве числителя нулю:

$$E_{2\max} \cdot r_2 (r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}) - E_{2\max} \cdot r_2 \cdot 2\omega^* x_0^2 = 0. \quad (5.18)$$

Решая это уравнение относительно ω^* , получим:

$$\omega^* = \omega_k^* = \frac{r_2}{x_0}. \quad (5.19)$$

Из графика (рис.5.21) и выражения (5.19) видно, что максимальное значение динамического момента (так как ток при этом максимальный) наступит при равновесии активного и индуктивного сопротивлений в цепи ротора, т.е. $\omega_k^* \cdot x_0 = r_2$. Также из графика (рис.5.21) видно, что при синхронной скорости индуктивное сопротивление значительно больше активного. В связи с этим максимальное значение динамического момента находится на скорости близкой к нулю. При включении добавочного сопротивления в цепь ротора значение критической скорости (соответствующее максимальному тормозному моменту) увеличивается (рис.5.21).

Определим максимальное значение тока ротора, подставляя значение критической скорости (5.19) в выражение тока (5.16):

$$I_{2a \max} = \frac{E_{2 \max} \cdot r_2^2}{x_0 \left(r_2^2 + \frac{r_2^2 \cdot x_0^2}{x_0^2} \right)} = \frac{E_{2 \max} \cdot r_2^2}{x_0 2r_2^2} = \frac{E_{2 \max}}{2x_0} \quad (5.20)$$

Максимальное значение активной составляющей тока ротора зависит от ЭДС $E_{2 \max}$, которая определяется уровнем постоянного тока.

Если электрическая машина работала в двигательном режиме при некоторой скорости ω и производится перевод в динамическое торможение при постоянном токе I_1 (рис.5.22), то возникает тормозной момент и двигатель переходит из точки 1 в точку 2 характеристик динамического торможения.

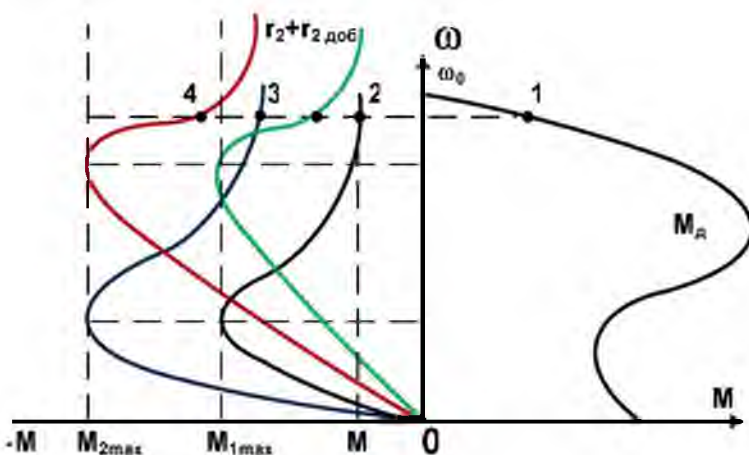


Рисунок 5.22– Механические характеристики электрической машины при переходе в режим динамического торможения с независимым возбуждением

путем – увеличением добавочного сопротивления в цепи ротора (при использовании двигателя с фазным ротором) точки 3 и 4.

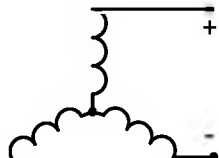

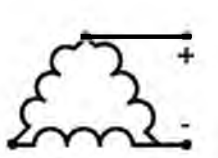
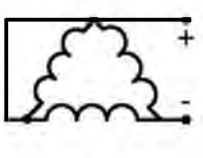
Есть и другой подход к выводу аналитических уравнений динамического торможения. В этом случае постоянный ток, подаваемый в статор, заменяют эквивалентным переменным и рассматривают работу машины как обычной асинхронной. Так выражение механической характеристики в режиме динамического торможения имеет вид:

$$M = \frac{2M_{к\delta m}}{\frac{\omega^*}{\omega_k^*} + \frac{\omega_k^*}{\omega^*}}; M_{к\delta m} = \frac{3I_1^2 \cdot x_\mu}{2\omega_0(x_\mu + x_2')}, \quad (5.21)$$

где x_μ и x_2' - индуктивные сопротивления соответственно цепи намагничивания и приведенное ротора к обмотке статора; I_1 – переменный ток статора, определяемый из равенства намагничивающих сил постоянного и переменного потоков.

Соотношение постоянных и переменных токов зависит от схемы соединения статорной обмотки (табл. 5.1).

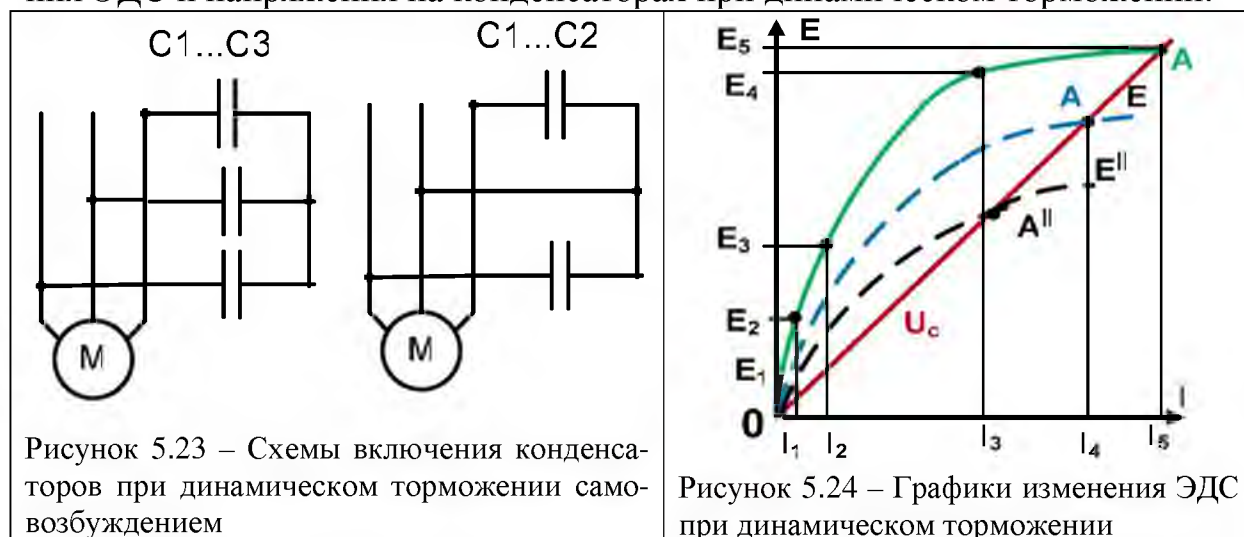
Таблица 5.1 - Соотношение постоянных и переменных токов в зависимости от схемы соединения обмоток статора асинхронной машины

Схема включения обмоток статора				
Регулирующее сопротивление постоянному току	$R_{рез} = 2R_1$	$R_{рез} = \frac{3}{2}R_1$	$R_{рез} = \frac{2}{3}R_1$	$R_{рез} = \frac{1}{2}R_1$
Соотношение токов	$I_{пост} = 1,23I_1$	$I_{пост} = 1,41I_1$	$I_{пост} = 2,12I_1$	$I_{пост} = 2,45I_1$

С учетом сопротивлений обмотки статора относительное значение критической скорости можно определить по формуле:

$$\omega_k^* = \frac{r_2'}{(x_\mu + x_2')} \quad (5.22)$$

Динамическое торможение самовозбуждением осуществляется с использованием конденсаторов. После отключения электродвигателя от трехфазной сети к обмотке статора подключают батарею конденсаторов по схемам, представленным на рисунке 5.23. На рисунке 5.24 представлены графики изменения ЭДС и напряжения на конденсаторах при динамическом торможении.



Процесс самовозбуждения происходит следующим образом. После отключения от трехфазной сети и переключения обмоток статора на конденсаторы, ротор вращаясь по инерции наводит в обмотке статора ЭДС E_1 (за счет остаточного магнитного потока). В статоре возникает ток I_1 , который создает магнитный поток, под действием которого ЭДС возрастает до E_2 . В свою очередь ЭДС E_2 создает ток I_2 и т.д., то есть происходит лавинообразный процесс возбуждения. Процесс стабилизируется в точке A , где ЭДС равна напряжению на конденсаторах. Под действием активной составляющей тока I_5 возникает тормозной момент, что приводит к снижению скорости. При

снижении скорости уменьшается наведенная ЭДС и ток статора, характеристики переходят из точки A в точку A' , далее в точку A'' . При этом тормозной момент может увеличиваться, так как снижается частота тока статора и увеличивается активная составляющая тока, что приводит к увеличению момента. Примерный вид механических характеристик представлен на рисунке 5.25.

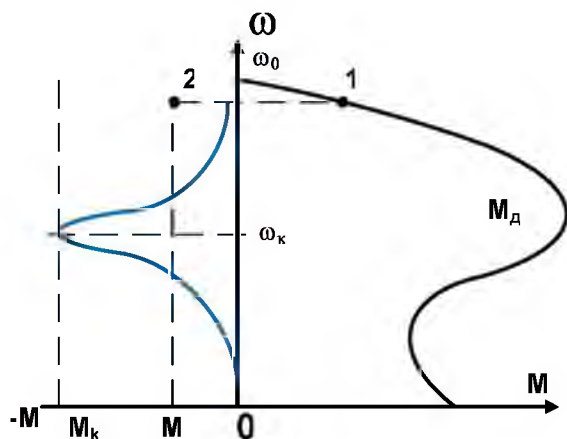


Рисунок 5.25– Механические характеристики асинхронной машины в двигательном и динамическом режимах

Момент сопротивления M_c в цепях подачи создается в основном силами трения. За время движения по инерции этот момент практически не изменяется. Кинетическая энергия системы при движении по инерции целиком равна работе момента M_c (приведенного к валу электродвигателя) на угловом пути φ вала двигателя, соответствующем движению системы по инерции:

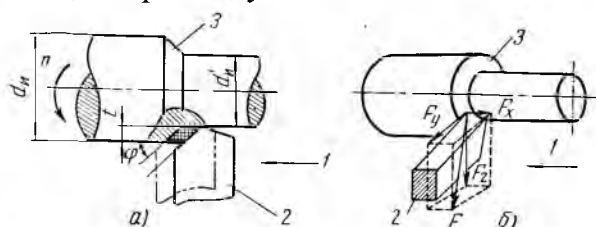
$$\frac{J\omega^2}{2} = M_c \varphi \rightarrow \varphi = \frac{J\omega^2}{2M_c} \quad (5.23)$$

Зная передаточные отношения кинематической цепи, нетрудно определить величину линейного перемещения поступательно движущегося узла станка. Момент сопротивления в цепях подачи зависит от силы тяжести узла, состояния трущихся поверхностей, количества, качества и температуры смазки. Колебания этих переменных факторов вызывают значительные изменения величины M_c , а следовательно, и пути. Управляемые путевыми переключателями контакторы тоже имеют разброс значений времени срабатывания. Кроме того, скорость движения также может несколько изменяться. Все это приводит к разбросу положений точки останова. Для уменьшения пути движения по инерции нужно уменьшить скорость движения, маховой момент системы и увеличить тормозящий момент. Наиболее эффективным является понижение скорости привода перед остановом. При этом резко уменьшаются кинетическая энергия движущихся масс и величина перемещения по инерции. Снижение скорости подачи уменьшает и путь, проходимый за время срабатывания аппаратов. Однако уменьшение подачи во время обработки обычно недопустимо, так как оно приводит к изменению заданного режима и чистоты поверхности. Поэтому понижение скорости электропривода чаще используют при установочных перемещениях. Скорость электродвигателя понижают различными способами.

Основную часть момента инерции цепи подачи составляет момент инерции ротора электродвигателя, поэтому при выключении электродвигателя ротор его целесообразно механически отделить от остальной кинематической цепи. Это производят обычно посредством электромагнитной муфты. При этом останов происходит весьма быстро, так как ходовой винт обладает незначительным моментом инерции. Точность останова в этом случае опреде-

ляется в основном величиной зазоров между элементами кинематической схемы. Для увеличения тормозного момента применяют электрическое торможение электродвигателей, а также механическое торможение посредством электромагнитных муфт. Более высокая точность останова может быть достигнута посредством применения жестких упоров, механически прекращающих движение. Недостатком в этом случае являются значительные силы, возникающие в частях системы при соприкосновении с жестким упором. Эти два вида торможения применяют совместно с первичными преобразователями, отключающими привод, когда давление на упор достигнет определенной величины. Следует отметить, что относительная сложность точного останова движущихся частей станка средствами путевой электроавтоматики заставляет во многих случаях применять гидравлические системы. При этом относительно легко достигаются низкие скорости, и подвижный узел может продолжительное время оставаться прижатым к жесткому упору. Для точного останова при быстром повороте элементов станков часто используют передачи типа мальтийского креста и фиксаторы.

Энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы. Для приводов главного движения станков характерным режимом работы является длительный или повторно-кратковременный. Нагрузка при этом чаще всего имеет переменный вид. Расчет мощности приводного двигателя ведется по методу эквивалентных величин или методом средних потерь с построением нагрузочных диаграмм. В любом случае для определения мощности электродвигателя из технологических карт необходимо знать чертеж наиболее часто обрабатываемой детали, материалы заготовки и резца, глубина резания, подача, скорость, усилия на отдельных операциях, КПД станка (рис.5.26).



1- направление подачи движения; 2 – резец; 3 - изделие

Рисунок 5.26– Эскиз токарной обработки

Определяется мощность на валу двигателя на каждой операции:

$$P_{\text{дв}i} = \frac{F_{zi} v_i}{\eta_{\text{см}i}} = \frac{P_{zi}}{\eta_{\text{см}i}}, \quad (5.24)$$

где F_{zi} - усилие резания на i -ой операции; v_i - скорость на i -ой опе-

рации; $\eta_{\text{см}i}$ - КПД станка при i -ой операции.

Усилия резания и скорость на отдельных операциях рассчитываются по специальным формулам. Так, например, при нарезании резьбы на станке расчет скорости производится по следующим формулам.

Скорость резания при нарезании крепежной резьбы резцами с пластинами из твердого сплава определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot i^x}{T^m \cdot S^y} k_v, \quad \text{м/мин} \quad (5.25)$$

При нарезании крепежной и трапециидальной резьб резцами из быстрорежущей стали скорость резания равна

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} k_v, \quad \text{м/мин} \quad (5.26)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени для конструкционной углеродистой стали приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2- Значения коэффициентов и показателей степени в формулах скорости резания для крепежной резьбы

Материал режущей части	Условия резания или конструкция инструмента	Коэффициент и показатели степени				Среднее значение стойкости
		C_v	x	y	m	
T15K6	—	244	0,23	0,3	0,2	70
P6M5	Черновые ходы	14,8	0,7	0,3	0,11	80
	$P \leq 2$ мм	30,0	0,6	0,25	0,08	
	$P > 2$ мм	41,8	0,45	0,3	0,13	

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания, $k_v = k_{mv} \cdot k_{uv} \cdot k_{cv}$,

где k_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала 3,1– для стали и твердого сплава, 0,73 – для стали и быстрорежущей стали; k_{uv} – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента, 1; k_{cv} – коэффициент, учитывающий способ нарезания резьбы, 1 если резьба нарезается черновым и чистовым резцами; 0,75 – при других способах.

Усилие резания определяется следующим образом:

$$F_z = 9,81 \cdot C_{F_z} \cdot t^{x_{F_z}} \cdot S^{y_{F_z}} \cdot v^q \cdot k_{F_z}, \quad (5.27)$$

где $t^{x_{F_z}}$ – глубина резания, мм; $S^{y_{F_z}}$ – подача в суппорте, мм/об; T – стойкость резца, мин.

Коэффициенты: C_v , C_{F_z} , x_{F_z} , y_{F_z} , k_{F_z} и др. берутся из литературы по режимам резания.

При работе станка в холостую, мощность на валу двигателя равна мощности вспомогательного хода станка $P_{в.х}$ или ($P_{х.х}$). По мере возрастания мощности резания, потери ΔP_c в станке возрастают по нелинейному закону.

При каждой мощности резания можно определить потери в станке:

$$\Delta P_c = P_{в.х} + \Delta P', \quad (5.28)$$

где $\Delta P'$ – потери от нагрузки в станке при допущении, что они пропорциональны мощности резания.

Потери при полной нагрузке станка:

$$\Delta P_{с.н.} = \frac{P_{р.н.}}{\eta_{ст.н.}} - P_{р.н.} \quad (5.29)$$

где $P_{р.н.}$, $\eta_{ст.н.}$ соответственно мощность и КПД при полной нагрузке станка.

Мощность вспомогательного хода станка $P_{в.х.}$ зависит от кинематической цепи станка, смазки, её температуры, частоты вращения. При повышении частоты вращения, эта мощность также возрастает и обычно несколько превышает половину всех потерь мощности при полной нагрузке станка. Поэтому принимают приближенно:

$$P_{в.х.} \approx 0,6 \cdot \Delta P_{с.н.} \quad (5.30)$$

Определяется КПД станка для различных нагрузок:

$$\eta_{ст.и} = \frac{P_{zi}}{P_{zi} + \Delta P_{с.н.}} = \frac{1}{1 + \frac{P_{р.н.}}{P_{zi}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ст.н.}} - 1 \right)} \quad (5.31)$$

По полученным данным построится нагрузочный график работы станка без учета периодов пуска, остановки и торможения (рис.5.27):

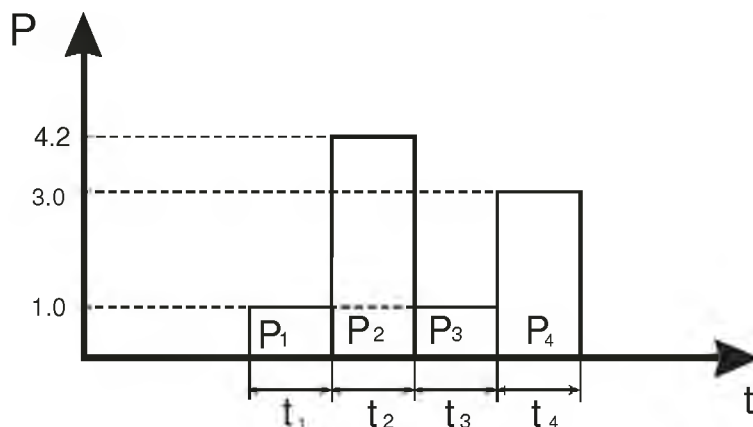


Рисунок 5.27 – Примерная нагрузочная диаграмма электродвигателя

Предварительно выбирается двигатель по средней мощности за цикл:

$$P_{дв.ср} = \frac{\sum P_{дв.и} t_i}{t_n} \quad (5.32)$$

Из справочника выписывают основные паспортные данные электрической машины и начинают уточненный расчет.

Определяется время пуска электродвигателя:

$$t_n = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_{н.ср} - M_c} \quad (5.33)$$

где $J_{н.м.}$ – момент инерции механизма, приведённый к валу двигателя; $J_{д.р.}$ – момент инерции ротора выбранного двигателя; ω_0 – синхронная угло-

вая скорость; $M_{н.ср}$ – средний момент двигателя при пуске; M_c – момент сопротивления при пуске.

Момент сопротивления при пуске можно определить по формуле:

$$M_c \approx \frac{P_{в.х.}}{\omega_n} \quad (5.34)$$

Разгон двигателя осуществляется в режиме холостого хода станка, поэтому скорость $\omega_{хх}$ будет лишь незначительно меньше синхронной скорости ω_0 .

Определяется средний пусковой момент двигателя:

$$M_{н.ср} = \frac{M_n + M_{мин} + M_{кр}}{2} = \left(\frac{M_n}{M_{ном}} + \frac{M_{мин}}{M_{ном}} + \frac{M_{кр}}{M_{ном}} \right) \cdot \frac{M_{ном}}{3} = (\mu_n + \mu_{мин} + \mu_{макс}) \cdot \frac{M_{ном}}{3}, \quad (5.35)$$

где M_n , $M_{мин}$, $M_{кр}$ – моменты соответственно пусковой минимальный и критический; μ_n , $\mu_{мин}$, $\mu_{макс}$ – кратности соответственно пускового, минимального и критического (максимального) моментов по справочным данным электродвигателя.

Определяется время самоторможения двигателя:

$$t_{с.т.} = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_c} \quad (5.36)$$

Если необходимо сократить время торможения или имеются участки в соответствии с технологическими режимами с сокращенным временем остановки, то применяется динамическое торможение и его время будет равно:

$$t_m = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_c + M_m}, \quad (5.37)$$

где M_m – тормозной момент электродвигателя, можно принять $M_m = 0,5 \cdot M_n$.

Строится уточненная нагрузочная диаграмма (рис. 5.28).

Определяются потери на каждом участке нагрузочной диаграммы:

$$\Delta P_{двi} = P_{двi} \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right) \quad (5.38)$$

Для определения КПД электродвигателя при различной нагрузке пользуются справочными данными. Если таковых нет, то можно пользоваться формулой:

$$\eta_i = \frac{k_z}{k_z + (f_a + k_z^2) \frac{1 - \eta_n}{\eta_n (f_a + 1)}}, \quad (5.39)$$

где k_z – коэффициент загрузки, $k_z = \frac{P_i}{P_n}$;

f_a – коэффициент формы кривой КПД, рассчитывают по номинальным данным:

$$f_a = \frac{(1 - \eta_n)(1 - s_n)}{2\eta_n s_n} - 1, \quad (5.40)$$

где η_n – КПД электродвигателя при номинальной мощности;

s_n – номинальное скольжение электродвигателя.

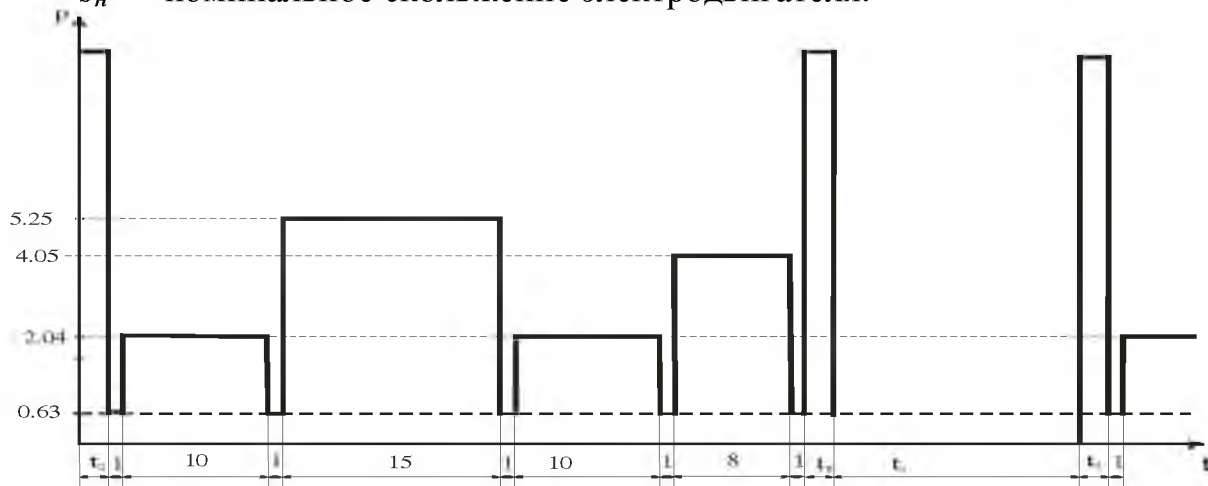


Рисунок 5.28 – Уточненная нагрузочная диаграмма

Определяются потери энергии при пуске по формуле:

$$\Delta A_n \approx (J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0^2 + M_c \cdot \omega_0 \cdot t_n, \quad (5.41)$$

Потери энергии при торможении можно принять равными потерям при пуске. Эквивалентные потери за цикл определяются по формуле:

$$\Delta P_{экв} = \frac{\Delta A_n + \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \dots + \Delta P_i \cdot t_i + \Delta P_{в.х.} \cdot t_{в.х.} + \Delta A_T}{\beta_1 \cdot t_n + t_1 + t_2 + \dots + t_i + t_{в.х.} + \beta_1 \cdot t_T + \beta_0 \cdot t_0} \quad (5.42)$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий ухудшение теплоотдачи электродвигателя в отключенном состоянии, $\beta_0 = 0,5$; β_1 – коэффициент, учитывающий ухудшение теплоотдачи электродвигателя при пуске $\beta_1 = 0,5 \cdot (1 + \beta_0)$.

После этого делается проверка на соответствие средних потерь номинальным: $\Delta P_{экв} < \Delta P_{ном}$. Если данное условие выполняется то останавливаются на данном электродвигателе, в противном случае повторяют расчет на следующей электрической машине.

Вспомогательные приводы станков обычно работают в кратковременном режиме нагрузки. Продолжительность работы вспомогательных приводов станков обычно мала; она не превышает 5 - 15 с и только у тяжелых станков доходит до 1 - 1,5 мин. Номинальная мощность электродвигателя в данном случае определяется условиями перегрузки.

Момент сопротивления M_c при работе вспомогательных приводов создается в основном силами трения, в связи с этим требуется значительный пусковой момент. Мощность, расходуемая на преодоление сил трения при перемещении горизонтально движущегося элемента станка и будет являться определяющей при выборе электродвигателя:

$$P_{дв} = \frac{F_{тр} v}{\eta_n} = \frac{G \cdot \mu \cdot v}{\eta_n}, \quad (5.44)$$

где $F_{тр}$ — сила трения, Н; G — сила тяжести (вес) перемещаемого узла, Н; μ — коэффициент трения движения; v - линейная скорость перемещения, м/с; η_n — КПД передачи, обычно $\eta = 0,1 - 0,2$.

Нагревание электродвигателя при работе в рассматриваемом режиме незначительно. Поэтому целесообразно использовать допустимую его перегрузку, которая определяется кратностью критического момента. Момент сопротивления в начале пуска двигателя больше, чем во время его работы. Именно этот момент и будет определяющим при выборе электродвигателя:

$$M_{co} = \frac{\mu_o}{\mu} M_c, \quad (5.45)$$

где μ_o — коэффициент трения покоя.

После определения мощности и типа электродвигателя необходимо сделать проверку на запуск, то есть пусковой момент электродвигателя $M_{пуск}$ должен быть больше начального момента сопротивления:

$$M_{пуск} \geq 0,81 M_{co}. \quad (5.46)$$

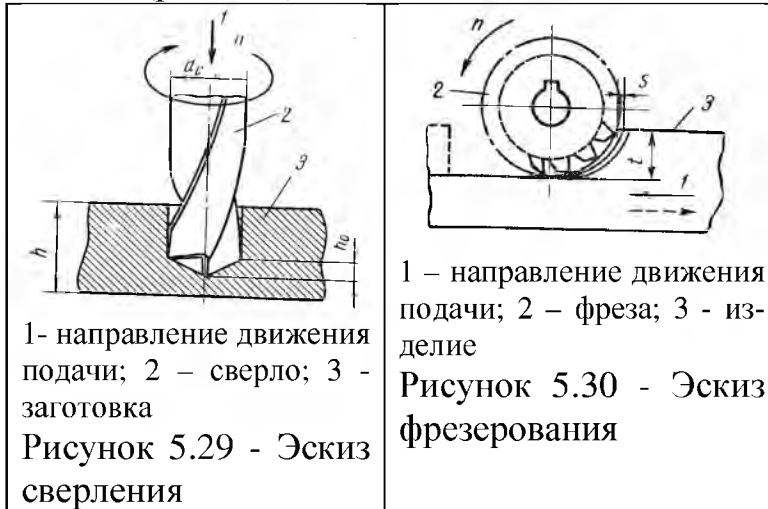
Аналогичным образом рассчитывают приводы для поворота и подъема узлов станка, только в последнем случае часто основную нагрузку создает сила тяжести (вес) перемещаемого узла.

Особую важность представляет выбор оптимальной скорости быстрого подвода инструмента к обрабатываемой детали. При подводе инструмента перемещение с повышенной скоростью сменяется медленным перемещением со скоростью рабочей подачи. Эту смену скоростей производят, когда инструмент находится на некотором расстоянии от детали. Переход с одной скорости на другую происходит в течение некоторого времени. За это время срабатывает электроаппаратура, а движение продолжается с высокой скоростью. Оптимальную скорость обеспечивают соответствующим подбором передач в кинематической цепи. Мощность приводного электродвигателя для сверлильных станков можно рассчитать по формуле:

$$P_{дв} = \frac{2M_p \omega}{\eta_{см}}, \quad (5.47)$$

где M_p - крутящий момент резания на сверле.

Необходимо учитывать, что при сверлении на сверлильных станках режущий инструмент совершает одновременно главное движение и движение подачи (рис.5.29).



Крутящий момент определяется по формуле:

$$M = 9,81 \cdot C_M \cdot d_c^z \cdot S^{y_M}, \quad (5.48)$$

где d_c^z - диаметр сверла, мм.

Скорость резания при фрезеровании (рис.5.30) находится следующим образом:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (5.49)$$

где d - диаметр фрезы,

мм; n - число оборотов фрезы в минуту.

Оптимальная скорость резания:

$$v = \frac{C_v \cdot d}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^r \cdot z_\phi}, \quad \text{м/мин} \quad (5.50)$$

где t - глубина фрезерования за один проход, мм; S - подача на один зуб фрезы, мм; B - ширина фрезерования, мм; z_ϕ - число зубьев фрезы.

Усилие резание находится по формуле:

$$F_z = 9,81 \cdot C_{F_z} \cdot t^{x_{F_z}} \cdot S^{y_{F_z}} \cdot B \cdot z_{F_z} \cdot d_\phi, \quad (5.51)$$

Все коэффициенты также находятся по справочной литературе исходя из режимов резания.



При шлифовании (рис.5.31) можно определить скорость резания по формуле:

$$v = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (5.52)$$

где d_k - диаметр шлифовального круга; n - число оборотов вращения шлифовального круга.

Пример. Выбрать тип и мощность асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в составе электропривода токарного станка. Также требу-

ется проверить двигатель по нагреву методом средних потерь. Имеются следующие исходные данные: в результате расчета усилий и скоростей подачи (по технологическому заданию) были получены следующие мощности на отдельные операции - $P_1 = 1,0$ кВт; $P_2 = 4,2$ кВт; $P_3 = 1,0$ кВт; $P_4 = 3,0$ кВт; при этом время каждой операции составило - $t_1 = 10$ с; $t_2 = 15$ с; $t_3 = 10$ с; $t_4 = 8$ с; $t_0 = 29$ с. Дополнительные исходные данные: $n_0 = 1000$ мин⁻¹; $J_{П.М} = 0,05$ кг·м², привод реверсивный; торможение – динамическое; время на вспомогательных операции - 1с.

Определим мощность электродвигателя при максимальной мощности резания $P_2 = 4,2$ кВт:

$$P_{дв.мах} = \frac{P_2}{\eta_{с.н.}} = \frac{4,2}{0,8} = 5,25 \text{ кВт}$$

где $\eta_{с.н.}$ – КПД главного двигателя станка при номинальной нагрузке, принимается по справочной литературе, принимаем 0,8. Эта величина является переменной, зависящей от степени загрузки станка.

При работе станка в холостую, мощность на валу двигателя равна мощности вспомогательного хода станка $P_{в.х.}$ или ($P_{х.х.}$).

При каждой мощности резания можно определить потери:

$$\Delta P_{с.} = P_{в.х.} + \Delta P',$$

где ΔP^* – потери от нагрузки в станке при указанном допущении, они пропорциональны мощности резания.

Потери при полной нагрузке станка:

$$\Delta P_{с.н.} = \frac{P_2}{\eta_{с.н.}} - P_2 = \frac{4,2}{0,8} - 4,2 = 1,05 \text{ кВт.}$$

Мощность вспомогательного хода принимаем приближенно:

$$P_{в.х.} \approx 0,6 \cdot \Delta P_{с.н.} = 0,6 \cdot 1,05 = 0,63 \text{ кВт.}$$

Определим КПД станка для различных нагрузок:

$$\eta_{с} = \frac{P_p}{P_p + \Delta P_{с.н.}} = \frac{1}{1 + \frac{P_{р.н.}}{P_p} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{с.н.}} - 1 \right)}$$

$$\eta_{с1} = \frac{1}{1 + \frac{4,2}{1,0} \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,49 \quad \eta_{с2} = \frac{1}{1 + \frac{4,2}{4,2} \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,8$$

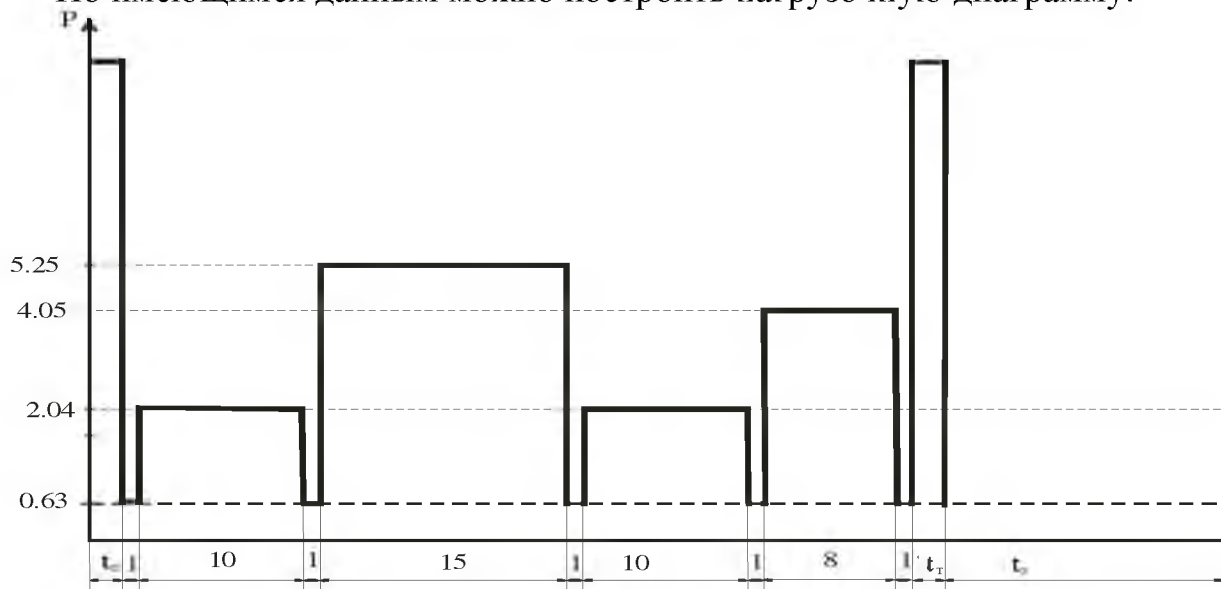
$$\eta_{с3} = \frac{1}{1 + \frac{4,2}{1,0} \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,49 \quad \eta_{с4} = \frac{1}{1 + \frac{4,2}{3,0} \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,74$$

Производим расчет мощности электродвигателя с учетом КПД станка и данные сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Нагрузка на электродвигатель

$P_{рез}, кВт$	$P_1 = 1,0$	$P_2 = 4,2$	$P_3 = 1,0$	$P_4 = 3,0$
η_c	0,49	0,8	0,49	0,74
$P_{двиг}, кВт$	2,04	5,25	2,04	4,05
$t, с$	10	15	10	8

По имеющимся данным можно построить нагрузочную диаграмму.



$t_{п}$ – время пуска; $t_{т}$ – время торможения; $t_{о}$ – время отключенного состояния

Рисунок 5.31.1 - Нагрузочная диаграмма

Предварительно выбираем двигатель по средней мощности за цикл:

$$P_{двср} = \frac{\sum P_{двиг} t_i}{t_{ц}} = \frac{2,04 \cdot 10 + 5,25 \cdot 15 + 2,04 \cdot 10 + 4,05 \cdot 8}{10 + 15 + 10 + 8} = 3,53 \text{ кВт}$$

Из справочника выписывают основные паспортные данные электрической машины и начинают уточненный расчет.

По справочнику выбираем двигатель **4А112МВ6У3**;

$$P_{2ном} = 4,0 \text{ кВт}, \quad n = 1000 \text{ об/мин}, \quad S_{ном} = 5,1\%; S_k = 38\%; I_{д.р.} = 0,021 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

$$m_n = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 2,0 \quad m_k = \frac{M_k}{M_{ном}} = 2,5 \quad m_{мин} = \frac{M_{мин}}{M_{ном}} = 1,8 \quad i_{п} = \frac{I_{пуск}}{I_{ном}} = 6,0$$

Из каталога выпишем значения КПД в таблицу 2.

Таблица 2 – Значение КПД при различной нагрузке

$\eta, \%$	77,0	82,5	83,0	82,0	79,5
$P_2/P_{2ном}, \%$	25	50	75	100	125

Определяем перегрузочную способность двигателя λ :

$$\lambda = 0,81 \cdot \frac{M_{\kappa}}{M_{ном}} = 0,81 \cdot 2,5 = 2,025$$

Определяем потери при мощностях соответствующих графику нагрузки.

$$\Delta P_i = \frac{P_i}{\eta_i} - P_i$$

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= (2,04/0,826) - 2,04 = 0,43; & \Delta P_4 &= (4,05/0,81) - 4,05 = 0,95; \\ \Delta P_2 &= (5,25/0,79) - 5,25 = 1,39; & \Delta P_{в.х.} &= (0,63/0,41) - 0,63 = 0,91; \\ \Delta P_3 &= (2,04/0,826) - 2,04 = 0,43; & \Delta P_{ном} &= (4/0,82) - 4 = 0,88. \end{aligned}$$

Определяем по графику зависимости $\eta = f\left(\frac{P_2}{P_{2ном}}\right)$ КПД двигателя при различных нагрузках и заполняем таблицу 3.

Таблица 3 – потери и кпд в зависимости от нагрузки

$\frac{P_2}{P_{2ном}}$	$\frac{2,04}{4} = 0,51$	$\frac{5,25}{4} = 1,31$	$\frac{2,04}{4} = 0,51$	$\frac{4,05}{4} = 1,01$	$\frac{0,63}{4} = 0,16$	$\frac{4}{4} = 1,0$
η	0,826	0,79	0,826	0,81	0,41	0,82
$\Delta P_i, \text{ кВт}$	0,43	1,39	0,43	0,95	0,91	0,88

Определяем время пуска двигателя:

$$t_n = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_n - M_c}$$

где $J_{н.м.}$ – момент инерции механизма, приведённый к валу двигателя; $J_{д.р.}$ – момент инерции ротора выбранного двигателя; ω_0 – синхронная угловая скорость; M_n – момент двигателя при пуске; M_c – момент сопротивления при пуске.

Принимаем ориентировочно: $\omega_{хх} \approx \omega_0$

Определим номинальную частоту вращения двигателя:

$$S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}; \quad n_n = n_0(1 - S_n) = 1000 \cdot (1 - 0,051) = 949 \text{ об/мин.}$$

n_0 – синхронная частота вращения

Определяем момент сопротивления при пуске:

$$M_c = \frac{P_{в.х.}}{\pi \cdot n_{\text{р}}} \cdot 10^3 = \frac{0,63 \cdot 30 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 949} = 6,34 \text{ Н·м;}$$

30

Определяем средний пусковой момент двигателя:

$$M_{n.c.p.} = (m_n + m_{\min} + m_k) \cdot \frac{M_{ном}}{3} = (2 + 2,5 + 1,8) \cdot \frac{40,24}{3} = 84,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} \cdot 10^3 = \frac{4}{99,4} \cdot 10^3 = 40,24 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Подставляем полученные значения и определяем t_n :

$$t_n = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_n - M_c} = \frac{(0,05 + 0,021) \cdot 99,4}{84,5 - 6,34} = 0,09 \text{ с};$$

Определяем время самоторможения двигателя:

$$t_{c.m.} = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_c} = \frac{(0,05 + 0,021) \cdot 99,4}{6,34} = 1,11 \text{ с};$$

Для ускорения торможения станка применим динамическое торможение:

$$t_m = \frac{(J_{н.м.} + J_{д.р.}) \cdot \omega_0}{M_c + M_m} = \frac{(0,05 + 0,021) \cdot 99,4}{6,34 + 40,24} = 0,15 \text{ с};$$

$$M_m = 0,5 \cdot M_{н.нач} = 0,5 \cdot 2M_n = M_n = 40,24 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем потери энергии при пуске:

$$\Delta A_n \approx J \cdot \omega_0^2 + M_c \cdot \omega_0 \cdot t_n = 0,071 \cdot 99,4^2 + 6,34 \cdot 99,4 \cdot 0,09 = 0,76 \text{ кДж}$$

Принимаем потери при пуске и торможении одинаковыми:

$$\Delta A_T \approx \Delta A_n = 0,76 \text{ кДж}$$

Необходимо определить коэффициент β_0 , учитывающий ухудшение охлаждения двигателя при его остановке:

$$\beta_1 = 0,5 \cdot (1 + \beta_0) = 0,5 \cdot (1 + 0,5) = 0,75$$

Эквивалентные потери определяются по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta P_{эkv} &= \frac{\Delta A_n + \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta P_4 \cdot t_4 + \Delta P_{в.х.} \cdot t_{в.х.} + \Delta A_T}{\beta_1 \cdot t_n + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_{в.х.} + \beta_1 \cdot t_T + \beta_0 \cdot t_0} = \\ &= \frac{0,76 + 0,43 \cdot 10 + 1,39 \cdot 15 + 0,43 \cdot 10 + 0,95 \cdot 8 + 0,91 \cdot 29 + 0,76}{0,75 \cdot 0,09 + 10 + 15 + 10 + 8 + 21 + 0,75 \cdot 0,15 + 0,45 \cdot 29} = 0,74 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Сравнивая эквивалентные потери с потерями номинальными, делаем вывод, что двигатель по нагреву проходит.

$$\Delta P_{эkv} < \Delta P_{ном}; \quad 0,74 < 0,88 \text{ кВт}$$

Выбранный электродвигатель остается.

5.2. Электрооборудование, схемы автоматизации станков

Электрооборудование сверлильных и расточных станков. К сверлильным станкам (рис. 5.32) общего назначения относятся вертикально-сверлильные и радиально-сверлильные. В крупносерийном и массовом производстве применяются агрегатные и многошпиндельные сверлильные станки. Расточные станки предназначены для обработки крупных деталей и имеют, обычно, горизонтальное исполнение.



Рисунок 5.32- Общий вид сверлильного станка

Привод главного движения: реверсивный асинхронный короткозамкнутый двигатель, реверсивный асинхронный двигатель с переключением полюсов, система Г—Д с ЭМУ (у тяжелых станков). Общий диапазон регулирования: вертикально-сверлильных станков (2—12) : 1, радиально-сверлильных станков (20—70) : 1. Привод подачи: механический от цепи главного движения, гидропривод (у агрегатных станков). Общий диапазон регулирования: вертикально-сверлильных станков 1 : (2—24), радиально-сверлильных станков 1 : (3—40). Вспомогательные приводы применяют для: насоса охлаждения, насоса гидросистемы, подъема и опускания рукава (у радиально-сверлильных станков), зажима колонны (у радиально-сверлильных станков), перемещения суппорта (у тяжелых радиально-сверлильных станков), поворота рукава (у тяжелых радиально-сверлильных станков), поворота стола (у агрегатных станков). Специальные электромеханические устройства и блокировки: электромагниты управления гидросистемой, автоматизация цикла посредством путевых переключателей (у агрегатных станков), автоматическое управление фиксацией стола (у агрегатных станков), автоматическая установка координат посредством программного управления (у координатно-сверлильных станков и координатных столов). Двигатель привода шпинделя у сверлильных и радиально-сверлильных станков устанавливается обычно сверху на станине или суппорте так, что шпиндель и вал электродвигателя параллельны. Стремление к сокращению числа промежуточных передач в отдельных случаях приводит к непосредственной связи вала электродвигателя со сверлильным шпинделем. Это возможно, например, при использовании сверл малых диаметров и широко применяется на станках часовой промышленности. У агрегатных сверлильных станков широко используют самодействующие головки с подачей, осуществляемой от кулачка, винта или рейки, а чаще с гидроприводом и электрогидравлическим управлением. У многошпиндельных сверлильных станков часто применяют отдельные электродвигатели для каждого шпинделя, а также самодействующие электрогидравлические головки.

Многодвигательный привод широко распространен на радиально-сверлильных станках, где привод шпинделя, подъем и опускание рукава, зажим колонн, а иногда поворот рукава и перемещение сверлильного суппорта

осуществляют отдельные электродвигатели. Зажим колонны у радиально-сверлильных станков производят несколькими способами, например с помощью разрезного кольца, которое стягивается посредством дифференциального винта, вращаемого электродвигателем, или тормозной колодки. Применяется также зажим электромагнитом с освобождением посредством противодействующей пружины. Имеются также устройства, где зажим колонны осуществляет пружина, а освобождение — электромагнит.

Контроль силы зажима производится посредством реле тока или путевого переключателя, на который воздействует элемент устройства, смещающийся под действием возрастающей силы.

Для сверлильных станков автоматическое уменьшение подачи при выходе сверла имеет большое значение для предотвращения поломки сверла при выходе. Для этого использовали различные средства автоматизации, например контроль скорости шпинделя, крутящего момента, силы подачи, тока, потребляемого электродвигателем.

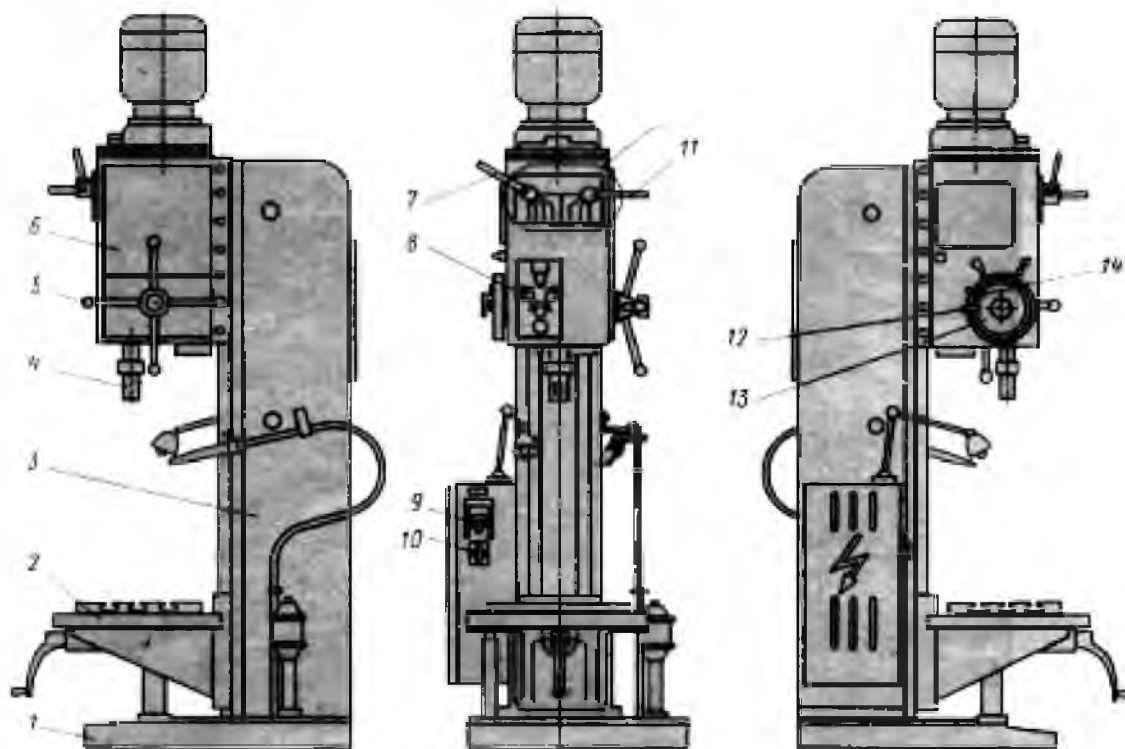
У многошпиндельных сверлильных станков, предназначенных для одновременного сверления многих отверстий малых и очень малых диаметров, иногда применяют блокировки, останавливающие станок в случае поломки одного из сверл. Для этого сверла изолируют от станины станка, при поломке сверла разрывается цепь проходящего по нему тока. Такие устройства получили некоторое применение на станках часовой промышленности.

Особую задачу представляет собой автоматизация процесса глубокого сверления отверстий малого диаметра (до 10 мм). При таком сверлении применяют сверла со спиральной канавкой, которая забивается стружкой, отчего резко увеличивается момент сопротивления при вращении сверла. Поэтому сверление производят с периодическими отводами сверла, при которых стружка удаляется охлаждающей жидкостью. Управление осуществляли посредством реле времени, которое, независимо от накопления стружки, подавало сигнал на отвод сверла. В современных сверлильных станках для этих целей используют индуктивные измерительные преобразователи (датчики) момента. Такое автоматическое управление является более точным, так как отражает заполнение канавки стружкой. Оно дает возможность повысить скорость сверления и предотвратить поломку сверла.

Электрооборудование расточных станков. Привод главного движения: асинхронный короткозамкнутый двигатель, асинхронный двигатель с переключением полюсов, система Г—Д с ЭМУ, тиристорный привод с двигателем постоянного тока. Торможение: механическое с применением фрикционной муфты, посредством электромагнита, противовключением, динамическое и с рекуперацией (при постоянном токе). Общий диапазон регулирования до 150 : 1. Привод подачи: механический — от цепи главного движения, система ЭМУ — Д у современных станков, тиристорный привод с двигателем постоянного тока. Общий диапазон регулирования до 1 : 2000 и более. Вспомогательные приводы применяют для: насоса охлаждения, ускоренного перемещения расточного шпинделя, насоса смазки, переключения зубчатых колес коробки скоростей, перемещения и зажима стойки, перемещения

движка регулировочного реостата. Специальные электромеханические устройства и блокировки: автоматизация управления главным приводом при переключении зубчатых колес коробки скоростей, устройства для освещения микроскопов, устройства для отсчета координат с индуктивным преобразователем. Для привода подач, установочных и быстрых перемещений передней и задней стойки, суппорта, бабки и стола применяют двигатели постоянного тока. Каждый из них может поочередно подключаться к одному из двух ЭМУ, причем один ЭМУ обеспечивает рабочие подачи, а другой — установочные ускоренные перемещения. Таким образом, во время рабочей подачи одного элемента можно производить установочные перемещения других узлов станка. Широкий диапазон электрического регулирования такого привода позволяет полностью отказаться от применения коробок подач. Управление станком чрезвычайно облегчается вследствие замены штурвалов, рукояток и маховичков элементами электрического управления.

Схемы управления сверлильных станков, предназначенных для производств с малым объемом выпуска продукции, что характерно для ремонтных мастерских в сельских населенных пунктах, имеют несложную структуру. Так если рассмотреть вертикально-сверлильный станок 2А-125 или 2Н125 (рис.5.33), то он предназначен для работы в ремонтных, инструментальных цехах с мелкосерийным производством.



1 – основание; 2 – стол; 3 – колонна; 4 – шпиндель; 5 – штурвал механизма вертикального перемещения шпинделя; 6 – коробка скоростей и подач; 7 – рукоятка переключения скоростей; 8 – пульт управления; 9 – выключатель электропитания; 10 – выключатель подачи охлаждающей жидкости; 11 – рукоятка переключения подач; 12 – кулачок для настройки глубины нарезаемой резьбы; 13 – лимб для отсчета глубины обработки; 14 – кулачок для настройки глубины обработки

Рисунок 5.33 - Внешний вид станка 2Н-125

Принципиальная электрическая схема этого станка изображена на рисунке 5.34. Работа на станке происходит следующим образом. Первоначально на схему подается напряжение с помощью пакетного переключателя *S1*. Пакетный выключатель *S3* служит для включения насоса охлаждения *M2*. В исходном состоянии рукоятки штифт воздействует на пружину микропереключателя *SQ1*, контакты которого разомкнуты и цепь управления обесточена. Для пуска станка рукоятка управления переводится вниз и контакты *SQ1*, *SQ2* замыкаются включая катушку магнитного пускателя *KM1* и электродвигатель включается. При опускании рукоятки контакты микропереключателя *SQ2* размыкаются, но катушка *KM1* остается по напряжением по линии блокировки контактом *KM1*. Если станок был настроен на сверление, то по окончании обработки происходит выключение подачи без отключения вращения. Отвод шпинделя производится вручную. Если станок настроен на нарезание резьбы, то по окончании нарезания кулачек закрепленный на лимбе, через специальный механизм воздействует на *SQ3*, размыкающие контакты которого в цепи *KM1* размыкаются, а в цепи *KM2* – замыкаются и электродвигатель включается на реверс. При этом метчик вывертывается из заготовки. Для следующей операции необходимо рукоятку вернуть в исходное положение и магнитный пускатель *KM2* отключится.

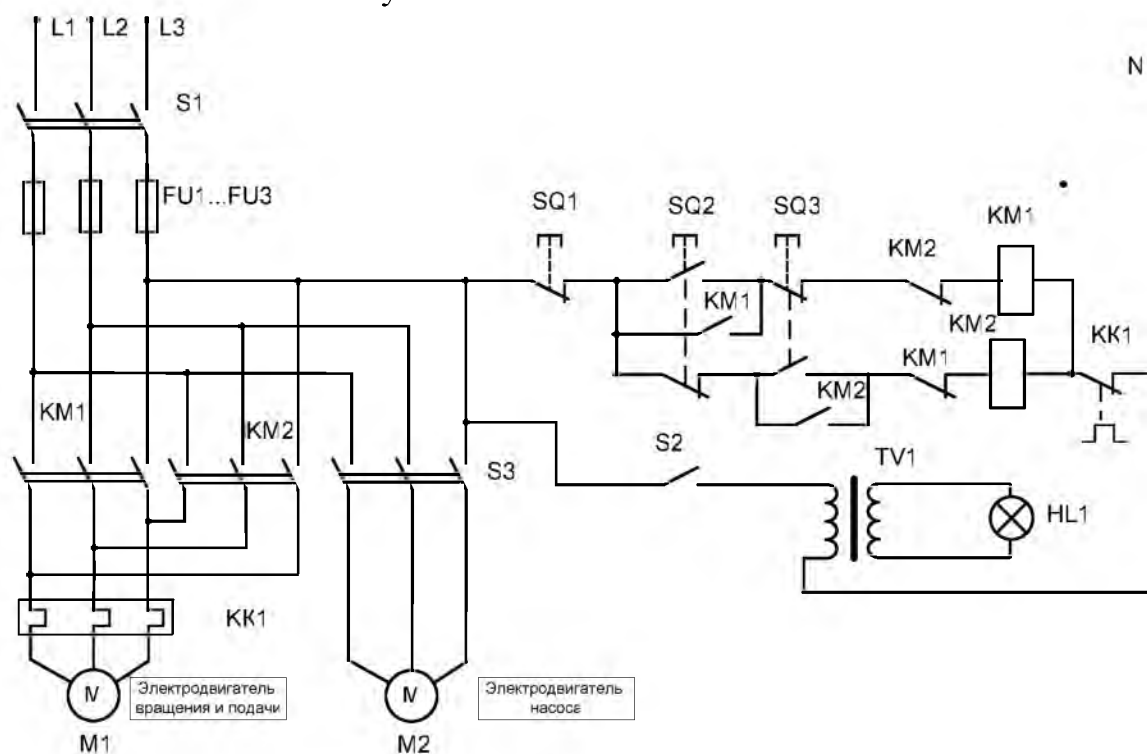


Рисунок 5.34– Схема электрическая принципиальная сверлильного станка 2Н125

Есть и другой вариант схемы управления станками 2Н150 (рис.5.35). После включения вводного автоматического выключателя *QF1* подается напряжение на цепи управления и силовую часть схемы. При нажатии кнопки *SB4* «Вправо» включается магнитный пускатель *KM1* и электродвигатель вращения шпинделя (*M1*) начинает работать. Через блок-контакты *KM1* по-

лучает питание магнитный пускатель **KM5**, включающий электронасос охлаждения и реле времени **KT1**. При нажатии кнопки **SB3** «Влево» отключается **KM1** и реле времени **KT1**, после разряда конденсатора **C3** контакты реле **KT1** замыкаются и включается магнитный пускатель **KM2**. Реле **KT1** включается снова. При автоматическом реверсе управление производится через микропереключатель **SQ1**, установленного на лимбе. Останов производится нажатием кнопки **SB2**, при этом обесточиваются катушки магнитных пускателей **KM1** или **KM2** и **KM5**. Далее через контакты реле **KT1** получает питание реле **KV1** с последующим включением магнитных пускателей **KM3** и **KM4**. После этого на статор электродвигателя **M1** через диоды **VD2** и **VD3** поступает постоянный ток и электрическая машина переходит в режим динамического торможения. После разрядки конденсаторов **C2** и **C3** отключается реле **KV1**, которое отключает катушки пускателей **KM3** и **KM4** и процесс торможения прекращается. Нажатием кнопки **SB2** можно производить «качательное движение» ротора электродвигателя **M1** (для облегчения переключения скоростей), при этом включится магнитный пускатель **KM4**, который подает пониженное выпрямленное напряжение на статор **M1**. Через сопротивление **R2**, с задержкой включается реле **KV1**, отключающее магнитный пускатель **KM4** и включающее **KM3**. При этом также подается пониженное напряжение, но другие фазы электродвигателя **M1**.

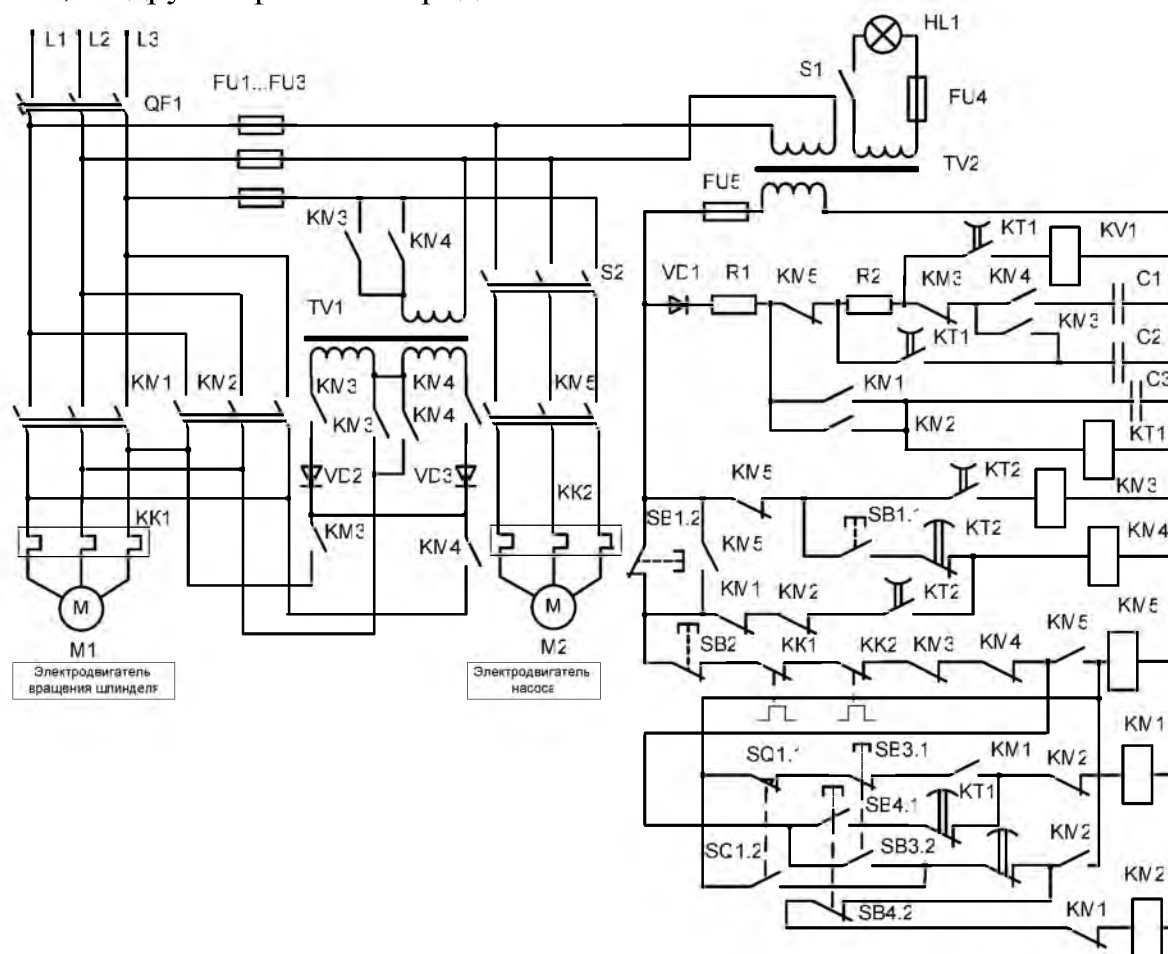
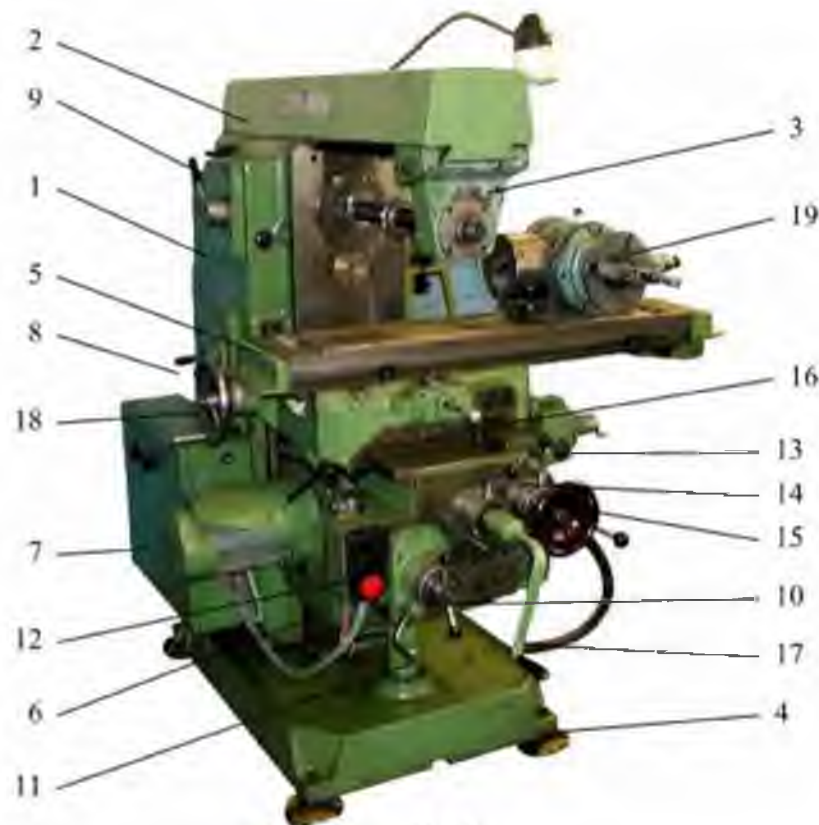


Рисунок 5.35– Схема электрическая принципиальная сверлильного станка 2Н150

Горизонтально-фрезерный станок 6Р81Г (рис.5.36). Горизонтально-фрезерный станок предназначен для обработки плоских и фасонных поверхностей, прорезки пазов и канавок и т.д. цилиндрическими, дисковыми, угловыми, фасонными и модульными фрезами. Технологическая возможность станка может быть расширена за счет применения делительной головки.



1 – станина с коробкой скоростей и шпиндельным узлом; 2 – хобот; 3 –серьга; 4 – основание; 5 – стол; 6 – консоль с коробкой подач; 7 – электрошкаф 8 – рукоятка переключения перебора коробки скоростей; 9 – рукоятка переключения частот вращения шпинделя; 10 – рукоятка переключения величин подачи стола; 11 – рукоятка переключения перебора коробки подач; 12 – кнопки управления электродвигателями; 13 – рукоятка включения механической поперечной подачи стола; 14 – рукоятка включения механической вертикальной подачи консоли; 15 – маховичек ручного поперечного перемещения стола; 16 – рукоятка включения механической продольной подачи стола; 17 – рукоятка ручного вертикального перемещения консоли; 18 – маховичек ручного продольного перемещения стола; 19 – лимбовая делительная головка

Рисунок 5.36– Общий вид станка 6Р81Г

чок шпинделя» предназначена для кратковременного включения электродвигателя **М2** с целью облегчения переключения скоростей. После нажатия этой кнопки включится реле времени **КТ1**, которое своими контактами мгновенного действия отключит катушку магнитного пускателя **КМ1**. Таким образом, переключение произойдет независимо от длительности удержания кнопки **SB3**. Остановка может производиться как нажатием кнопки **SB1**, так и при срабатывании микропереключателя **SQ1**. Торможение привода шпинделя, после отключения питания от электродвигателя **М2**, осуществляется тормозной электромагнитной муфтой **YA1**. Время подачи питания на тормозную муфту регулируется выдержкой реле времени **КТ1**.

Принципиальные схемы одношпиндельных станков типа 6Р81Г, 6Р81, 6Р11 однотипны и схожи по режиму работы. На рисунке 5.37 представлена принципиальная схема управления этими станками. Подача напряжения на схему производится автоматическим выключателем **QF1**. Выбор направления вращения производится переключателем **S3**. При использовании охлаждающей жидкости подготавливается к включению электронасос (**М1**) с помощью переключателя **S1**. Включение электропривода шпинделя (**М2**) производится кнопкой **SB2**, а привода подачи – **SB4**. Кнопка **SB3** «Толчок шпинделя»

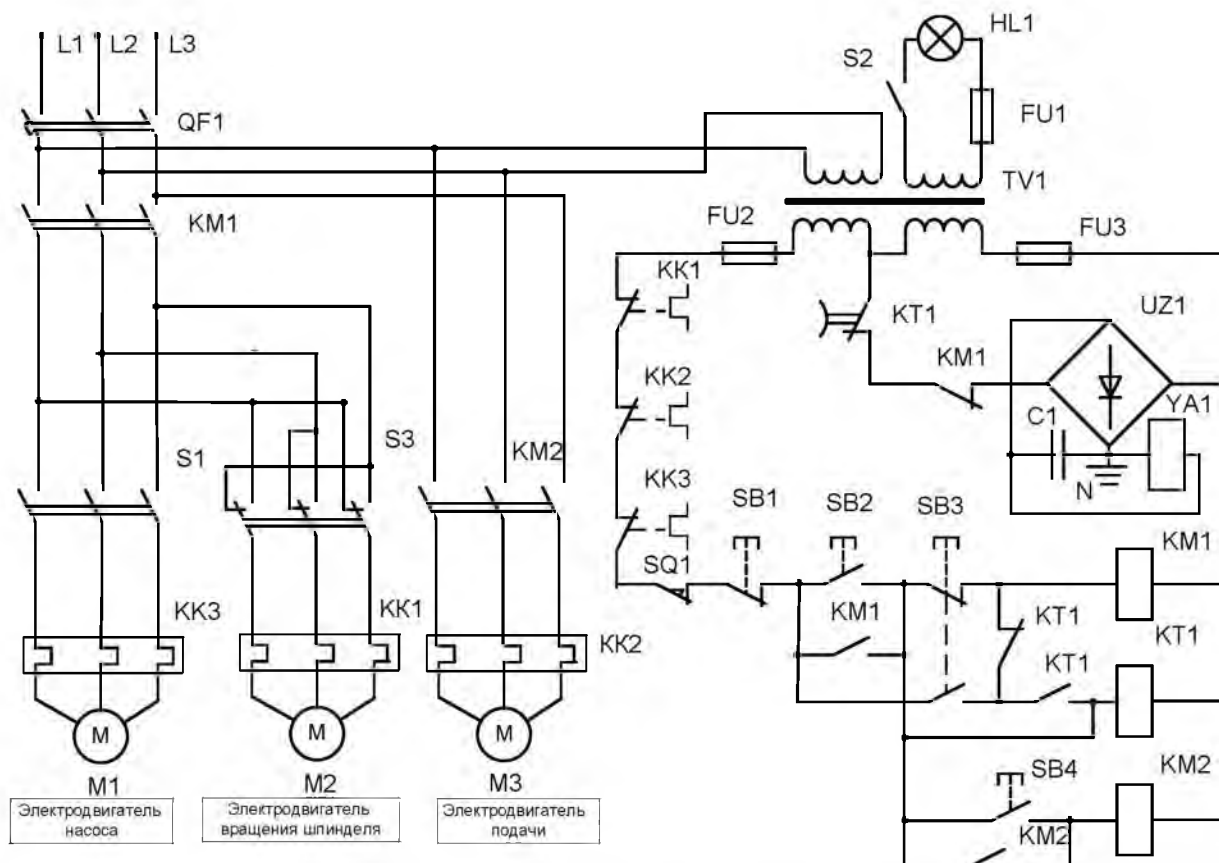


Рисунок 5.37 – Схема электрическая принципиальная горизонтально-фрезерного станка 6P81Г

На рисунке 5.38 представлена схема горизонтально-фрезерных станков типа 6P82Г, 6P83, 6P12, 6P13.

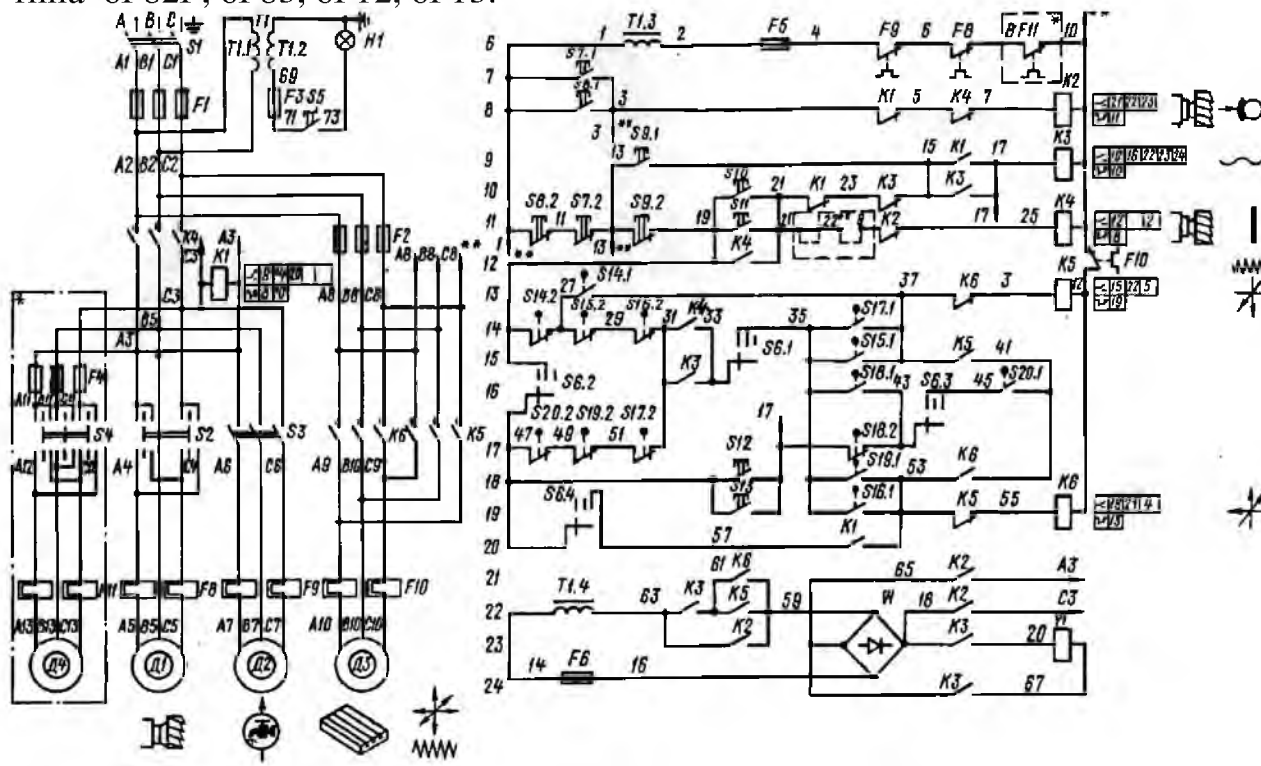


Рисунок 5.38– Схема электрическая принципиальная горизонтально-фрезерных станков типа 6P82Г, 6P83, 6P12, 6P13.

Работа схемы происходит по следующему алгоритму. Для облегчения переключения скорости шпинделя и подачи в станке предусмотрено импульсное включение электродвигателей кнопками *S9* и *S14*. После нажатия кнопки *S9* включается контактор шпинделя *K4* и промежуточное реле *K1*, через контакты которого включается реле *K3*. Блокировочные контакты реле *K3* включают катушку *K3* на самоудержание, а размыкающий контакт *K3* – отключает катушку *K4*. В случае управления от рукояток станка работа электропривода происходит при переключениях конечных выключателей и микровыключателей. Так включение и отключение электродвигателя подачи происходит при воздействии на конечные выключатели продольной подачи – *S17*, *S19*, вертикальной и поперечной подач – *S15*, *S16*.

Управление электродвигателем (электродвигателями) шпинделя производится с помощью кнопок *S10*, *S11* и *S7*, *S8*. При нажатии кнопок «Стоп» *S7*, *S8* отключается также электродвигатель подачи. Быстрый ход стола производится с помощью кнопок *S12*, *S13* «Быстро», при этом включается контактор *K3* и электромагнит быстрого хода *Y1*. Для быстрой остановки электродвигателя шпинделя применяется динамическое торможение. При нажатии одной из кнопок *S7* или *S8* включается контактор *K2*, который подключает статор электродвигателя к источнику постоянного тока. Реле *K1* предназначено для защиты диодов от пробоя повышенным напряжением в момент отключения электродвигателя.

При работе на одной из подач исключается возможность включения другой подачи из-за блокировочных контактов конечных выключателей *S15* - *S19*. При автоматическом управлении переключатель *S6* должен быть установлен в положение «Автоматический цикл» и кулачковая муфта продольного хода нажимает конечный выключатель *S20*. При движении стола кулачки воздействуют на рукоятку продольной подачи и производят необходимые переключения конечных выключателей *S17*- *S19*. Конечный выключатель *S20* исключает возможность включения поперечных и вертикальных подач. При работе с круглым столом переключатель *S6* устанавливается в положение «Круглый стол». При этом включение продольных, поперечных, вертикальных подач исключается посредством конечных выключателей *S14*- *S20*. Вращение круглого стола осуществляется от электродвигателя подачи, пуск которого производится контактором *K6* одновременно с электродвигателем шпинделя

Электрооборудование шлифовальных станков. Шлифовальные станки (рис. 5.39) применяются в основном для снижения шероховатости обрабатываемых деталей и получения точных размеров. Основным инструментом при шлифовании – шлифовальный круг. На шлифовальных станках можно обрабатывать наружные и внутренние цилиндрические, конические и фасонные поверхности и плоскости, разрезать заготовки, шлифовать резьбу и зубья зубчатых колёс, затачивать режущий инструмент и т.д.



Рисунок 5.39- Общий вид шлифовального станка

Шлифовальные станки в зависимости от назначения подразделяются на круглошлифовальные, внутришлифовальные, безцентровошлифовальные, плоскошлифовальные и специальные. Привод шпинделя: асинхронный короткозамкнутый двигатель, асинхронный двигатель с переключением полюсов, двигатель постоянного тока. Торможение: противоключением и посредством электромагнита. Привод стола: регулируемый гидропривод, реверсивный асинхронный короткозамкнутый

двигатель с торможением противоключением или посредством электромагнита, привод с ЭМУ, асинхронный короткозамкнутый двигатель (при вращающемся столе). Вспомогательные приводы используют для: гидронасоса поперечной периодической подачи, поперечной подачи (асинхронный короткозамкнутый двигатель или двигатель постоянного тока на тяжелых станках), вертикального перемещения шлифовальной бабки, насоса охлаждения, насоса смазки, транспортера и мойки, магнитного фильтра. Специальные электромеханические устройства и блокировки: электромагнитные столы и плиты, демагнетизаторы, магнитные фильтры для охлаждающей жидкости, счет числа циклов для правки круга, устройство активного контроля.

Характерной чертой развития шлифовальных станков за последние годы является быстрое повышение скоростей шлифования с 30 - 35 до 80 м/с и выше. Для привода шлифовального круга плоскошлифовальных станков обычно применяют асинхронные короткозамкнутые двигатели. Они могут иметь встроенное исполнение и составлять одно целое с шлифовальной бабкой. Шлифовальный шпиндель является одновременно валом электродвигателя и лишь в случае необходимости повышенной или (реже) пониженной частоты вращения абразивного круга его связывают с валом электродвигателя ременной передачей. Вследствие значительной инерционности круга время вращения шлифовального шпинделя по инерции составляет 50 - 60 с и более. Когда это время необходимо уменьшить, прибегают к электрическому торможению. Обычно частоту вращения электродвигателя шлифовального круга не регулируют. Бесступенчатое регулирование частоты вращения шлифовального шпинделя в небольших пределах (1,5 : 1), в некоторых случаях применяют для сохранения постоянной окружной скорости абразивного круга по мере его изнашивания.

Стремление уменьшить вибрации при работе приводов, установленных на шлифовальных станках, привело к применению разного рода амортизаторов при установке электродвигателей и к широкому использованию ременных передач, мягких муфт и гидравлических систем.

Особое значение для шлифовальных станков имеют тепловые деформации, возникающие в процессе обработки детали. Для предотвращения нагревания детали ее обильно охлаждают эмульсией, которую иногда подводят через полый вал круга, а иногда и через поры шлифовального круга. Насосы

охлаждающей жидкости устанавливают на резервуарах с эмульсией, помещаемых отдельно от станка во избежание нагрева станка остывающей эмульсией. Электродвигатели таких насосов присоединяют к схеме станка штепсельными соединениями.

Столы с возвратно-поступательным движением на небольших станках обычно перемещает гидропривод. Переключения скорости осуществляют гидроупоры. На тяжелых станках применяют различные регулируемые приводы.

Особенностью периодической поперечной подачи шлифовальных станков является малая величина наименьшей подачи (1 - 5 мкм). Такую подачу часто осуществляют посредством гидропривода, воздействующего на храповой механизм. Для привода вращающихся столов плоскошлифовальных станков часто применяют электропривод с ЭМУ. В отдельных случаях используют также и регулируемый гидропривод вращательного движения.

Приспособление для правки круга у шлифовальных станков, работающих по автоматическому, а иногда и по полуавтоматическому циклу, имеет обычно гидропривод. Реже используют электрический привод. Правку производят через определенные промежутки времени, достигающие 1 ч, а иногда и больше. Для автоматизации процесса используют моторные реле времени. Другим решением этой задачи является применение реле счета импульсов.

На плоскошлифовальных станках широко применяют электромагнитные плиты (а также плиты с постоянными магнитами) и вращающиеся электромагнитные столы. На некоторых плоскошлифовальных станках с вращающимся столом загрузка мелких деталей, их закрепление, снятие и размагничивание происходят непрерывно во время вращения стола.

У тяжелых круглошлифовальных станков для вращения абразивного круга обычно применяют регулируемые двигатели с параллельным возбуждением. По мере износа абразивного круга и уменьшения его диаметра скорость привода изменяют так, чтобы скорость резания не менялась. Диапазон регулирования составляет 2:1.

Для вращения детали на тяжелых круглошлифовальных станках обычно используют привод по системе Г—Д с диапазоном регулирования 1 : 10, а также тиристорные приводы. Особенность привода состоит в большом моменте нагрузки при пуске (до 2 M_n).

Для продольной подачи на тяжелых продольно-шлифовальных станках наиболее часто применяют привод с ЭМУ с диапазоном регулирования до 50 : 1, а в последние годы — тиристорные приводы. Дополнительное механическое регулирование обычно не производят. Привод продольной подачи должен обеспечивать постоянство заданной скорости с погрешностью до 5%. Останов должен производиться с погрешностью не более 0,5 мм. Для повышения точности реверсирования скорость перед реверсом снижают.

Для продольной подачи иногда используют многоскоростные асинхронные двигатели с многоступенчатой коробкой передач. Такой привод более прост и надежен. Однако его применяют реже, так как он не дает возможно-

сти плавного регулирования. Установочные перемещения производят со скоростью 5 - 7 м/мин.

Для тяжелых шлифовальных станков применение электропривода с бесступенчатым регулированием скорости имеет особое значение. Такой привод дает возможность не работать со скоростями, при которых возникает вибрация. Кроме того, обеспечивается повышение производительности. Для контроля нагрузки, а также степени затупления круга иногда используют ваттметры, которые включают в цепь двигателя шпинделя.

На бесцентрово-шлифовальных станках применяют осевое осциллирующее движение круга (до 6 мм). При этом повышается частота обработки. Для внутреннего шлифования отверстий малых диаметров применяют шлифовальные электрошпиндели с электродвигателями повышенной частоты.

У круглошлифовальных станков для повышения производительности обычно подводят абразивный круг к обрабатываемой детали на большой скорости. Если на некотором небольшом расстоянии круга от обрабатываемой поверхности автоматически осуществить переход на рабочую подачу, то путь дальнейшего перемещения до начала процесса резания будет переменной величиной. Это происходит по причине непостоянства у разных деталей припуска на обработку, а также износа шлифовального круга. Медленное перемещение шлифовального круга до его врезания требует значительного времени. Для его сокращения используют возрастание тока электродвигателя в начале процесса резания. В этом случае в одну фазу электродвигателя включают обмотку реле тока. При врезании круга ток электродвигателя возрастает, реле тока включается и своими контактами осуществляет переключение на рабочую подачу. Для повышения чувствительности устройства параллельно двигателю включают конденсаторы, подобранные так, чтобы реактивная составляющая тока холостого хода оказалась скомпенсированной.

Для тех же целей применяют реле мощности, а также фотоприемники, подающие сигнал от искрения, возникающего при врезании абразивного круга. Для повышения производительности и точности шлифовальных станков расширяется использование активного контроля. На некоторых плоскошлифовальных станках с вращающимся столом и шлифованием периферией круга значительное сокращение машинного времени может быть получено путем автоматического увеличения частоты вращения стола по мере приближения круга к оси вращения стола.

Получил распространение процесс электрохимического алмазного шлифования. В этом процессе металл снимается вследствие совместного действия электрохимического растворения и абразивного шлифования. При этом в 2 - 3 раза возрастает производительность по сравнению с абразивным алмазным шлифованием.

Плоскошлифовальный станок 3Б722 относится к станкам с прямоугольным столом и горизонтальным расположением шпинделя (рис. 5.40). Электрическая схема силовых цепей и цепей управления представлены на рисунках 5.41, 5.42.



Рисунок- 5.40- Общий вид шлифовального станка 3Б722

Работа схемы происходит следующим образом. Поворотом ручки пакетного выключателя *QS1* подается напряжение на схему. Далее включаются автоматические выключатели *QF1* и *QF2*. В последствии управление ведется в зависимости от режима работы. **Включение смазки шпинделя.** При нажатии на кнопку *SB3* подается напряжение на катушку контактора *KM3*, который включает электродвигатель *M3* насоса смазки шпинделя. При достижении нормального давления масла срабатывает датчик давления *SP1*, который своим замыкающим контактом подготавливает цепь питания контактора *KM1*. Загорается сигнальная лампа *HL1* «Смазка», так как срабатывает реле *KV1*. **Включение вращения шлифовального круга.** После повторного нажатия кнопки *SB3*, замыкаются контакты *SB3.2*, срабатывает магнитный пускатель *KM1* и включается электродвигатель *M1*.

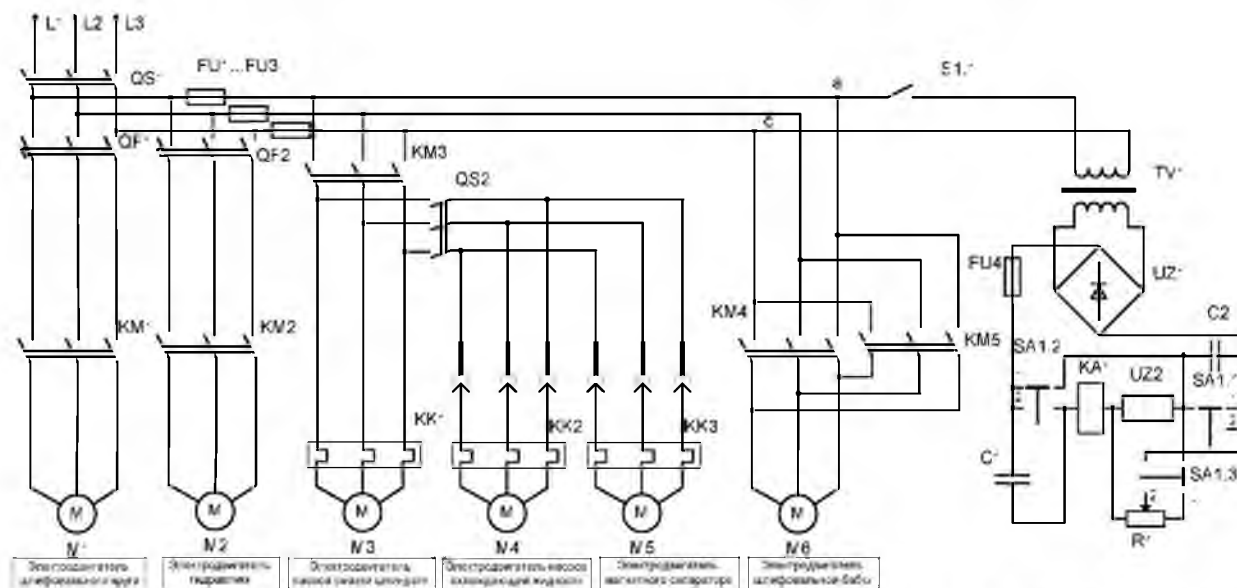


Рисунок 5.41– Схема электрическая принципиальная силовой цепи станка 3Б722

Включение и выключение питания электромагнитной плиты. Станок оборудован магнитной плитой для удержания деталей из магнитных материалов в процессе шлифования. Для подключения плиты необходимо включить выключатель *S1* «Работа с плитой». Поворотом ручки барабанного выключателя *SA1* в положение «Включено» напряжение постоянного тока поступает на электромагнитную плиту *UZ2* через замкнутое 1-е направление *SA1.1* и замкнутое 2-е направление *SA1.2*. При этом также срабатывает токовое реле *KAI*, которое своим замыкающим контактом подготавливает цепь

питания катушки *KM2* и вторым замыкающим контактом включает сигнальную лампу *HL2* «Плита включена».

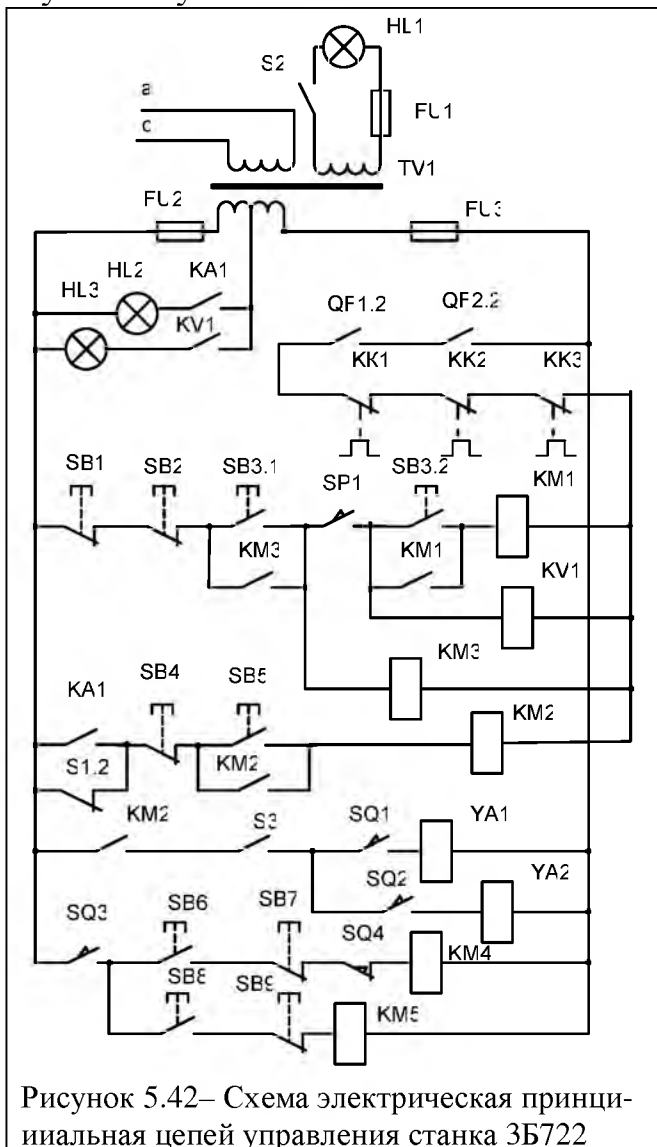


Рисунок 5.42– Схема электрическая принципиальная цепей управления станка 3Б722

Для снятия изделий с магнитной плиты необходимо рукоятку барабанного переключателя *SA1* перевести в положение «Размагничено» и отпустить (под действием пружины рукоятка возвратится в нулевое положение). В нулевом положении замкнуто 1-е направление *SA1.3*. Плита, отключенная от выпрямителя, шунтируется резистором *R1*, также гаснет лампа *HL2*. В положении рукоятки «Размагничено» замкнуто 2-е направление *SA1.3* и в обмотке электромагнитной плиты протекает ток электромагнитной самоиндукции через регулировочный движок резистора *R1*. Этот кратковременный импульс обратной полярности необходим для размагничивания плиты и шлифуемых деталей.

Включение гидравлики. После нажатия на кнопку *SB5* подается напряжение на катушку контактора *KM2* и включается электродвигатель *M2*. Также контактор *KM2* подготавливает цепь питания

электромагнитов *YA1*, *YA2* – включения автоматической вертикальной подачи.

Включение автоматической вертикальной подачи. Включение вертикальной подачи производится выключателем *S3* «Подача включена». При этом подается напряжение на цепи электромагнитов *YA1*, *YA2*, в зависимости от того какой конечный выключатель *SQ1* или *SQ2* будет нажат. **Включение насоса подачи охлаждающей жидкости и магнитного сепаратора.** Включение этих механизмов производится с помощью переключателя *QS2*. **Ускоренный подъем и опускание шлифовальной бабки.** Ускоренное перемещение шлифовальной бабки возможно только при разомкнутых шестернях механизма вертикальной подачи. Поворотом рукоятки подготовки включения ускоренного вертикального перемещения шлифовальной бабки эксцентрик замыкает контакт конечного выключателя *SQ3*. Нажатием на кнопку *SB6* или *SB8* включают контакторы *KM4* или *KM5* и электродвигатель *M6* начинает работать. Имеется блокировка достижения крайнего верхнего по-

ложения шлифовальной бабки (для предохранения от повреждения в кинематической схеме вертикальных подач) **SQ4**.

Станок плоскошлифовальный с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем 3E711B (рис. 5.43).



Рисунок 5.43- Общий вид шлифовального станка 3E711B

Назначение станка: для обработки плоских поверхностей различных изделий. С применением специальных приспособлений для профилирования шлифовального круга и установки деталей, возможно шлифование профильных поверхностей, пазов, уступов, а также шлифование торцом круга в пределах допустимых кожухом шлифовального круга в полуавтоматическом или ручном режиме. Электрическая принципиальная схема представлена на рисунках 5.44, 5.45.

лена на рисунках 5.44, 5.45.

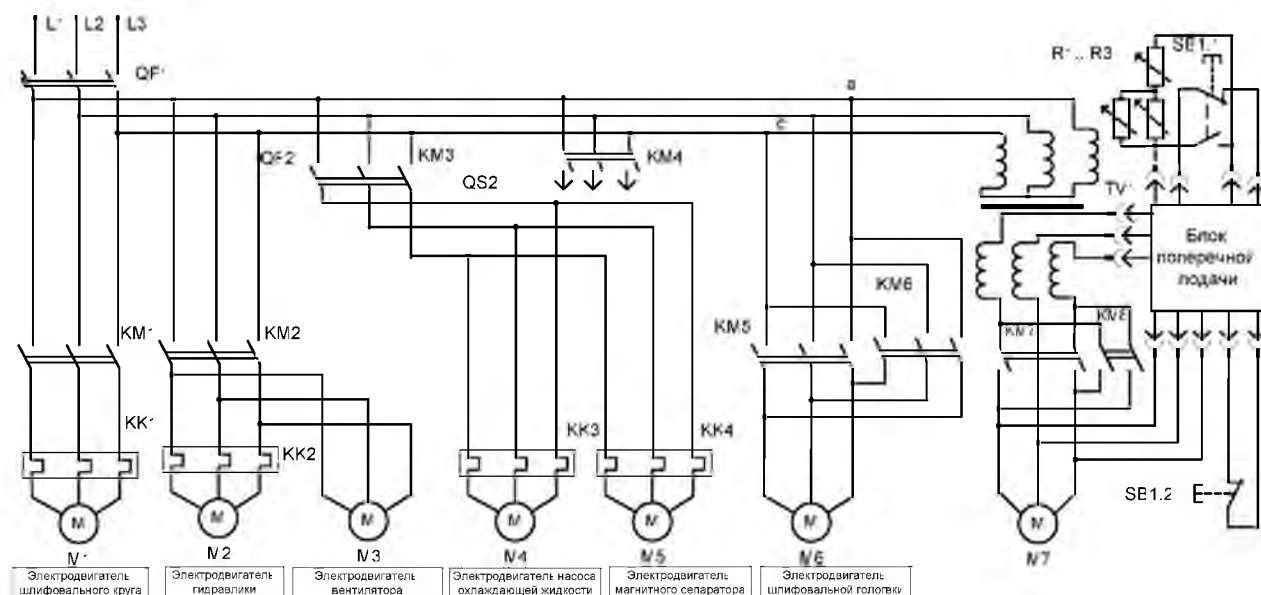


Рисунок 5.44 – Схема электрическая принципиальная силовой цепи станка 3E711

Станок включается в сеть вводным автоматическим выключателем **QF1** при этом загорается сигнальная лампа **HL3**. Кнопкой **SB4** производится запуск электродвигателя шлифовального круга **M3**, а также электродвигателей насоса охлаждения **M4** и магнитного сепаратора **M5** (если переключатель **SA4** замкнут). При работе с электромагнитной плитой детали устанавливаются на плиту и включают переключатель **SA6** на первое направление. Одновременно с электромагнитной плитой **UZ2** включается токовое реле **KA1**, замыкающий контакт которого подготавливает цепь питания магнитного пускателя гидропривода **KM2**. Включение электродвигателей гидравлики **M2** и вентилятора **M3** возможно только в том случае если рукоятка установки скорости стола находится в нулевом положении и микровыключатель **SQ1** не на-

жат. При выключении электромагнитной плиты *UZ2* ее размагничивание происходит с помощью конденсатора *C2*.

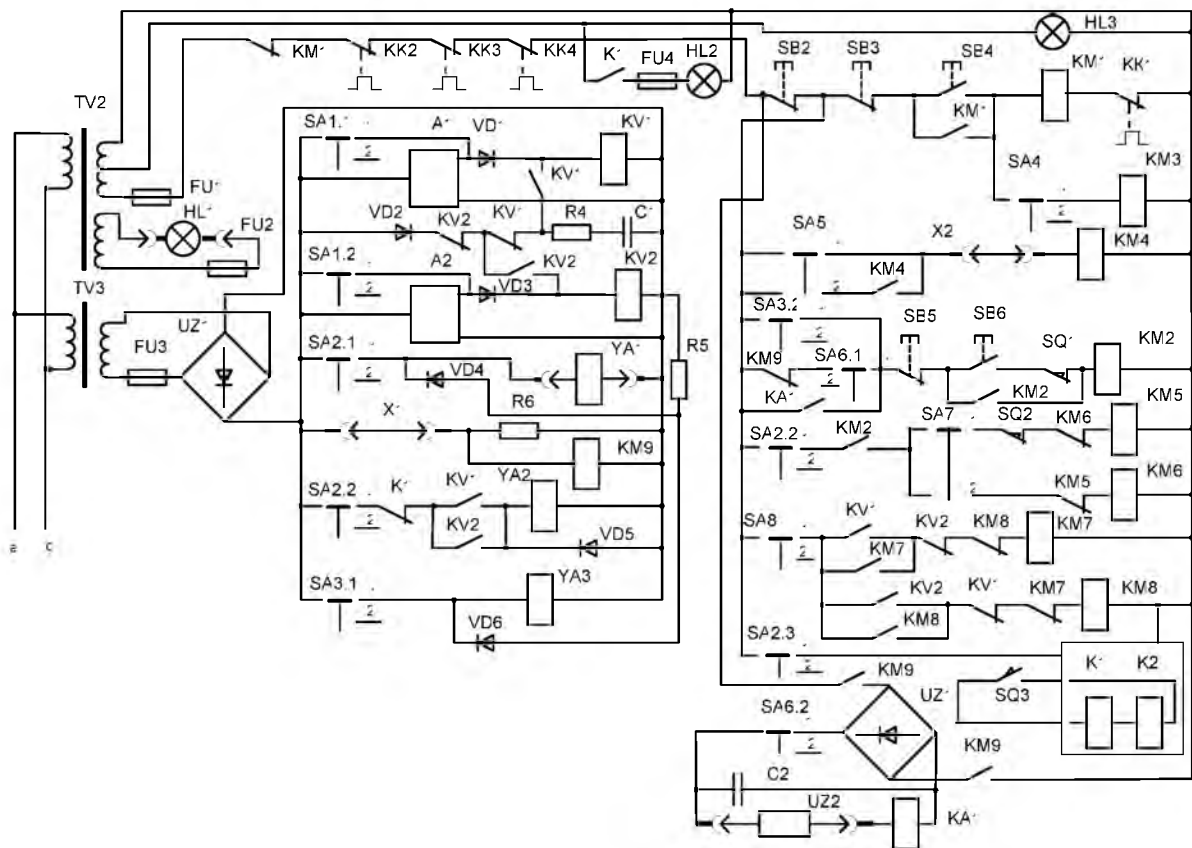


Рисунок 5.45– Схема электрическая принципиальная цепей управления станка 3E711

На станке предусмотрены автоматические поперечная и вертикальная подачи. Поперечная подача суппорта осуществляется бесконтактным, тиристорным, асинхронным приводом - двигатель *M7* и «блок поперечной подачи». Включение поперечной подачи производится переключателем *SA8* в положение «Автоматическая поперечная подача». Первичное задание перемещения производится переключателем *SA1*, автоматическое переключение реверса – с помощью бесконтактных конечных выключателей *A1* и *A2*, управляющих через реле *KV1*, *KV2* магнитными пускателями *KM7* и *KM8*. Автоматическая вертикальная подача производится включением переключателя *SA2* и отработывается при каждом повороте суппорта и включении электромагнита *YA2* контактами *KV1* и *KV2*. Отработка автоматической вертикальной подачи происходит до срабатывания датчика контроля размера изделия *SQ3*. При этом включается реле *K1*, которое своим размыкающим контактом отключает цепь питания *YA2*, па замыкающим контактом включает сигнальную лампу *HL2*. Для гарантированного включения электромагнита *YA2* отключение реле *KV1* и *KV2* после реверса суппорта производится с задержкой за счет разряда конденсатора *C1* через резистор *R4* на катушку соответствующего реле. Для ускоренного перемещения шлифовальной головки переключатель *SA2* должен быть установлен в соответствующее положение, при этом электромагнитная муфта *YA1* включается и подключает к кинематике

привода шлифовальной головки электродвигатель *M6*. Перемещение шлифовальной головки. Перемещение шлифовальной головки вверх или вниз осуществляется с помощью переключателя *SA7*. Для ограничения ускоренного перемещения шлифовальной головки вверх служит конечный выключатель *SQ2*. На станке возможна работа с приспособлением содержащем электродвигатель. Включение производится переключателем *SA5*. Для экономичной работы электропривода необходимо после обработки деталей установить переключатель *SA3* в положение 2, при этом электромагнит *YA3* отключен и стол идет в исходное правое положение. Затем отключить электромагнитную плиту переключателем *SA6*, выгрузить и загрузить деталь, снова продолжить работу. При этом электродвигатель гидропривода *M2* остается в работе, что исключает его частые пуски и остановки.

Электропривод токарных станков. Для получения выгодной скорости резания на токарных станках (рис. 5.46) следует иметь ее изменения в диапазоне от 80:1 до 100:1. При этом желательно иметь плавное ее изменение, чтобы во всех случаях обеспечить наиболее приемлемую скорость резания.



Рисунок 5.46 - Общий вид токарного станка

Диапазоном регулирования называется отношение максимальной угловой скорости (или частоты вращения) к минимальной, а для станков с поступательным движением отношение линейных скоростей максимальной к минимальной.

Для станков токарной группы, в которых главное движение является вращательным, требуется обычно постоянство мощности в большей части диапазона изменения скоростей и только в области малых скоростей — постоянство момента, равного наибольшему допустимому по условию прочности механизма главного движения. Малые частоты вращения предназначаются для специфических видов обработки: нарезания резьбы метчиками, обточки сварных швов и др.

В главных приводах токарных и карусельных станков широкого назначения малых и средних размеров основным типом привода является привод от асинхронного короткозамкнутого двигателя. Асинхронный двигатель конструктивно хорошо сочетается с коробкой скоростей станка, надежен в эксплуатации и не требует специального ухода.

На токарных станках при постоянной частоте вращения шпинделя при изменении диаметра обработки $d_{обр}$ будет изменяться скорость резания, м/мин: $v_z = \pi \times d_{обр} \times n_{шпн}/1000$. Следовательно, частота вращения шпинделя станка определяется двумя факторами - диаметром $d_{обр}$ и скоростью резания v_z . Рациональное использование станка требует изменения частоты вращения шпинделя при изменении технологических факторов.

Для наиболее полного использования режущего инструмента и станка обработка изделий должна производиться при так называемой экономически выгодной (оптимальной) скорости резания, которая при работе станка с соответствующей подачей и глубиной резания должна обеспечить обработку детали с необходимой точностью и чистотой поверхности при минимальных

приведенных удельных затратах на обработку, производительность при этом будет несколько ниже наибольшей возможной. Ступенчатое механическое регулирование угловой скорости на токарных станках, осуществляемое переключением шестерен коробки скоростей, не обеспечивает для разных диаметров обработки наиболее выгодную скорость резания. Следовательно, станок при изменении диаметра обрабатываемой детали не может обеспечить высокую производительность. Кроме того, коробка скоростей представляет собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, стоимость которой возрастает с увеличением числа ступеней.

В токарных станках малых размеров пуск, остановка и изменение направления вращения шпинделя часто производятся с помощью фрикционных муфт. Двигатель при этом остается подключенным к сети и вращается в одном направлении.

Для главного привода некоторых токарных станков применяются многоскоростные асинхронные двигатели. Использование такого привода целесообразно, если оно приводит к упрощению коробки скоростей или когда требуется переключение скорости шпинделя на ходу.

Тяжелые токарные и токарно-карусельные станки, как правило, имеют электромеханическое ступенчато-плавное регулирование скорости главного привода с использованием двигателя постоянного тока.

Сравнительно простая коробка скоростей таких станков дает две - три ступени угловой скорости, а в интервале между двумя ступенями осуществляется в диапазоне (3 - 5) : 1 плавное регулирование угловой скорости двигателя изменением его магнитного потока. Это, в частности, обеспечивает возможность поддерживать постоянство скорости резания при точении торцевых и конусных поверхностей. Плавность регулирования определяется соотношением скоростей на двух соседних участках регулирования. Плавность регулирования в значительной степени влияет на производительность станка, так как оптимальная скорость резания зависит от твердости обрабатываемого материала, свойств материала и геометрии режущего инструмента, а также от характера обработки. На одном и том же станке могут обрабатываться детали разных размеров, из различных материалов и различными инструментами, что является причиной изменения режимов резания.

Особенность электропривода токарно-карусельных станков является большой момент сил трения в начале пуска (до $0,8 M_{ном}$) и значительный момент инерции планшайбы с деталью, превышающий на высоких механических скоростях в 8 - 9 раз момент инерции ротора электродвигателя. Применение в этом случае электропривода постоянного тока обеспечивает плавный пуск с постоянным ускорением.

Бесступенчатое электрическое регулирование скорости (двухзонное) применяют при автоматизации станков со сложным циклом работы, что позволяет легко переналаживать их на любые скорости резания (например, некоторые токарно-револьверные автоматы).

Бесступенчатое электрическое регулирование скорости главного привода используется также для некоторых прецизионных токарных станков. Но

во всех этих случаях диапазон регулирования скорости при постоянстве мощности нагрузки не превышает $(4 - 5) : 1$, в остальной части диапазона регулирование ведется при постоянстве момента нагрузки.

Привод подачи небольших и средних токарных станков чаще всего осуществляется от главного двигателя, что обеспечивает возможность нарезания резьбы. Для регулирования скорости подачи применяются многоступенчатые коробки подач. Переключение ступеней производится вручную или с помощью электромагнитных фрикционных муфт (дистанционно).

Для вспомогательных приводов токарных станков (ускоренное перемещение каретки суппорта, зажима изделия, насоса охлаждающей жидкости и др.) применяются отдельные короткозамкнутые асинхронные двигатели.

На современных токарных, токарно-винторезных и револьверных станках широко применяется автоматизация вспомогательных движений, а также дистанционное управление механизмами станка.

Токарно-винторезные станки имеют практически однотипную компоновку, основными узлами которых являются: **станина**; **передняя** (шпиндельная) **бабка**, в которой размещены **коробка скоростей** и **коробка подач**; **суппорт**, который состоит из резцедержателя, поперечных салазок и фартука; **задняя бабка**.

Станина служит для монтажа всех основных узлов станка и является его основанием. Наиболее ответственной частью станины являются направляющие, по которым перемещаются суппорт и задняя бабка. Передняя бабка закреплена на левом конце станины. В ней находится **коробка скоростей** станка, основной частью которой является шпиндель, вращающийся в подшипниках качения или скольжения. В корпусе передней бабки размещен также механизм коробки скоростей. **Задняя бабка** служит для придания большей жесткости обрабатываемой детали (например, длинного вала малого диаметра), а также для закрепления режущих инструментов для получения и обработки отверстий (сверл, зенкеров, разверток, метчиков, плашек). Относительно направляющей плиты корпус бабки может перемещаться в поперечном направлении с помощью винта. Такое смещение используется при получении конусной поверхности значительной длины и с малым углом при вершине. **Коробка подач** служит для передачи вращения от шпинделя или от отдельного привода ходовому валу или ходовому винту, а также для изменения их частоты вращения с целью получения необходимых подач или определенного шага при нарезании резьбы. Это достигается изменением передаточного отношения коробки подач. Коробка подач связана с коробкой скоростей с помощью гитары сменных зубчатых колес. Второе назначение гитары – получение различного вида резьб (метрической, питчевой, дюймовой) за счет смены зубчатых колес. Фартук предназначен для преобразования вращательного движения ходового вала либо ходового винта в прямолинейное поступательное движение суппорта, как в ручном, так и автоматическом режимах. **Суппорт** служит для закрепления режущего инструмента и сообщения ему движений продольной и поперечной подачи.

В свое время большое распространение получил станок 16К20 (также 16Д20) точности. На базе этого станка (рис. 5.47) созданы специализированные токарные станки различных видов. Станок состоит из следующих основных узлов (рис. 5.48): а - передняя (шпиндельная) бабка; б - суппорт; в - задняя бабка; г - фартук; д - станина; е - коробка подач; 1,4 - рукоятки управления коробкой скоростей; 2 - рукоятка установки нормального либо увеличенного шага резьбы и положения при нарезании многозаходных резьб; 3 - рукоятка установки правых и левых резьб; 5 - маховик ручного продольного перемещения суппорта; 6 - рукоятка ручного поперечного перемещения суппорта; 7 - рукоятка включения, выключения и реверсирования продольной и поперечной подач суппорта; 8, 9 - рукоятки включения, выключения и реверсирования вращения шпинделя; 10 - рукоятки управления коробкой подач и установки шага нарезаемой резьбы; 11 - штурвал ручного перемещения пиноли задней бабки; 12 - осевой режущий инструмент устанавливаемый в пиноль; 13 - резцедержатель; 14 - кран для подачи охлаждающей жидкости в зону резания; 15 - кнопки включения станка и подачи охлаждающей жидкости. Расположение электрооборудования на станке представлено на рисунке (5.48), обозначения соответствуют принципиальной электрической схеме (рис.5.49).

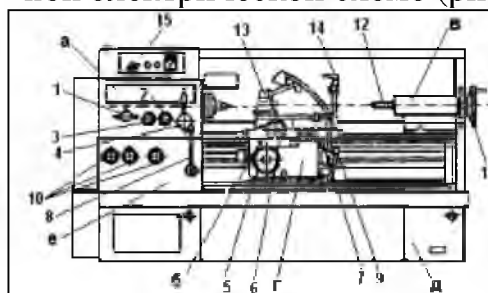


Рисунок 5.47– Вид расположения основных узлов станка 16Д20

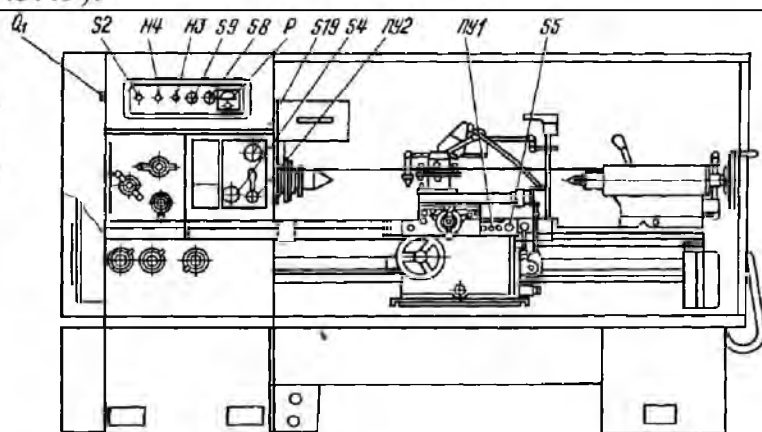
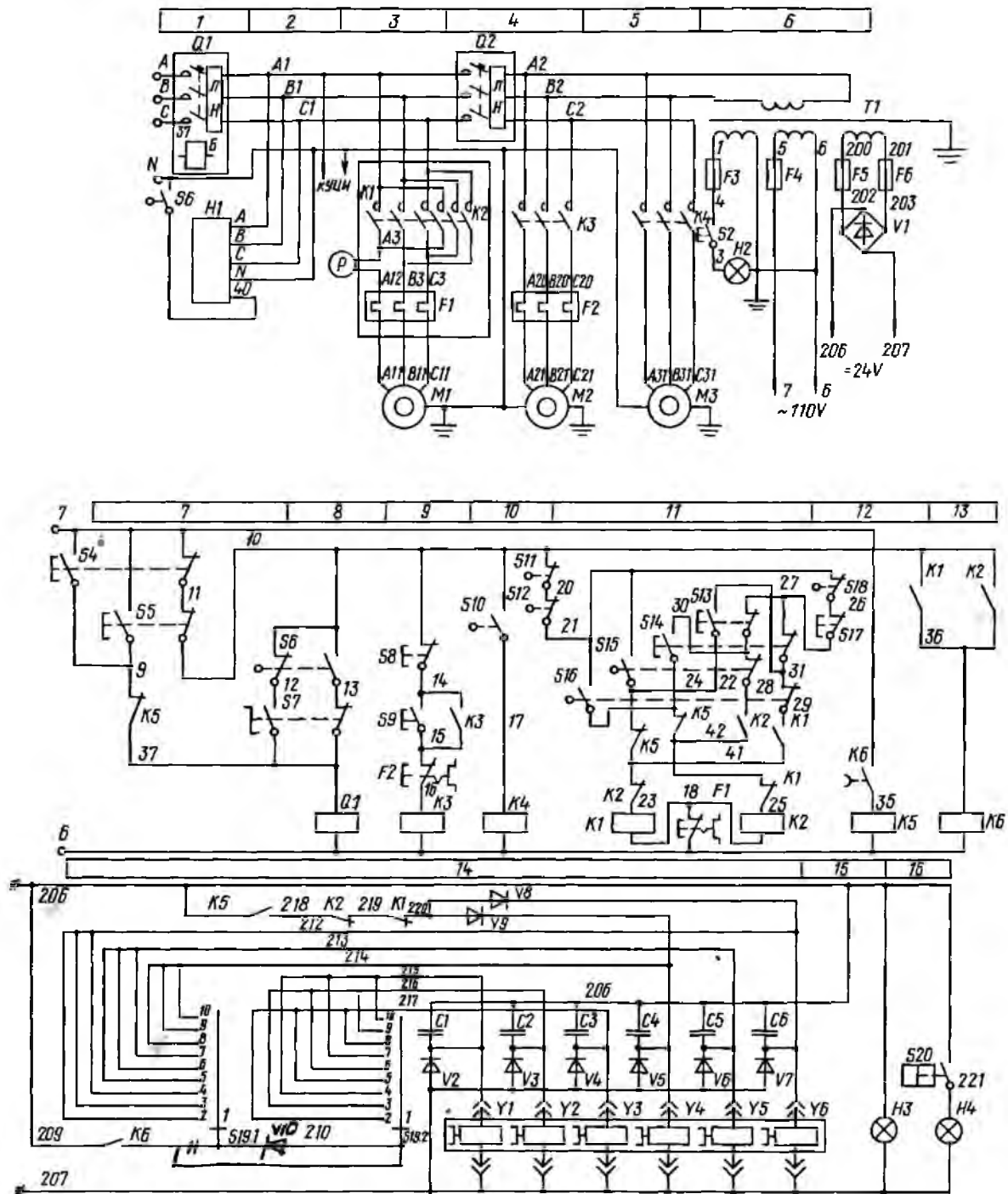


Рисунок 5.48 – Расположение электрооборудования на станке 16Д20

Работа схемы происходит следующим образом. Перед началом работы убеждаются, что дверца шкафа закрыта (деблокирующий выключатель *S7* находится в положении «Дверца закрыта»). Подача напряжения вводным автоматическим выключателем *Q1* возможна только при наличии 3-х фаз питающей сети (контролируется *H1*). Нажатием кнопки *S9* подается напряжение на катушку контактора *K3* и включается электродвигатель *M2* насоса охлаждения. Переключателем *S19* устанавливается необходимая частота вращения шпинделя. Включение вращения шпинделя осуществляется при помощи микровыключателей *S14* и *S16* – по часовой стрелке; *S13* и *S15* – против часовой. Одновременно происходит включение двух электромагнитных муфт выбранной частоты вращения шпинделя. Отключение вращения электродвигателя главного движения осуществляется нажатием на рукоятку управления с выполнением торможения муфтами *Y4*, *Y6* автоматической коробки скоростей. При нажатии на одну из кнопок аварийного останова про-

исходит торможение электродвигателя главного привода с последующим отключением станка от питающей сети (*S5* и *S4*).



1- вводной выключатель; 2 – контроль наличия напряжения; 3 – главный привод; 4 – двигатель охлаждения; 5 – быстрый ход; 6 – питание цепей управления и включение местного освещения; 7 – аварийное отключение; 8 - дистанционный расцепитель; 9 – охлаждение; 10 – ускоренное перемещение; 11 – управление главным приводом; 12 – тормоз; 13, 14 – управление муфтами АКП; 15 – сигнализация наличия напряжения; 16 – сигнализация наличия смазки АКП

Рисунок 5.49– Схема электрическая принципиальная токарно-винторезного станка 16Д20

Токарно-винторезный станок 16К25 предназначен для выполнения разнообразных токарных работ (рис. 5.50): обтачивания и растачивания ци-

линдрических и конических поверхностей, нарезания наружных и внутренних резьб, а также сверления, зенкерования, развертывания, и т.п. Токарно-винторезный станок 16К25 является облегченной версией станка 16К20 с увеличенным диаметром обрабатываемой детали. Диаметр обрабатываемой детали увеличился с 400 мм до 500мм.

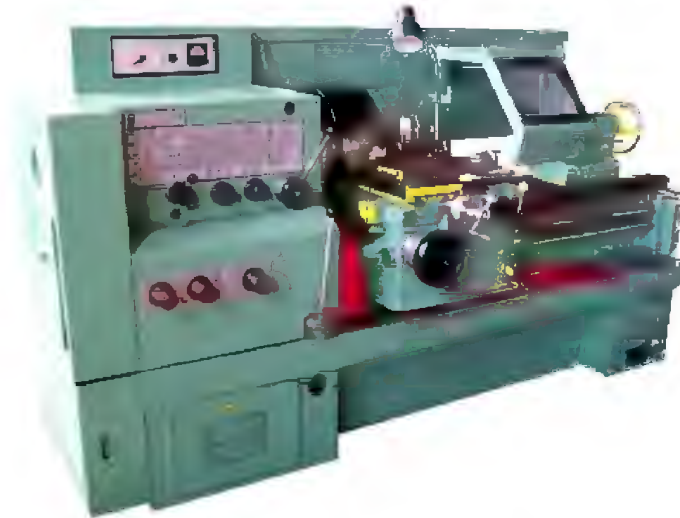


Рисунок- 5.50- Общий вид токарного станка 16К25

микрореле S5. Для осмотра и наладки аппаратуры управления предусмотрено деблокирующее устройство S2. В станках оснащенных гидросуппортом электродвигатель главного привода отключается при разьеме штепсельного устройства X5, подключающего электродвигатель гидростанции.

Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 5.51. Схема не имеет большой сложности управления и большая часть аппаратов направлена на блокировку. Так для контроля закрытия дверцы шкафа управления установлен микрореле S1, который воздействует на катушку дистанционного выключателя F1 вводного автоматического выключателя. При открывания кожуха шестерен срабатывает

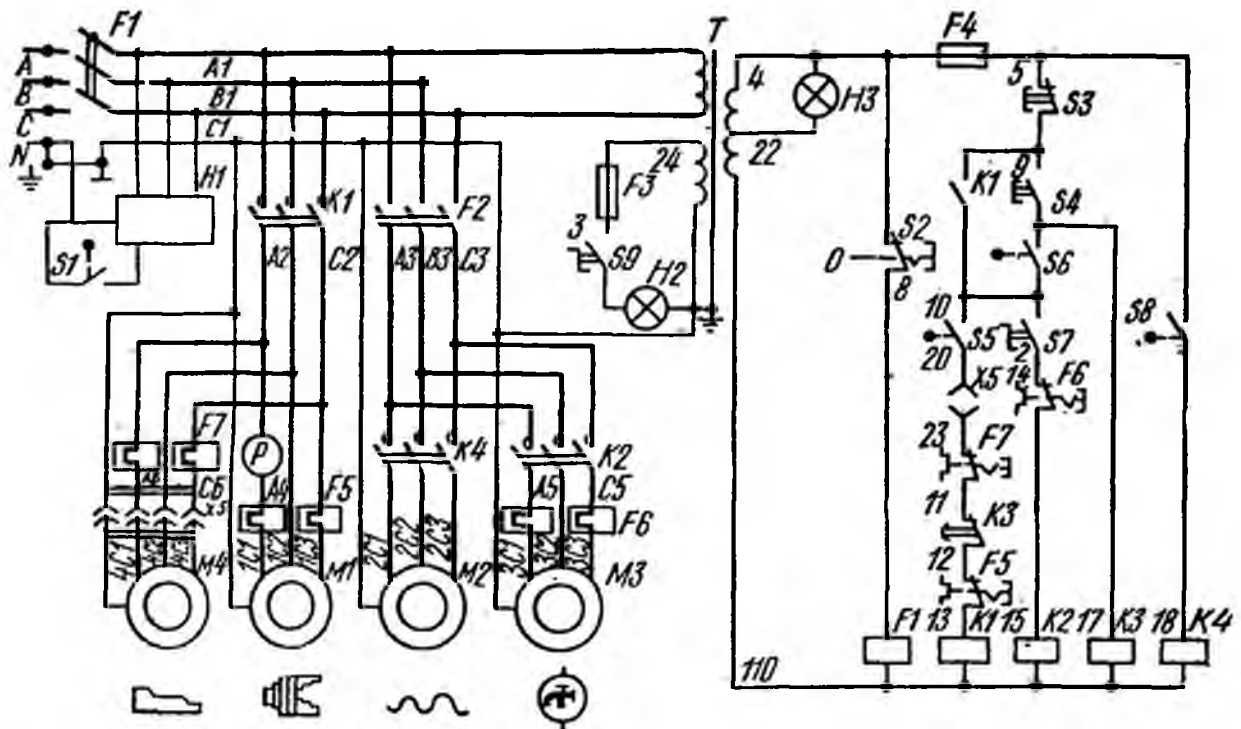


Рисунок 5.51 – Схема электрическая принципиальная токарно-винторезные станка 16К25

Современный электродвигатель для металлорежущих станков представляет собой универсальное электромеханическое устройство, способное решать разнообразные технологические задачи. В электроприводах станков применяют различные типы электрических машин, вид которых представлен на рисунке 5.52.



Рисунок 5.52– Типы электрических машин, применяемых в электроприводах станков

Двигатели постоянного тока используются в прецизионных приводах, требующих плавного регулирования частоты вращения в широком диапазоне. Свойства двигателя постоянного тока, так же как и генераторов, определяются способом возбуждения и схемой включения обмоток возбуждения. По способу возбуждения можно разделить двигатели постоянного тока на двигатели с электромагнитным и магнитоэлектрическим возбуждением. Двигатели постоянного тока с электромагнитным возбуждением обеспечивают регулирование скорости вращения, как при изменении напряжения питания якорной обмотки, так и при изменении тока обмотки возбуждения. Возможность регулирования скорости двигателя с постоянством мощности (2-я зона) дает возможность использования в приводе главного движения. Электрические машины постоянного тока обратимы, то есть, возможна их работа в качестве двигателей или генераторов. Например, если в системе управления с использованием генератора в обратной связи отсоединить генератор от первичного двигателя и подвести напряжение к обмоткам якоря и возбуждения, то якорь начнет вращаться и машина будет работать как двигатель постоянного тока, преобразуя электрическую энергию в механическую. Двигатели независимого возбуждения наиболее полно удовлетворяют основным требованиям к исполнительным двигателям самоторможение двигателя при снятии сигнала управления, широкий диапазон регулирования частоты вращения, линейность механических и регулировочных характеристик, устойчивость работы во всем диапазоне вращения, малая мощность управления, высокое быстродействие, малые габариты и масса.

Асинхронные электродвигатели применяют в основном в приводе главного движения, и они имеют следующие особенности: отсутствие щеточно-коллекторного узла; простая конструкция ротора обеспечивают ряд преимуществ в сравнении с двигателями постоянного тока; регулирование частоты и величины напряжения питающего обмотки статора, обеспечивает получение характеристик аналогичных характеристикам двигателя постоянного тока с электромагнитным возбуждением или жестким характеристикам синхронных машин.

Шаговые двигатели (ШД), используемые во вспомогательных приводах станка, имеют широкий диапазон угловых перемещений за один шаг. Более «грубые моторы» обычно вращаются на 90° за шаг, в то время как прецизионные двигатели могут иметь разрешение $1,8^\circ$ или $0,72^\circ$ на шаг. Если контроллер, подсоединенный к ШД, позволяет, то возможно использование полшагового режима или режима с более мелким дроблением шага (микрошаговый режим), при этом на обмотки подаются дробные значения напряжений, зачастую формируемые при помощи ШИМ - модуляции. Если в процессе управления используется возбуждение только одной обмотки в любой момент времени, то ротор будет поворачиваться на фиксированный угол, который будет удерживаться, пока внешний момент не превысит момента удержания двигателя в точке равновесия.

В отличие от асинхронного двигателя частота вращения синхронного двигателя постоянная при различных нагрузках. Отличие синхронного электродвигателя от асинхронного: в 10 раз меньше момент инерции; в 100 раз больше диапазон частоты вращения; меньше нестабильность вращения; меньше габариты.

На современных станках с ЧПУ значительно усложнились задачи, выполняемые электроприводом главного движения (ЭПГД). Если раньше он выполнял традиционные функции по стабилизации частоты вращения, что накладывало на его динамические характеристики только ограничения на обработке возмущении, то в настоящее время ЭПГД используют в режимах позиционирования инструмента, а также резьбонарезания. Эти режимы требуют согласования перемещений механизмов главного движения и подачи. Различные технологические режимы обработки деталей и свойства применяемого инструмента требуют от ЭПГД большого диапазона регулирования, а также сокращения времени переходных процессов пуска - торможения, слежения частоты вращения при позиционировании и т.д. Кроме того, в станках с ЧПУ динамические характеристики приводов главного движения по управляющему воздействию в значительной степени влияют на производительность. Важным для ЭПГД является поддержание заданного значения частоты вращения, что связано с применяемыми датчиками скорости. В настоящее время наибольшее распространение в зарубежном электроприводе получило бесступенчатое управление частотой вращения с использованием замкнутых систем регулирования без электродвигателей постоянного тока, при этом, для приводов мощностью свыше 5 кВт, как правило, применяют двухзонную схему управления.

Двигатели с высотой оси вращения до 400 мм охватывают диапазоном мощностей от 0,7 до 400 кВт и оснащены тахогенератором (в некоторых случаях датчиком ориентации главного привода), датчиком температурной защиты с установкой на входе охлаждающего воздуха воздушных фильтров. Диапазон регулирования скорости при постоянной мощности - 15:1 (в некоторых типах машин - 18:1) максимальная частота вращения - свыше 5000 мин⁻¹.

Для управления асинхронными двигателями с системой ориентации вала номинальная мощность ЭПГД составляет от 1,5 до 45 кВт. Диапазон регулирования скорости при постоянной мощности 10:1, при постоянном моменте 1:100. Для регулирования скорости стандартных асинхронных двигателей и электромеханизмов типа мотор-шпиндель для ГПМ и шпиндельных бабок используются преобразователи частоты встраиваемых, бескорпусных двигателей, оснащенные бесконтактными датчиками скорости и положения, температурной защитной и принудительной вентиляцией для главных электроприводов станков и гибких производственных модулей (ГПМ) и других видов автоматизированного оборудования. Номинальная мощность при этом должна составлять от 1,5 до 45 кВт. Диапазон регулирования скорости при постоянной мощности не менее **$D = 250$** .

Для электроприводов мощностью от 2 до 200 кВт используются специальные бескорпусные двигатели постоянного тока, оснащенные датчиками скорости положения, температурной защитой и системой принудительной вентиляции.

Применяемые асинхронные электродвигатели имеют встроенный вентилятор, датчик положения, реле тепловой защиты. Транзисторные преобразователи, которые используются в электроприводе, обычно состоят из тиристорного реверсивного выпрямителя, транзисторного инвертора и схемы управления, в которой используется микропроцессоры.

Имеются следующие виды защиты в аварийных режимах: перегрев электродвигателя (с помощью встроенных датчиков температуры), недопустимая погрешность скорости, пропадание фазы питающей сети, превышение максимальной скорости, неисправность выпрямителя, неисправность инвертора, перегрев преобразователя, выход из строя датчиков обратных связей, снижение качества электроэнергии, сбой программы обработки детали и т.д.

Дополнительно могут встраиваться датчики ориентации шпинделя двух типов: оптические, индуктивные. В качестве датчиков обратной связи в автоматизированном электроприводе широко применяются двух- и многополюсные резольверы (один этот датчик дает всю информацию), встроенные в электродвигатели, а также устанавливаемые на ходовых винтах. В станках высокой точности используются оптические, электронно-импульсные и другие высокоточные датчики, устанавливаемые на выходном звене.

Раньше в механизмах подачи, в основном, использовались высокомоментные электродвигатели постоянного тока с транзисторными широтно-импульсными преобразователями. Особенностью современных высокомоментных электродвигателей является понижение момента инерции в 1,5-2

раза и высокая степень защиты от внешней среды. Основным недостатком этих электродвигателей - наличие коллектора, который усложняет конструкцию электродвигателя, снижает его надежность и требует дополнительного обслуживания. При использовании стандартных асинхронных электродвигателей в электроприводе механизмов подачи необходима их принудительная вентиляция. Асинхронный электродвигатель, обеспечивающий высокие динамические характеристики, требует применения датчика положения ротора высокой разрешающей способностью и преобразователя для регулирования частоты вращения. Электроприводы механизмов подачи, согласно техническим требованиям, должны обеспечивать: широкий диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя, высокую стабильность выходных характеристик, стабильность частоты вращения, высокое быстродействие при переходных процессах разгона и торможения, высокое быстродействие при «набросе» и «сбросе» нагрузки и при реверсе под нагрузкой на малых частотах вращения, высокую равномерность движения при различной нагрузке на всех частотах вращения и т.д.

В электроприводах механизмов подачи станков с ЧПУ и промышленных роботов широко применяются следящие вентильные электроприводы на базе серийных широкорегулируемых преобразователей частоты, которые удовлетворяют требованиям к приводам механизмов подачи современных станков с ЧПУ и промышленных роботов. Многие электроприводы снабжены специальными устройствами, повышающими их динамические характеристики в области малых частот вращения (менее $0,1 \text{ мин}^{-1}$) в результате увеличения коэффициента усиления регулятора частоты вращения и изменения постоянной времени.

Применение транзисторных преобразователей с использованием силовых модулей, микросхем средней и высокой степени интеграции и термостабилизированных элементов позволило создать многоосевые (свыше 8) малогабаритные конструкции электроприводов с высокими энергетическими, динамическими (полоса пропускания до 800 Гц) и статическими характеристиками (диапазон регулирования скорости до $1:30000$). Для большинства роботов, дыропробивных прессов, станков для сверления печатных плат и др. быстродействующих механизмов широко используются специальные быстродействующие электродвигатели.

Выпускаются серии дисковые двигатели с номинальным моментом от 0,034 Н·м до 45 Н·м и с номинальной частотой вращения от 2000 до 6000 об/мин закрытого исполнения и принудительной вентиляцией.

Используют в электроприводе и вентильные электродвигатели. Они имеют наиболее технологичную конструкцию - без стальных полюсных наконечников на роторе, с естественным охлаждением. Возбуждение вентильных электродвигателей осуществляется от ферритовых или редкоземельных магнитов (самарий, кобальт).

Вентильные электродвигатели применяемые в механизмах подачи станка характеризуются: отсутствием ограничений по коммутации перегрузочной способности; постоянным моментом ускорения, определяемым с основной

механической прочностью; малым моментом инерции и высоким быстродействием (ускорение до 36000 рад/с^2 полоса пропускания до 200 Гц); отсутствием потерь в роторе; широким диапазоном регулирования и равномерностью вращения; практически не требуют обслуживания ввиду отсутствия щеточно-коллекторного узла; имеют малый вес и габариты; пылевлагозащитную защиту электродвигателя от внешней среды. Они характеризуются широким диапазоном регулирования скорости. Модульная конструкция преобразователя является наиболее оптимальной, при этом преобразователь состоит из модуля питания для всех координат и отдельных осевых коммутаторов с системой управления.

В последнее время широкое распространение получили станки на основе 3d структуры. Это гравировально - фрезерные станки. В этих станках используются шаговые двигатели, имеющие мощные магниты, для перемещения привода главного движения по заданным координатам. Такой станок может обрабатывать сложнопрофильные детали.

Основными тенденциями развития в области станкостроения являются: увеличение точности и производительности станков, совмещение токарных и фрезерных операций на одном станке, увеличение числа рабочих координат, повышение скоростей быстрых перемещений и рабочих подач, уменьшение редукции в кинематических передачах и переход к прямому приводу от двигателя к рабочему органу, использование высокопроизводительных цифровых систем числового управления с возможностью пятикоординатной обработки, внедрение технологии высокоскоростной обработки. Современный станочный электропривод рационально строить на базе асинхронного двигателя. Обработку и передачу всех сигналов, в том числе и сигнала задания, необходимо производить в цифровой форме. Управление магнитным потоком двигателя в зависимости от величины задания на скорость следует не только в приводах главного движения, но и в приводах подачи.

Сегодня в эксплуатации электрооборудования агропромышленного комплекса остались еще старые, чаще всего однооперационные станки, которые продолжают работать и их стараются сохранить в этом состоянии. Однако при повышении требований к точности обрабатываемых деталей в ремонтных мастерских появляются современные станки, как с простым, так и со сложным автоматизированным электроприводом. Для успешной эксплуатации этих станков необходимо знать основные принципы регулирования режимов электропривода, принципы автоматизации, основные технические характеристики оборудования. При работе этого сложного оборудования нужно следить за качеством электроэнергии и условиями внешней среды. Настройка электропривода таких станков производится обычно высококвалифицированным персоналом.

5.3. Особенности технологических характеристик деревообрабатывающих станков, схемы автоматизации

Деревообрабатывающие станки могут использоваться для обработки крупногабаритного сырья, для получения деревянных заготовок, для производства мебельной продукции, окон, дверей и т.д. Суммарное усилие резанию, приведенное к площади поперечного сечения стружки, нормального к направлению пути резания в каждой точке траектории лезвия резца, называют удельным сопротивлением резанию $k_{y\partial}$ (Н/мм²). Работа, затрачиваемая на превращение 1 мм³ древесины в стружку, называется удельной работой резания (Нм/мм³) и численно равна удельному сопротивлению $k_{y\partial}$. Мощность резания можно определить по секунднему объему снятой древесины и удельному сопротивлению:

$$P_{рез} = k_{y\partial} \cdot b \cdot h \cdot u \quad (5.53)$$

Также можно определить силу резания:

$$F_{рез} = \frac{k_{y\partial} \cdot b \cdot h \cdot u}{v} \quad (5.54)$$

где b - ширина стружки, мм; h - толщина стружки, мм; u - скорость подачи, м/с; v - скорость резания, м/с.

Скорость резания в круглопильных станках 40...100 м/с. Эта скорость связана с окружной скоростью режущих кромок пилы соотношением:

$$v = R \cdot \omega \quad (5.55)$$

где R - радиус пилы, м; ω - угловая скорость пилы, с⁻¹.

Скорость подачи зависит от допустимой подачи древесины на один зуб пилы:

$$u = \frac{u_z \cdot z \cdot \omega}{2\pi 1000} \quad (5.56)$$

где u_z - подача древесины на один зуб пилы, при продольной распиловки хвойных пород - 0,8...1 мм; z - число зубьев пилы.

Скорость ручной и механической подачи для продольного раскроя составляет соответственно 0,17...0,6 м/с и 0,8...1,7 м/с, для поперечного - 0,1...0,3 м/с и 0,12...0,4 м/с.

Общее усилие подачи складывается из нескольких составляющих (рис. 5.32): $F_n = F_{рез} \cos \varphi + F_0 \sin \varphi + (m_n g + F_{рез} \sin \varphi - F_0 \cos \varphi) f_{тр}$, 5.57)

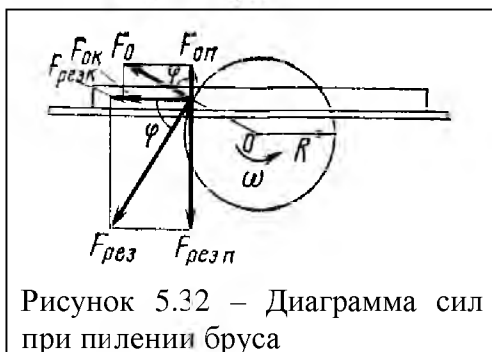


Рисунок 5.32 - Диаграмма сил при пилении бруса

где F_0 - усилие отжима, зависящее от степени затупления пилы, формы зуба и толщины стружки, Н, $(0,2...0,8)F_{рез}$; m_n - масса подаваемого материала, кг; $f_{тр}$ - коэффициент трения древесины по столу, 0,35...0,4 для сосны и дуба.

Мощность необходимая на подачу составит:

$$P_n = F_n \cdot u . \quad (5.58)$$

Мощность приводного электродвигателя определится по формуле:

$$P_{дв} = \frac{P_{рез} + P_n}{\eta_{пер}} , \quad (5.59)$$

где $\eta_{пер}$ - кпд передачи.

Режим работы электропривода будет зависеть от подачи: если брус подается без перерыва, то режим работы длительный; в противном случае - перемежающийся или повторно-кратковременный.

На строгальных станках древесину обрабатывают вращающимися ножевыми головками фрезами. Среднее касательное усилие резания можно определить по формуле:

$$F_{рез} = \frac{f_{уд} \cdot b \cdot h \cdot u}{v} , \quad (5.60)$$

где $f_{уд}$ - удельное сопротивление резанию, 10...46 Н/мм²; b, h – соответственно ширина и высота снимаемого слоя древесины, мм; u – скорость подачи, 0,2...0,3 мм на один нож; v – скорость резания, м/с.

Соответственно можно определить и мощность резания:

$$P_{рез} = F_{рез} \cdot v . \quad (5.61)$$

Мощность электродвигателя уже определяется с учетом кпд передач.

Для раскроя пиловочных бревен на доски и брусья могут быть применены **лесопильные рамы**, ленточно-пильные станки (рис.5.33) либо круглопильные станки.



Рисунок 5.33 -Внешний вид лесопильной рамы и ленточно-пильного станка

Имеется много разновидностей лесопильных рам: вертикальные и горизонтальные, одноэтажные и двухэтажные, одношатунные и двухшатунные, стационарные и передвижные, большой мощности и малой мощности, быстрходные и тихоходные, обычные и специальные. Лесопильная рама состоит из станины, механизма резания, механизма подачи, органов управления, смазочных приборов и оградительных устройств. Механизм резания состоит из коленчатого вала, шатуна, пильной рамки, в которую устанавливаются пилы в соответствии с рассчитанными поставами. Сама пильная рамка состоит из вертикальных стоек, выполненных в виде пустотелых стальных труб и прочных стальных поперечин. Каждая рамка имеет четыре ползуна, которые делаются из текстолита. В рассматриваемых рамах ползуны насажены на шарниры, чтобы пильная рамка могла изменять наклон даже во время движения. На станине установлен механизм, обеспечивающий подачу бревна. Рама имеет, ворота, открывающиеся независимо друг от друга - верхние и нижние. Направляющее устройство для бревен, выполненное в виде двух стальных пластин, служит для правильного базирования бревен во время распиловки; пластины входят в пропилы по бокам бруса. Принципиальная схема лесопильной рамы показана на рисунке 5.34.

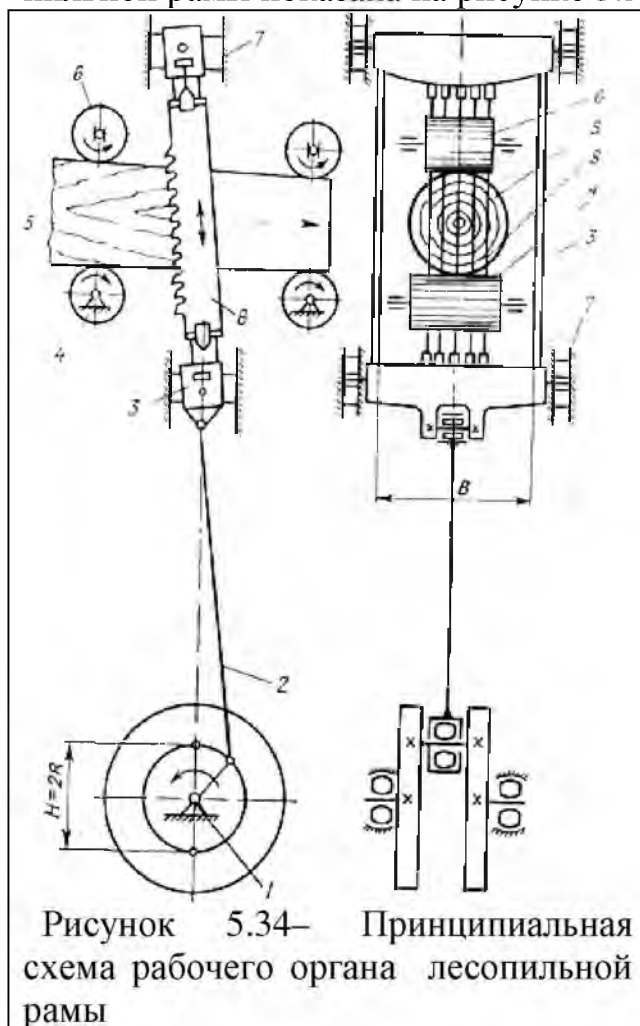


Рисунок 5.34— Принципиальная схема рабочего органа лесопильной рамы

Под действием кривошипно-шатунного механизма 2 с главным валом 1 пильная рамка 3, в которой натянуты пилы 8, совершает возвратно-поступательное движение в направляющих 7. Поскольку рамка установлена с некоторым наклоном, то при движении вниз пилы врезаются в древесину, а при движении вверх зубья отводятся от дна пропила. Распиливаемое бревно 5 надвигается на пилы с помощью нижних 4 и верхних 6 валцов. Нижние валцы не меняют своего положения, а верхние являются «плавающими», высота их меняется в зависимости от изменения диаметра распиливаемого бревна или толщины бруса.

Лесопильные рамы характеризуются несколькими основными параметрами. Это прежде всего просвет пильной рамки. Просветом называется внутреннее расстояние

В между вертикальными стойками пильной рамки. Просвет определяет наибольший диаметр бревен, которые можно распиливать на раме.

Зависимость между величиной просвета рамы и наибольшим диаметром распиливаемого бревна имеет следующий вид:

$$B = d + S \cdot l + 2k_3, \quad (5.62)$$

где d – верхний диаметр наиболее толстого бревна, которое можно пропустить через данную раму, см; S – величина сбega, которую можно принимать равной 1 см на каждый метр длины бревна; l – длина бревна, м; k_3 – запасное расстояние между стойками и комлем бревна, см, обычно принимается равным 5 см.

По ширине просвета лесопильные рамы подразделяются на широкопросветные ($B = 80$ см и более), среднепросветные ($B = 60 \dots 75$ см) и узкопросветные ($B = 55$ см и менее).

Второй конструктивной и технологической характеристикой лесопильной рамы является ход пильной рамки, или полная высота H , на которую рамка опускается за половину оборота кривошипного механизма:

$$H = 2 \cdot R, \quad (5.63)$$

где R – радиус кривошипа (рис.5.34).

От хода рамки зависят условия работы зубьев пил, в том числе возможность выноса опилок, а также производительность рам, так как при одной и той же подаче на зуб производительность рамы прямо пропорциональна величине хода. В этом состоит технологическое значение хода пильной рамки. Конструктивное значение хода заключается, в частности, в том, что от него зависит выбор длины пил L :

$$L = H + d + S \cdot l + k_{3,2}, \quad (5.64)$$

где $k_{3,2}$ – коэффициент запаса, 0,2 ... 0,35 м.

В зависимости от класса выпускаемых промышленностью лесопильных рам и их назначения пильные рамки имеют ход от 220 до 700 мм.

Быстроходность лесопильной рамы характеризуется скоростью вращения главного вала. За время одного оборота вала пильная рамка совершает рабочий ход вниз и холостой ход вверх – один двойной ход. От числа оборотов n , так же как и от величины хода пильной рамки H , зависит производительность лесопильных рам. Наиболее распространены лесопильные рамы со скоростью вращения вала 290 ... 360 об/мин.

Подача или расстояние на которое бревно или брус надвигается на пилы за один оборот главного вала, может быть непрерывной, однотоичковой и двухтолчковой. При непрерывной подаче бревно продвигается в раму непрерывно во время холостого и рабочего хода пильной рамки; при однотоичковой подаче – только за рабочий или только за холостой ход; при двухтолчковой один толчок происходит за рабочий, другой – за холостой ход пильной рамки. Подачу применительно к лесопильным рамам называют обычно посылкой.

Сменная производительность лесопильной рамы вычисляется по формуле:

$$Q_{см} = \frac{u \cdot n \cdot T \cdot k_{исп} \cdot k_{см} \cdot V_{б}}{1000 \cdot L_{б}}, \quad (5.65)$$

где u - фактическая подача, мм; n – частота вращения вала, об/мин; T – продолжительность смены, мин; $k_{исп}$ – коэффициент использования оборудования (0,75-0,85); $k_{см}$ – коэффициент использования сменного времени (0,75-0,8); $V_{б}$ – средний объем бревна, м³; $L_{б}$ – длина бревна, м.

Процесс распиловки бревен на лесопильной раме протекает следующим образом (рис.5.35). Включенная рама работает сначала в холостую. Затем вершинную часть бревна укладывают на нижний валец (рябуху), опускают верхние вальцы и зажимают бревно.



Рисунок 5.35– Процесс пиления на лесопильной раме

После включения подачи бревно проходит через пилы и зажимается второй парой вальцов. Подачу устанавливают в зависимости от диаметра бревна, ее можно регулировать и в процессе распиловки. Тележку отсоединяют от бревна еще до окончания его распиловки, с таким расчетом, чтобы к моменту, когда предыдущее бревно будет распилено, к пилам было подано следующее. Работа в лесопильных цехах строится по принципу точности, поэтому же принципу устанавливается оборудование. Бревна в цех подают транспортером и укладывают на площадку, создавая необходимый запас. Затем бревна по-

ступают в раму. Полученные после распиловки доски по роликовому столу направляют к обрезающему станку. Часть досок, требующая оторцовку, поступает к торцовочному станку. Готовые доски на вагонетках поступают к местам складирования. Горбыли рейки и опилки транспортируют в цехи переработки отходов.

Кинематические схемы. Кинематическая схема двухэтажной лесопильной рамы приведена на рисунке 5.36. Механизм резания включает в себя электродвигатель мощностью 100 кВт, клиноременную передачу, главный коренной вал, кривошипно-шатунный механизм и пильную рамку с пилами. Механизм подачи состоит из электродвигателя мощностью 4,5 кВт, электромагнитной муфты скольжения ПМС-3, клиноременной передачи, цилиндрического редуктора, открытой зубчатой передачи и цепной передачи для верхних вальцов. Механизм уклона пильной рамки состоит из электродвигателя мощностью 0,6 кВт, червячного редуктора и зубчатой передачи.

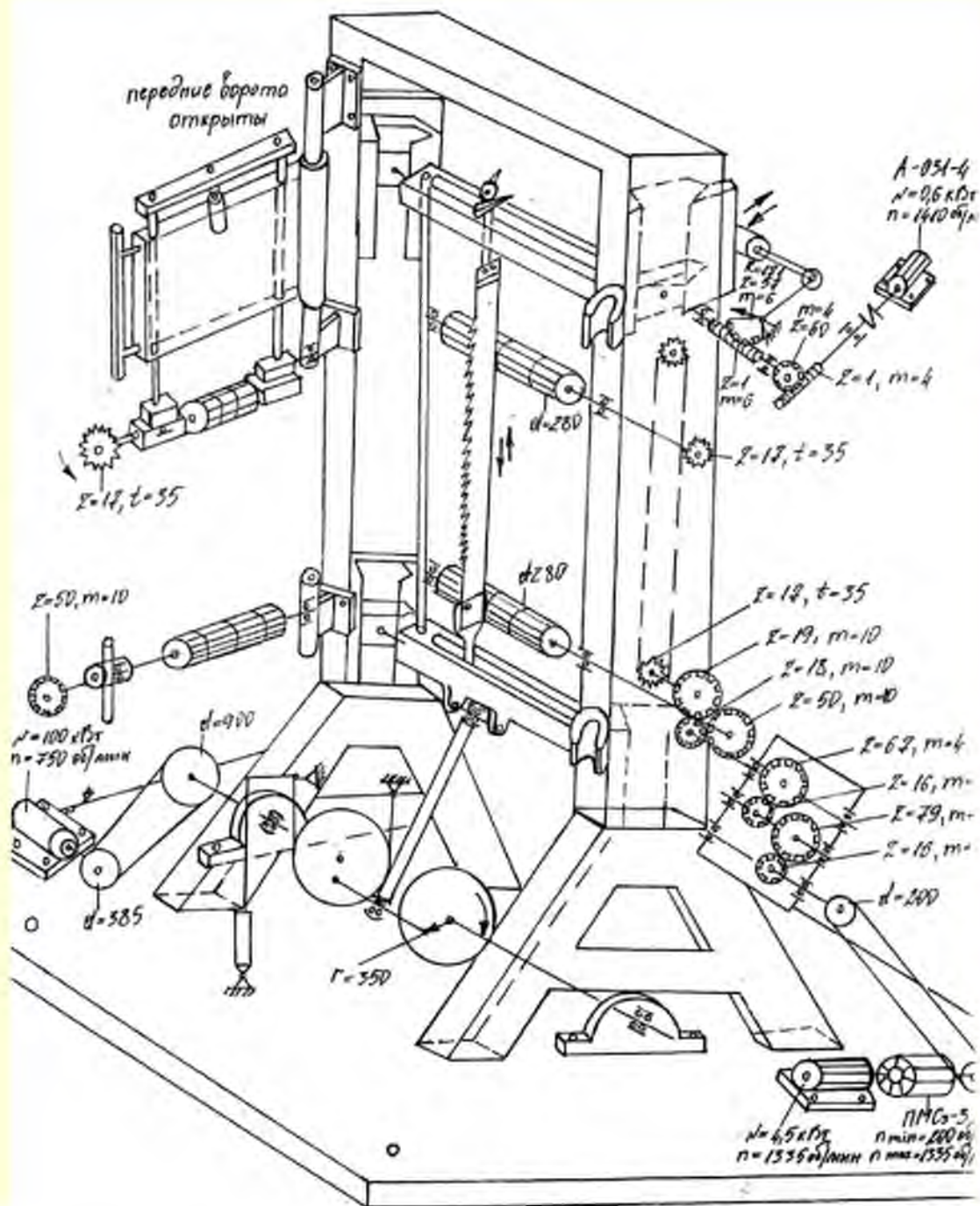


Рисунок 5.36 - Кинематическая схема двухэтажной лесопильной рамы модели 2P80-1.

Механические характеристики лесопильных рам. Как было уже показано, кинематическая схема пилорамы содержит узлы, совершающие возвратно-поступательные движения. Момент статических сопротивлений состоит из следующих слагаемых:

$$M_c = M_{cx} + M_{рез} + M_{под}, \quad (5.66)$$

где M_{cx} - момент сопротивления холостого хода; $M_{рез}$ - момент сопротивления резанию материала; $M_{под}$ - момент сопротивления механизмов подачи (при наличии отбора мощности от основного электродвигателя).

Момент сопротивления холостого хода зависит от угла поворота кривошипного вала:

$$M_{cx} = M_{mp} - M_{x \max} \sin \alpha, \quad (5.67)$$

где M_{mp} – момент сопротивления от сил трения в подшипниках и других подвижных частях машины, Н·м; $M_{x \max} = 9.81 m_p \cdot R$ – максимальный момент сопротивления от веса пильной рамки, Н·м; $\alpha = \omega_{kp} \cdot t$ – угол, отсчитываемый от в. м. т.; ω_{kp} – угловая скорость кривошипа, с⁻¹; t – время, с.

Механическая характеристика холостого хода пилорамы по среднему моменту имеет линейно – возрастающий вид. Для рам на шариковых подшипниках:

$$M_{mp} = 0.02 m \cdot R \cdot \omega_{kp}, \quad (5.68)$$

где m – масса движущихся частей.

Момент трогания пилорамы зависит от угла поворота кривошипа. У вертикальных рам приводной вал в большинстве случаев останавливается в нижней мертвой точке, для которой момент трогания относительно невелик. Чаще всего пилорамы выпускаются с ручным тормозом кривошипного вала для остановки пильной рамки в верхней мертвой точке, что значительно облегчает последующий пуск.

Момент резания материала, появляющийся при ходе пильной рамки сверху вниз, зависит от угла поворота:

$$M_{рез} = M_{рез \max} \left(\sin \alpha + \frac{R}{2L} \cdot \sin 2\alpha \right), \quad (5.69)$$

где

$$M_{рез \max} = \frac{k_{y0} \cdot b \Sigma h \cdot \Delta R}{H}, \quad (5.70)$$

b – ширина пропила, мм; $\Sigma h = 0.75 D_{cp} \cdot z$ – сумма высот пропилов по середине бревна, 0.75 – коэффициент использования формы бревна, мм; z – число пил в поставе, $\Delta = \frac{\theta \cdot H}{\sigma \cdot l} \cdot t_3$ – подача, м; θ – коэффициент площади впадины, представляющий собой отношение площади впадины к квадрату шага зубца; σ – коэффициент разрыхления древесины (при распиловке хвойных пород 0.4...0.7; твердых пород 0.8...1.5), l – длина бревна, м; $t_3 = \sqrt{\frac{\sigma}{\theta} \cdot E \cdot s \cdot h}$ – шаг зубцов пилы, м; E – коэффициент прочности зуба (для мягких пород 0.3...0.4, для твердых пород 0.2...0.3); S – толщина пилы.

Удельное сопротивление k_{y0} пиленю зависит от породы дерева, подачи, средней высоты пропила (например для сосны - 52...97 н/мм²).

Момент сопротивления механизмов подачи :

$$M_{под} = \frac{F_n \cdot u_n}{\omega_{кп} \cdot \eta_{под}}, \quad (5.71)$$

где F_n - усилие подачи бревна (принимается равным усилию пилению); u_n - скорость подачи, м/с.

$\eta_{под}$ – КПД механизма подачи;

Суммарный средний момент статических сопротивлений:

$$M_{ср} = M_{тр} + \frac{1}{\pi} M_{ре;max} + M_{под}. \quad (5.72)$$

Выбор мощности приводного электродвигателя и его нагрузочные диаграммы. Средняя мощность на привод пилорамы:

$$P_{ср} = \frac{M_{ср} \cdot \omega_{кр}}{\eta_{п}}. \quad (5.73)$$

На реальную нагрузочную диаграмму двигателя дополнительно влияют переменная скорость, упругость и скольжение ременной передачи, переходные процессы в двигателе. Токковая нагрузочная диаграмма основного двигателя пилорамы близка к косинусоидально-прямоугольной с коэффициентом формы равным 1,2 (рис. 5.37).



Рисунок 5.37– Токковая нагрузочная диаграмма электропривода пилорамы ЛР-64

Мощность электродвигателя выбирают с учётом коэффициента формы:

$$P_{дв} = 1,2 P_{ср}. \quad (5.74)$$

Пусковой момент электродвигателя должен удовлетворять одному из условий: при пуске из верхней мертвой точки:

$$(u_{дон})^2 M_n \geq 1,25 M_{ср}; \quad (5.75)$$

При пуске из нижней мертвой точки:

$$(u_{дон})^2 M_n \geq 1,25 M_{срmax} = 1,25(M_{тр} + 9,81 m_p R), \quad (5.76)$$

где $u_{дон}$ допустимое снижение напряжения в относительных единицах.

Лесопильные рамы моделей GDZ фирмы EWD (Германия) (рис.5.38) имеют высокую степень автоматизации.

Ассиметричное возвратное - поступательное движение пильной рамки фирмы EWD обеспечивает равномерное пиление каждым зубом пилы. По желанию заказчика лесопильная рама изготавливается с автоматической регулировкой постава по ширине распила. Для этого производится набор рамных пил в два блока, с возможностью применения пилы центрального распила. В данном случае при изменении диаметра пиловочника и сохранении толщины боковых досок в производственном процессе не требуется останов рамы для установки нового постава рамных пил. При настройке рамных пил на новый размер расклинивающие ножи автоматически открываются для пропуска предшествующего бревна. Затем они самостоятельно настраивают-

ся на новые параметры распиловки. При работе на лесопильной раме фирмы EWD оператор регулирует рабочий режим с пульта дистанционного управления, расположенного впереди рамы. Лесопильные рамы данной фирмы отличаются высокой износостойкостью. Конструкция основных элементов рам выполняется с использованием испытанной литейной технологии, что гарантирует в дальнейшем надежность работы всех узлов оборудования. Тяжелые маховики в механизме резания уравнивают движущиеся массы пильной рамки и обеспечивают мало вибрационный ход станка. Мощный шатун, изготовленный, из специальной стали, вращается в роликоподшипниках самоустанавливающихся, которые рассчитаны практически на неограниченный срок работы. Легкий доступ к лесопильной раме со всех сторон и особая простота обслуживания являются результатом хорошо продуманной конструкции. Лесопильные рамы оснащены механизмами удержания горбылей в конце пропила. В конструкции рамы предусмотрены направляющие аппараты для отделения бруса от необрезных досок, которые представлены на рисунке 5.39.



Рисунок 5.38 - Лесопильная рама модели GDZ GE71 и система подачи бревна



Рисунок 5.39 - Механизма удержания горбылей и направляющий аппарат для двухкантного бруса.

Вертикальные лесопильные рамы фирмы LINCK (Германия) (рис. 5.40) имеют следующие отличительные особенности: загрузка бревен с помощью дистанционно зажимной рамной тележки; верхние вальцы поднимаются и опускаются с помощью гидропривода; индикация скорости подачи по циферблату; скорость подачи плавно регулируется в пределах до 20м/мин; автоматическая регулировка наклона пильной рамки; гидравлическая установка рамных пил в поставе ; распиловка с двухэтажной лазерной настройкой (рис. 5.41).



Рисунок 5.40 - Вертикальные лесопильные рамы и схема распиловки бревен в развал



Рисунок 5.41 - Схема распиловки бревен на лесопильной раме с лазерной настройкой.

Деревообрабатывающие станки, применяемые на предприятиях, классифицируются по следующим основным признакам. По **назначению**: станки **общего назначения**, станки для **специальных производств** и **универсальные**. К станкам общего назначения относятся станки для раскря досок, брусьев, щитов, плит; фрезерования по плоскости и профилю; образования шипов и проушин; сверления отверстий; образования пазов и гнезд; окончательной механической обработки и др. К станкам для специальных произ-

водств относится оборудование, предназначенное для изготовления оконных и дверных блоков, клееных конструкций и др.

Специализированные станки предназначены для выполнения операций или для обработки деталей, размеры которых могут изменяться настройкой (станки для продольной обработки и облицовывания кромок щитовых деталей). Специальные станки служат для обработки только вполне определенной детали (копировально-фрезерный станок для обработки задней ножки столярного стула). Специальные станки, как правило, не имеют устройств для переналадки на другие изделия. Они бывают одно- и многооперационные и находят применение в производстве конструктивно устойчивых изделий — спортивного инвентаря, карандашей, спичек. На универсальных станках выполняют различные работы, например раскрой пиломатериалов по длине и ширине, фрезерование, сверление и др.

По характеру относительного перемещения обрабатываемой заготовки и режущего инструмента станки подразделяются: станки **цикловые** и **проходные**. В цикловых станках заготовка или инструмент перемещаются периодически. У проходных станков заготовки непрерывным потоком подаются на режущий инструмент, поэтому такие станки более производительны, чем цикловые.

По степени механизации и автоматизации классифицируются на **полумеханизированные, механизированные, полуавтоматические и автоматические станки**. У полумеханизированных станков механизирован процесс обработки, но подача ручная. Полностью механизированных станков механизированы процессы обработки, но отсутствует автоматизация. В полуавтоматических станках автоматизирована часть главных операций, а в автоматических — все операции.

В зависимости от количества рабочих шпинделей деревообрабатывающие станки бывают: одно- и многошпиндельные, количества операций — одно- и многооперационные; от количества обрабатываемых сторон — одно-, двух- и четырехсторонние.

По технологическому признаку выполняемых работ станки могут быть следующие: работающие **с образованием стружки** и **без стружкообразования**. К станкам, работающим с образованием стружки, относятся: пильные (круглопильные, ленточнопильные, лобзиковые), фрезерующие (фуговальные, рейсмусовые, фрезерные, шипорезные), сверлильные, долбежные, токарные, в том числе кругло-палочные и копировальные, шлифовальные. Из станков, работающих без стружкообразования, на мебельных предприятиях применяют, например, ножницы для резки шпона.

По типу режущего инструмента и технологическому назначению классификация следующая: **ленточнопильные, круглопильные, продольно-фрезерные, фрезерные, шипорезные, сверлильные, сверлильно-фрезерные (пазовальные), долбежные, токарные и шлифовальные**.

При обработке на станках происходит взаимодействие между обрабатываемой заготовкой и рабочим органом станка. Рабочие органы делятся на: главные и вспомогательные. Главные (обрабатывающие) органы выполняют

подачу и обработку (резание) заготовок. К ним относятся: механизмы резания, (например шпиндели), несущие режущие инструменты и механизмы подачи (вальцы, конвейеры, цепи). Вспомогательные рабочие органы выполняют операции: базирования (плиты, направляющие линейки), настройку, загрузочно-разгрузочные операции (бункеры, магазины), операции контроля.

Кроме рабочих органов станки имеют двигательные и передаточные механизмы, опорные элементы. Двигательные (приводные) механизмы осуществляют движения резания и подачи. К ним относятся: электрические, гидравлические и пневматические приводы. Передаточные механизмы служат для передачи движения от приводного механизма. К ним относятся: различные виды передач (зубчатая, ременная, цепная), редукторы и т. п. В качестве опорных элементов служат: станины, опоры валов, специальные столы.

Все деревообрабатывающее оборудование имеет условное обозначение (индексацию) буквами и цифрами. Буквенная индексация состоит из начальных букв наименования типа или вида станка. Первая буква означает тип, вторая и третья — основной признак станка. Например: Ц — круглопильный (циркульный), С — строгальный, Ф — фрезерный, Ш — шипорезный, Тч — точильный, Кп — круглопалочный, У — универсальный, ПР — круглопильный ребровый, ЦК — круглопильный концевик, СФ — строгально-фуговальный, СР — строгально-рейсмусовый, ФШ — фрезерный с шипорезной кареткой, ФК — фрезерный с карусельным столом, ШО — шипорезный односторонний, ШД — шипорезный двусторонний, ШП — шипорезный для прямого шипа, ШЛ — шипорезный для шипа ласточкин хвост, ШЛД — шлифовально-дисковый, ШЛПС — шлифовальный с подвижным столом, ТчП — точильный для пил, ТчН — точильный для ножей, ТчПН — точильный для пил и ножей. Буква А обозначает наличие элементов автоматизации. Например: СвПА — сверлильно-пазовальный с автоподачей. Цифра, стоящая сразу после букв или между ними, обозначает основные параметры станков (число режущих инструментов или ширину строгания в мм, см, дм). Например: Ц2К12 — двухшпиндельный концевик для брусков длиной 12 дм; СФ4 — строгально-фуговальный с шириной строгания 4 дм; Ф2К — фрезерный двухшпиндельный с карусельным столом; ШО10 — шипорезный односторонний для шипов длиной до 10 см. Цифра, стоящая после дефиса, обозначает номер модели станка, например, СФ4-4 (четвертая модель), СР6-6, СР6-7 (соответственно шестая и седьмая модели).

Каждый деревообрабатывающий станок состоит из основных и вспомогательных частей. Основные части станка — станина, рабочий стол, рабочий вал или шпиндель, суппорт, режущий инструмент, электродвигатель и механизм передачи движения. Дополнительные части — механизм подачи материалов, направляющие и прижимные устройства, пускоостановочные устройства, ограждающие устройства и приспособления для смазки. Деревообрабатывающие станки состоят из: двигательных, передаточных исполнительных механизмов. К двигательным механизмам относятся электрические, гидравлические и пневматические приводы. передаточный механизм передает движение от двигательного (механизм подачи) исполнительному

механизму (механизм резания). Конструкции основных и вспомогательных частей и механизмов зависят от особенностей каждого станка, его назначения, мощности и механизма подачи.

Процесс резания осуществляется двумя способами: режущий инструмент надвигается на материал (торцовочные, цепнодолбежные станки) или материал подается к режущему инструменту (продольно-фрезерные станки). Для правильной подачи материала в станок применяют направляющие линейки, угольники, прижимы, ролики, башмаки. Во избежание вибрации материал прижимают к линейке пружинными прижимами (продольно-фрезерный четырехсторонний станок). Привод механизмов резания или подачи осуществляется в основном индивидуальных электродвигателей путем соединения электродвигателя через муфту со шпинделем или с помощью ременной, цепной передач.

Круглопильные станки для поперечного пиления делятся на две подгруппы: станки, распиливающие доски на отрезки. Это круглопильные маятниковые ЦМЭ-2, ЦМЭ-3, ЦМЭ-3А; круглопильные с прямолинейным перемещением суппорта ЦПА-2, ЦПА-3, ЦПА-40. На некоторых предприятиях применяют универсальные круглопильные станки Ц5 и Ц6. Круглопильные концевальные станки Ц2К12 и Ц2К20, а также форматно-обрезные станки ЦФ-5, ЦТЗФ-1 и ЦФ-2.

Сменную производительность станка в штуках заготовок определяют по формуле:

$$A_{cm} = T_{cm} \cdot k_p \cdot (n - m), \quad (5.77)$$

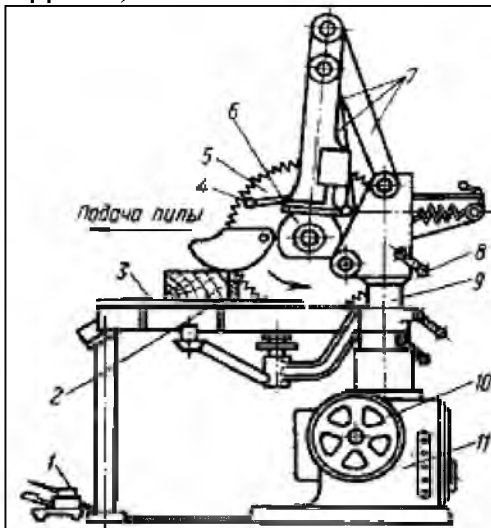
где T_{cm} - продолжительность смены, мин; k_p - коэффициент использования рабочего дня (для станков с ручной подачей 0,93); n - число резов в минуту; m - дополнительные резы на вырезку бракованных мест (принимается от 1 до 3).

Маятниковый станок. На станке ЦМЭ-2 пильный суппорт надвигается на материал вручную, а на станке ЦМЭ-3 — пневмогидроцилиндром. Станки оснащены приводными роликовыми конвейерами для перемещения распиливаемых материалов (рис. 5.42). Применяются станки с прямолинейным перемещением суппорта (рис. 5.43). Круглопильные станки с прямолинейным перемещением суппорта ЦПА-2, ЦПА-3 и ЦПА-40 (рис. 5.43) работают от собственного гидронасоса и предназначены для поперечного раскроя пиломатериалов, щитов и торцевания деталей.

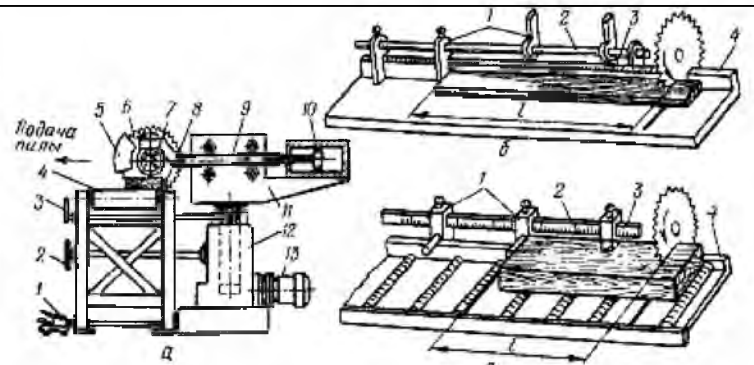
Круглопильные концевальные станки (рис. 5.44) Ц2К12-1 и Ц2К20-1 предназначены для точного торцевания досок, брусков и щитов одновременно с обеих сторон; эти же станки с дополнительными фрезерными - головками (Ц2К12Ф-1 и Ц2К20Ф-1) дают возможность выбирать профиль на кромках щитовых деталей.

Форматные станки применяют для: раскроя на заготовки столярных, древесностружечных, древесноволокнистых плит и фанеры; опилования по периметру щитовых заготовок; для одновременного получения точных раз-

меров и заданного профиля (предусмотрены не только дисковые пилы, но и фрезы).



1 — педаль; 2 — направляющая линейка; 3 — стол; 4 — рукоятка перемещения пилы вручную; 5 — пила; 6 — электродвигатель; 7 — рычаги; 8 — рукоятка зажима; 9 — колонна; 10 — маховичок подъема колонны; 11 — станина.
Рисунок 5.42 - Торцовочный шарнирно-маятниковый станок

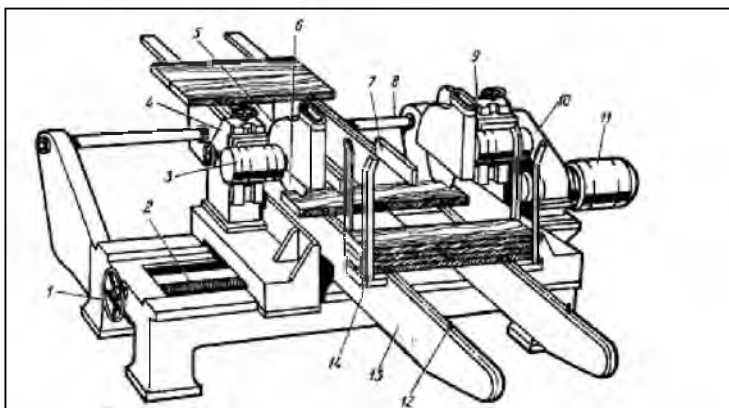


а — устройство станка; 1 — педаль; 2 — маховичок подъема колонки; 3 — рукоятка зажима колонки; 4 — стол с роликами; 5 — ограждение; 6 — пила; 7 — электродвигатель; 8 — направляющая линейка; 9 — суппорт; 10 — гидроцилиндр; 11 — колонка; 12 — станина; 13 — электродвигатель гидропривода подачи;

б — настройка станка для торцовки деталей по откидным и утапливающим упорам: 1 — упоры; 2 — штанга; 3 — шкала; 4 — направляющая линейка;

в — настройка станка по линейке: 1 — упоры; 2 — линейка; 3 — шкала; 4 — направляющая

Рисунок 5.43 - Круглопильный станок с прямолинейным перемещением пилы ЦПА40

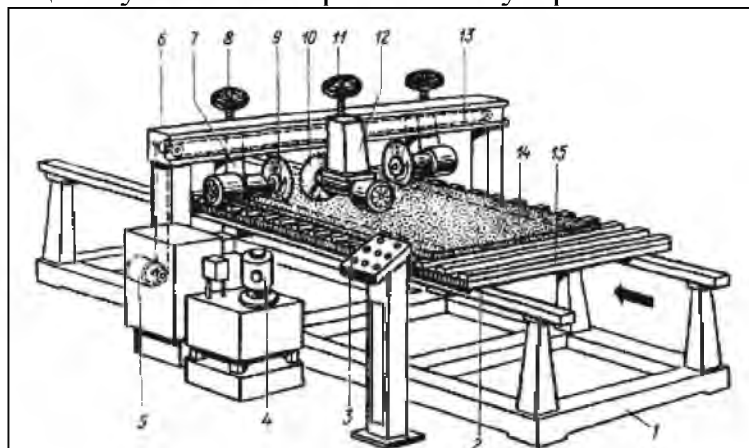


1 — маховичок; 2 — винт; 3 — электродвигатель; 4 — подвижная стойка; 5 — кожух; 6 — пила; 7 — прижим; 8 — вал механизма подачи; 9 — неподвижная стойка; 10 — редуктор; 11 — электродвигатель подачи; 12 — упор цепи механизма подачи; 13 — кронштейн-стрела; 14 — магазин-питатель
Рисунок 5.44 - Двухпильный концевительный станок Ц2К12

Однопильный форматный станок ЦФ-5 состоит из пильного суппорта, станины с направляющими, по которым движется каретка. На каретке предусмотрены упоры для размещения заготовок в нужном положении, а также специальные прижимы для их закрепления. Каретка с заготовкой надвигается на пилу вручную или при помощи отдельного привода. Помимо раскроя плитных материалов, на этих станках можно обрезать щиты по периметру, но для этого надо делать четыре прохода.

Форматные станки ЦФ-2 (рис. 5.45) дают возможность за один проход опиливать две параллельные стороны. Кроме двух пильных суппортов, на станке можно установить две фрезерные головки для фрезерования кромок

по нужному профилю. Подача осуществляется цепным конвейером, имеющим гусеничные прижимные устройства с опорными роликами.

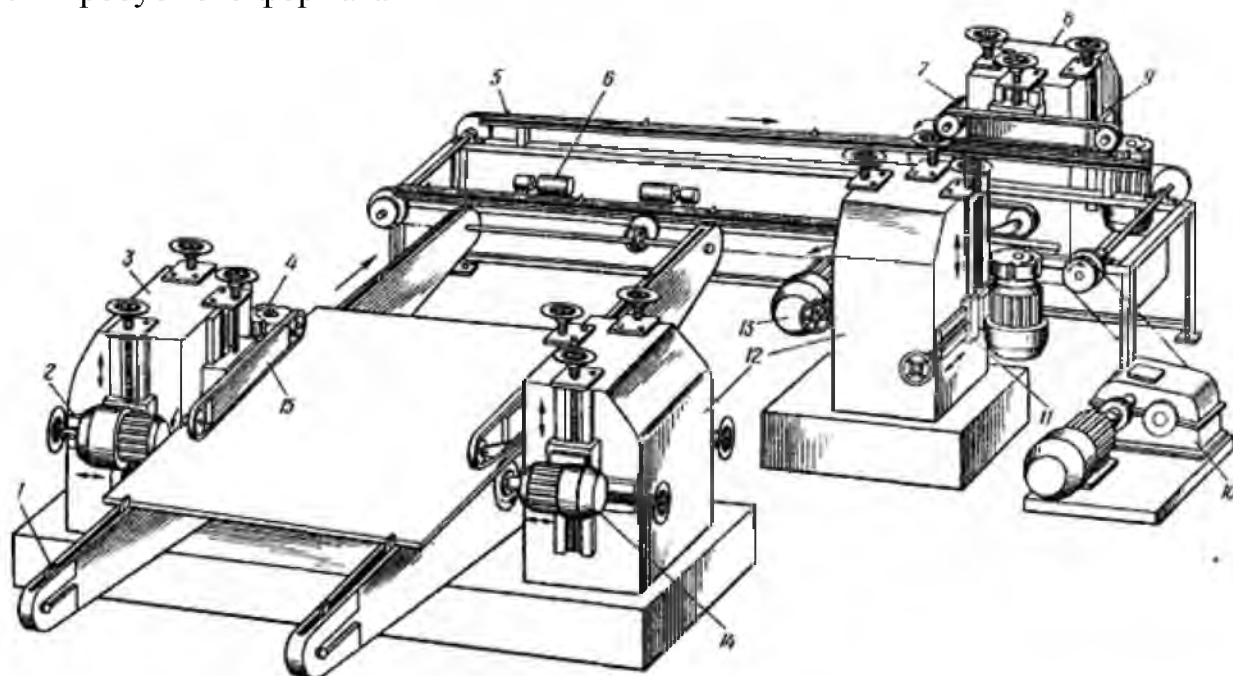


1,5 — цепи механизма подачи; 2, 7, 13, 14 — пильные суппорты; 3, 8 — подвижные стойки; 4, 9, 11 — фрезерные суппорты; 6 — опорный ролик; 10 — привод механизма подачи; 12 — неподвижные стойки; 15 — прижим.

Рисунок 5.45- Форматный станок ЦФ-2

На трехпильном форматно-обрезном станке ЦТЗФ-1 (рис. 5.46) распиливают плиты на заданные форматы (размеры), не изменяя положения плиты относительно органов подачи. Раскрой древесины вдоль волокон или деление досок на бруски заданной ширины выполняют на круглопильных станках для продольного раскроя: ЦА-2 и ЦА-3 — с вальцово - дисковой подачей материала; ЦДК-4, ДК4-2, ЦДК4-3, ЦДК-5, ЦДК5-1, ЦМР-1 и ЦМР-2 — с

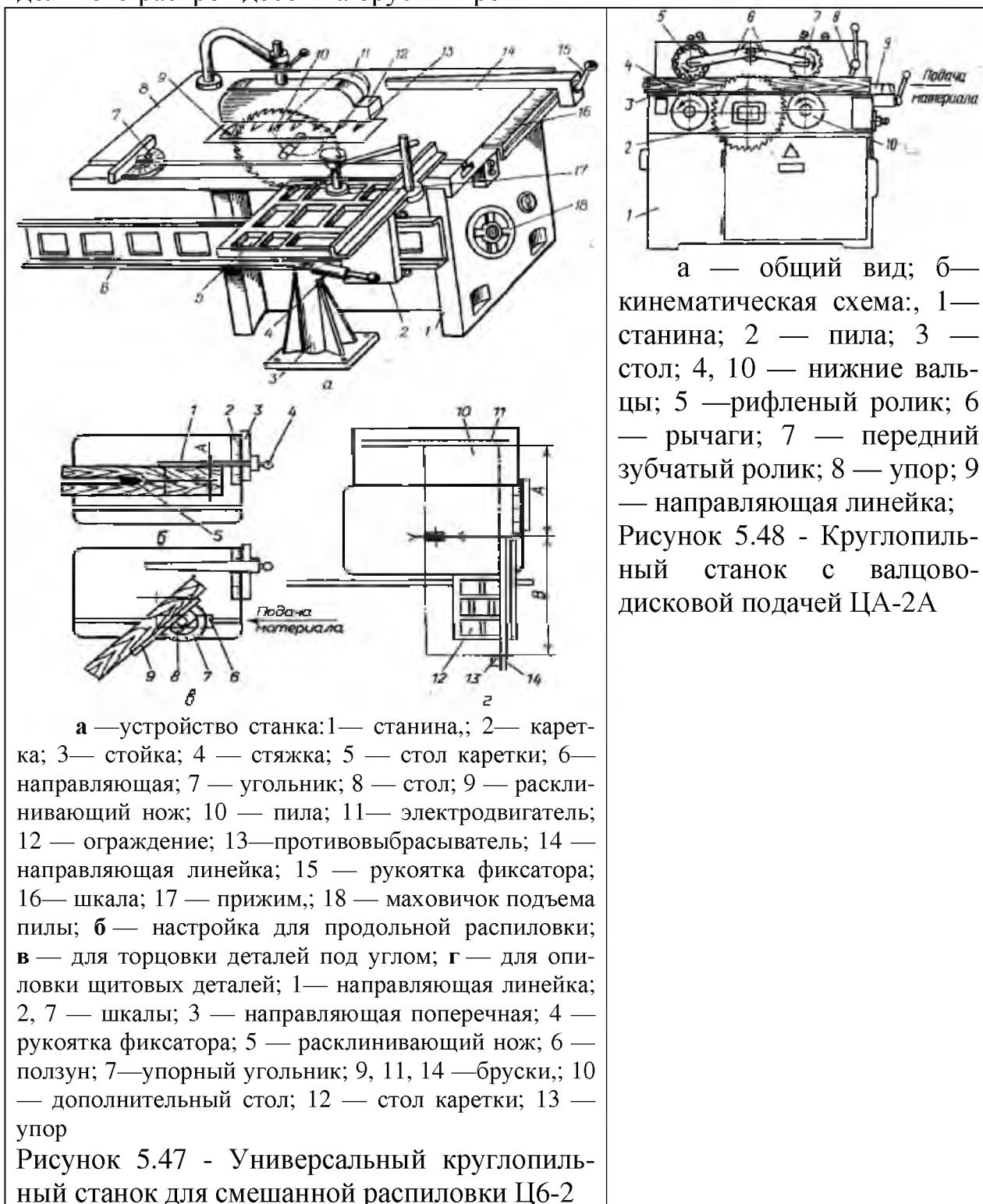
гусеничной подачей материала; на универсальных круглопильных станках Ц-5 и Ц-6 с ручной подачей материала. Круглопильный универсальный станок Ц6-2 (рис.5.47) с ручной подачей материала. На этом станке можно распиливать материал: вдоль и поперек волокон, а также под любым углом; при применении увеличенной каретки на нем можно распиливать плитные материалы требуемого формата.



1 — станина; 2 — направляющая; 3 — пульт управления; 4 — гидростанция; 5 — гидропривод поперечного суппорта; 6 — траверса; 7, 12 — суппорты; 8, 11 — маховички; 9 — пила для продольного пиления; 10 — пила для поперечного пиления; 13 — трос; 14 — распиливаемый материал; 15 — каретка

Рисунок 5.46 - Станок форматно-обрезной трехпильный ЦТЗФ-1

Круглопильные станки с вальцово-дисковой подачей ЦА-2, ЦА-2А (рис.5.48) и ЦА-3 с нижним расположением диска предназначены для продольного раскроя досок на бруски и рейки.



а — общий вид; б — кинематическая схема; 1 — станина; 2 — пила; 3 — стол; 4, 10 — нижние вальцы; 5 — рифленый ролик; 6 — рычаги; 7 — передний зубчатый ролик; 8 — упор; 9 — направляющая линейка; Рисунок 5.48 - Круглопильный станок с вальцово-дисковой подачей ЦА-2А

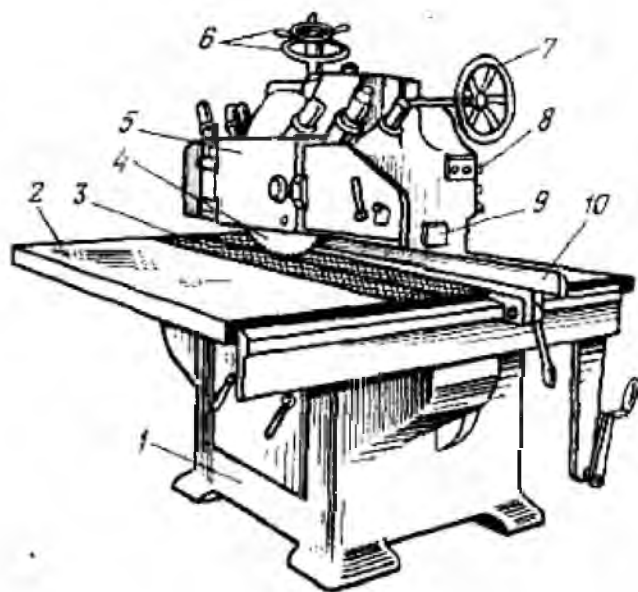
а — устройство станка: 1 — станина; 2 — каретка; 3 — стойка; 4 — стяжка; 5 — стол каретки; 6 — направляющая; 7 — угольник; 8 — стол; 9 — расклинивающий нож; 10 — пила; 11 — электродвигатель; 12 — ограждение; 13 — противовыбрасыватель; 14 — направляющая линейка; 15 — рукоятка фиксатора; 16 — шкала; 17 — прижим; 18 — маховичок подъема пилы; б — настройка для продольной распиловки; в — для торцовки деталей под углом; г — для опилки щитовых деталей; 1 — направляющая линейка; 2, 7 — шкалы; 3 — направляющая поперечная; 4 — рукоятка фиксатора; 5 — расклинивающий нож; 6 — ползун; 7 — упорный угольник; 9, 11, 14 — бруски; 10 — дополнительный стол; 12 — стол каретки; 13 — упор

Рисунок 5.47 - Универсальный круглопильный станок для смешанной распиловки ЦБ-2

Станок ЦА-3 имеет плавную (бесступенчатую) скорость подачи. Подача осуществляется при помощи гидропривода. Материал на этом станке подается вальцами и дисками, приводимыми в движение отдельным трехскоростным электродвигателем через редукторы и цепную передачу. Для удаления опилок используется эксгаустерная воронка, присоединенная к сети пневмопривода. Передний рифленый валец, находящийся перед пилой, выступает

из-за плоскости стола на 1... 2 мм, а сверху над ним размещен зубчатый диск. За пилой размещены такие же устройства — внизу валец, сверху диск. Поверхность диска по окружности рифленая, а посередине по всему кругу выступает гладкий диск, суженный к периферийной части, немного большего диаметра. Этот диск выполняет функции расклинивающего ножа. Он толще за счет развода зубьев пил на 0,5 мм. Перед передним зубчатым диском подвешены тормозные упоры, предупреждающие выбрасывание распиливаемого материала из станка и обеспечивающие его безопасную работу.

Круглопильные станки с гусеничной подачей ЦДК-4 (рис. 5.49) и ЦДК4-5 с верхним расположением диска предназначены для продольного раскроя пиломатериалов и щитов.



1 — станина; 2 — стол; 3 — гусеница; 4 — пила; 5 — суппорт прижимных роликов; 6 — маховичок механизма настройки пильного суппорта по высоте; 7 — маховичок механизма настройки суппорта прижимных роликов по высоте; 8 — выключатель; 9 — упор; 10 — направляющая линейка

Рисунок 5.49 - Станок для продольного распиливания с гусеничной подачей ЦДК-4

пилы размещены прижимные ролики, которыми распиливаемая заготовка прижимается к гусенице. Винтовой механизм с маховичком служит для регулировки суппорта с роликами по высоте при настройке станка на толщину заготовки. Для предупреждения выбрасывания из станка заготовок или отрезков на суппорте перед прижимными роликами подвешены упоры. На передней части стола находится направляющая линейка, которая передвигается и фиксируется вручную в зависимости от ширины распиливаемой заготовки, округляемой по измерительной шкале. Сзади стола установлен откидной щиток, закрывающий выходную часть гусеницы. Он прижимается пружиной и отодвигается заготовкой, которая движется с гусеницей. Над станком установлен эксгаузерный приемник, подсоединенный к сети пневмопривода.

Над столом размещен пильный вал, на одном конце которого закреплена пила, а на другом — ротор электродвигателя. При помощи винтового устройства с маховичками суппорт с пильным валом поднимается или опускается. Суппорт устанавливают так, чтобы пила углубилась в продольную прорезь, находящуюся посередине гусеницы, на 3... 5 мм. Спереди и сзади стола гусеница охватывает два туера (звездочки); один из них является ведущим и соединен с редуктором механизма подачи, имеющим свой электродвигатель. Рабочие поверхности звеньев гусеницы рифленые, благодаря чему хорошо поддерживают распиливаемый материал. Гусеницы двигаются по направляющим в углублениях стола и находятся на 0,5... 1 мм выше его рабочей поверхности. Спереди и сзади

Производительность станков в погонных метрах в смену для продольного распиливания определяют по формуле:

$$A_{см} = T_{см} \cdot K_p \cdot K_u \cdot U, \quad (5.78)$$

где $T_{см}$ - продолжительность смены, мин; K_p - коэффициент использования рабочего дня, для станков с ручной подачей 0,6-0,7; для станков с механизированной подачей – 0,9; K_u - коэффициент использования станка, 0,9; U - скорость подачи, м/мин.

Дисковые электропилы (рис. 5.50). Режущий инструмент у пил такого типа представляет собой диск диаметром до 250 мм с насеченными по его окружности зубьями. Пилы с зубьями косоугольной формы служат для продольного пиления, а с зубьями в форме равнобедренного или равностороннего треугольника - для поперечного пиления. В редукторной электропиле пильный диск укреплен на валу специальной шайбой и приводится во вращательное движение при помощи передаточного механизма. У редукторных пил можно регулировать число оборотов режущего инструмента и увеличивать глубину пропила до 90 мм. У электропил для продольного пиления параллельно кромке распиливаемого материала к панели прикреплена направляющая линейка.

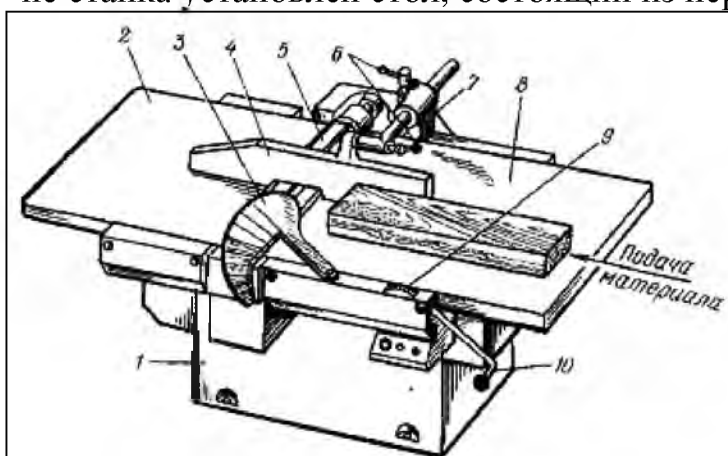


Рисунок 5.50 - Электрические дисковые пилы

Для предупреждения несчастных случаев на пилах установлен предохранительный кожух, состоящий из верхней неподвижной части и нижней подвижной. При нажатии на распиливаемый материал нижняя подвижная часть кожуха заходит по окружности под неподвижную часть и дает возможность распиливать материал. При снятии пилы с обрабатываемой древесины нижняя часть кожуха под действием спиральной пружины, находящейся в неподвижной части кожуха, возвращается на свое место и полностью закрывает

диск. На рис. 5.50, *a* изображена дисковая безредукторная электропила И-20, ее вес 14 кг. Пильный диск насажен на выступающий конец вала ротора. Глубина пропила 60 мм. При помощи направляющего сектора пильный диск электропилы вместе с передней частью электродвигателя может подниматься и опускаться на нужную глубину пропила. На рис. 5.50, *б* показана дисковая редукторная электропила И-78. Она отличается от безредукторной пилы И-20 тем, что у нее пильный диск закрепляется на валике редуктора.

Фуговальные станки предназначены для продольного фрезерования заготовок из древесины с целью получения базовой поверхности для дальнейшей обработки деталей. В деревообрабатывающей промышленности используют фуговальные станки различной конструкции и ширины строгания, однако основные конструктивные части их аналогичны (рис.5.51). На станине станка установлен стол, состоящий из передней и задней частей.



1 — станина; 2 — задний стол; 3 — ограждение; 4 — направляющая линейка; 5 — ножевой вал; 6 — фиксаторы крепления направляющей линейки; 7 — кронштейн; в — передний стол; 9 — шкала; 10 — рукоятка настройки стола по высоте.

Рисунок 5.51 - Одношпindelный фуговальный станок СФ6-7

Переднюю часть стола устанавливают ниже задней на толщину снимаемого слоя, заднюю часть регулируют по высоте при помощи специальных винтов и устанавливают на уровне окружности ножей.

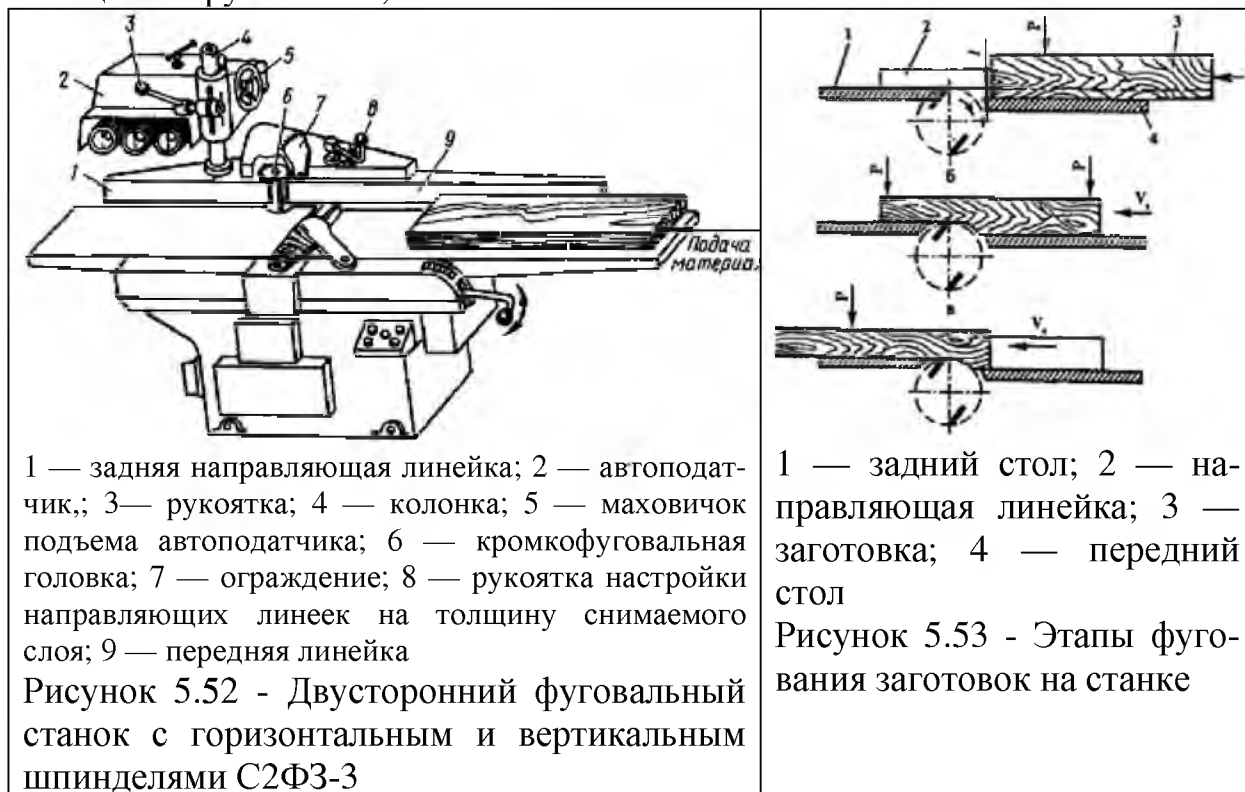
Для строгания смежных сторон под требуемым углом имеется направляющая линейка, которая устанавливается под углом к столу (до 45°) и передвигается по всей его ширине.

Поскольку ножевые валы на фуговальных станках открытые, они должны быть

круглыми, а ножи — тонкими. Ножевые валы вращаются от индивидуальных электродвигателей через клиноременную передачу. Остальные узлы крепятся на чугунной станине. Для пуска, остановки и одновременного торможения станка имеются кнопочные устройства. Фуговальные станки могут быть с ручной (СФ3-3, СФ4-2, СФ6) и механической подачей (СФА4-2, С2Ф4, СФК6-1). На рисунке 5.52 представлен станок С2Ф3-3.

На фуговальных станках с ручной подачей работает один рабочий (станочник), а с механической — два (станочник и подсобный рабочий). При ручной подаче заготовку осматривают, укладывают на передний стол станка и, прижимая левой рукой передний конец заготовки, а правой задний, плавно надвигают заготовку на ножи (рис. 5.53). Когда передний конец заготовки пройдет через ножи, левую руку переносят, прижимая заготовку к заднему столу. Покоробленные заготовки укладывают на стол вогнутой стороной вниз, плотно прижимая их к столу станка. Сильно покоробленные заготовки фуговать не следует, так как при этом снимется большой слой древесины,

они станут меньше номинальных размеров и не смогут быть использованы по назначению. При работе на станках с механической подачей заготовки подают торцом в торец. Толщина снимаемого слоя не должна превышать 6 мм, а толщина стружки — 1,5... 2 мм.

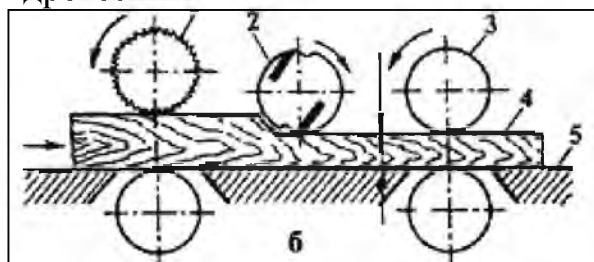


После создания на заготовке базовой поверхности выполняют **фрезерование** (строгание) на рейсмусовых станках. Эти станки бывают: односторонние с верхним размещением ножевого вала (СР6-7, СР8, СР6-8, СР6-9, СР12-2) и двусторонние с верхним и нижним размещением ножевых валов (С2Р8-2, С2Р12-2). Станки предназначены для плоскостного строгания заготовок в заданный размер по толщине. Обработка заготовок производится ножевым валом цилиндрической формы. Ножевой вал приводится во вращение электродвигателем через клиноременную передачу. Стол, по которому подаются заготовки, литой жесткой конструкции, встроен в станину, оборудован поддерживающими вальцами для уменьшения трения при перемещении обрабатываемого материала.

Для обеспечения безопасности работы на станке предусмотрены когтевая защита со стороны загрузки, предотвращающая обратное выбрасывание заготовки в процессе обработки и электроблокировка, исключающая возможность включения станка при открытом ограждении.

На всех рейсмусовых станках подача механическая, при помощи четырех вальцов: двух передних и двух задних. Ножевой вал в односторонних рейсмусовых станках размещен над обрабатываемыми заготовками, которые надвигаются на вал при помощи подающих вальцов. Чтобы уменьшить трение заготовки о поверхность стола, нижние гладкие вальцы (передний и задний)

выступают над поверхностью стола на 0,1...0,3 мм, в зависимости от породы древесины.



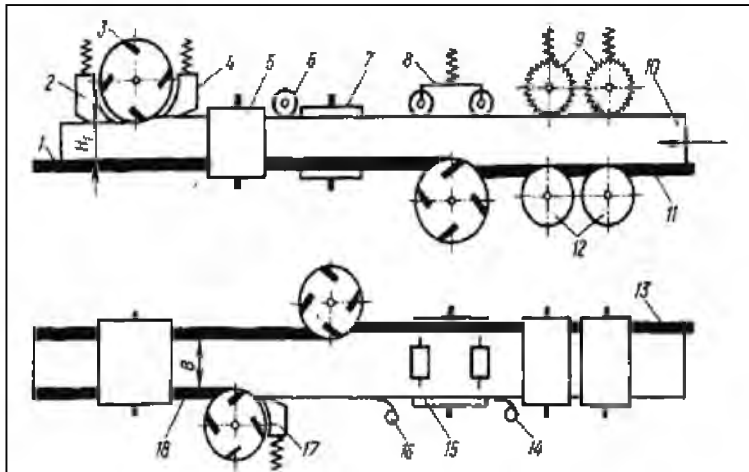
1 — подающий рифленый валик; 2 — ножевой вал; 3 — подающий гладкий валик; 4 — заготовка; 5 — стол

Рисунок 5.54 - Технологическая схема обработки заготовок на станке

Передний верхний подающий валец для лучшего сцепления с материалом делают рифленным (рис.5.54), а при фрезеровании заготовок различной толщины (до 6 мм) — секционным. Нижние вальцы должны выступать над поверхностью стола на 0,2... 0,3 мм при обработке фугованных заготовок и на 0,4... 0,5 мм — нефугованных. В зависимости от толщины обрабатываемых заготовок стол поднимают или опускают на необходимое расстояние от ножевого вала вручную или при помощи привода (в

зависимости от конструкции станков). Сначала стол устанавливают ориентировочно по специальной шкале, нанесенной на станине, а после обработки двух-трех пробных заготовок и проверки их толщины при необходимости корректируют положение стола. Если стол следует опустить, его опускают чуть больше, чем нужно, а затем постепенно поднимают до необходимого положения. Рейсмусовые станки обслуживают двое рабочих, основной и подсобный. Основной рабочий берет деталь из штабеля и укладывает профугованной стороной на рабочий стол, продвигая ее к передним вальцам. Лучше подавать заготовки торец в торец. При наличии секционного вальца заготовки небольшой ширины кладут на стол по несколько штук параллельно друг другу и одновременно надвигают их на передние вальцы.

Четырехсторонние продольно-фрезерные станки с механической подачей применяют для обработки одновременно двух и более сторон заготовки, а также для придания деталям правильной формы с заданным размером и профилем (рис. 5.55). На этих станках установлено по четыре и больше шпинделей, в которых можно закреплять ножевые головки, фрезы или пилы. В зависимости от профиля применяемого режущего инструмента получают детали различных размеров и сечений. Новые модели станков имеют дополнительный поворотный шпиндель, на котором в горизонтальном и вертикальном положениях закрепляют пилу для раскроя обработанной детали. Во всех моделях четырехсторонних продольно-фрезерных станков подача механическая — вальцовая (С16-4А, С26-2) или вальцово-гусеничная (С10-2, С16-5П). На станине закреплены стальные столы, а на столах — направляющие линейки. Станок имеет пять шпинделей, размещенных по ходу материала в такой последовательности: первый (передний) нижний горизонтальный фрезерует базовую сторону; два вертикальных сдвинуты по ходу материала и фрезеруют кромки; верхний горизонтальный фрезерует заготовку сверху и доводит ее до заданной толщины; пятый — универсальный, он может быть установлен снизу или сверху обрабатываемой заготовки, горизонтально или вертикально. На него можно закреплять ножевые головки или пилы.



1 — задняя часть стола; 2 — задний прижим; 3 — верхний горизонтальный ножевой вал; 4 — передний подпор, 5, 7 — фрезы; 6 — верхний прижим; 8 — роликовый прижим; 9 — верхние рифленые вальцы; 10 — заготовка; 11 — передняя часть стола; 12 — нижние гладкие вальцы; 13 — направляющая линейка; 14, 16 — боковые зажимы; 15 — нижний ножевой вал; 17 — прижим; 18 — левая направляющая линейка

Рисунок 5.55 - Технологическая схема четырехстороннего продольно-фрезерного станка

расположением шпинделя, одно- и двухшпиндельные, с ручной и механической подачей. Работы на фрезерном станке проводятся: по линейке либо по кольцу в шаблонах. По линейке проводится гладкое или профильное фрезерование прямых деталей, а по кольцу — кривых деталей и обработка кромок у рамок (створок, полотен дверей и др.).

На станках с нижним расположением шпинделя (рис. 5.56), оборудованных направляющей линейкой (с дугой 16) фрезеруют: прямолинейные кромки, сквозное или несквозное фрезерование профиля. Направляющая линейка состоит из двух частей разной толщины, передняя часть линейки 15 тоньше задней линейки 13 на толщину снимаемого слоя древесины h .

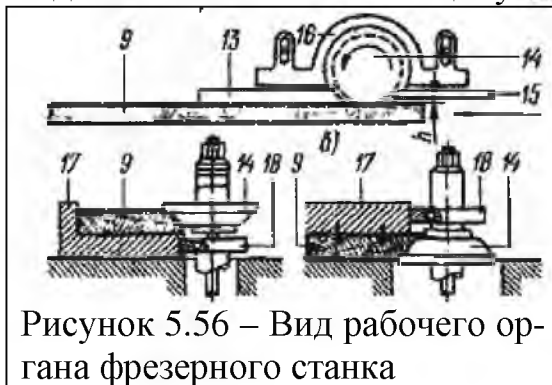


Рисунок 5.56 – Вид рабочего органа фрезерного станка

Плоские и фигурные профили могут быть: сквозными, фрезеруемыми на всю длину или по всему периметру обрабатываемой заготовки, и несквозными, когда профиль фрезеруется на часть длины или периметра обрабатываемой заготовки. Станок оборудован тормозными и блокировочными устройствами. Работу на станке можно начинать лишь после того,

как шпиндель полностью наберет необходимую частоту вращения.

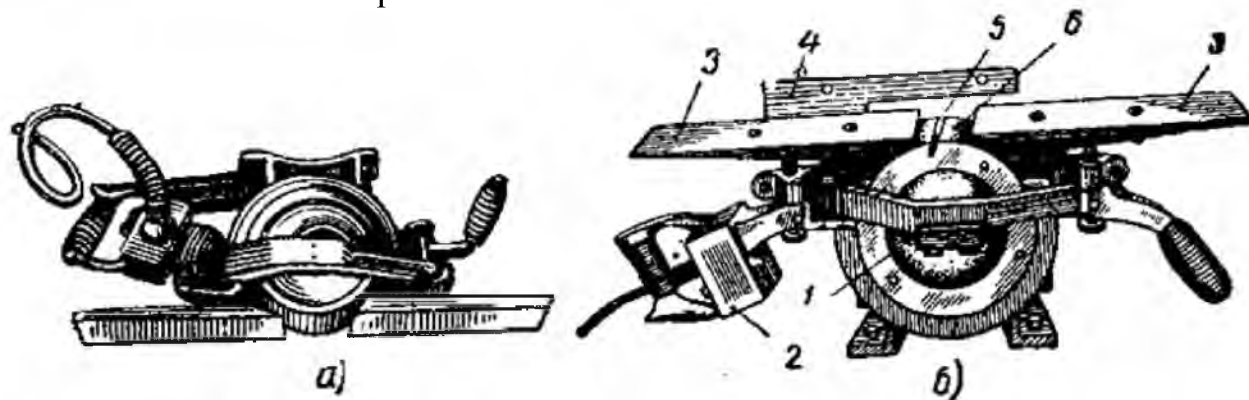
Для механизированного строгания применяется ручной механизированный инструмент, а также станки. К ручному механизированному инструменту относятся электро- и пневморубанки всех видов. Рабочим валом электро-

Фрезерные станки

предназначены для плоского и профильного фрезерования прямолинейных и криволинейных заготовок, обработки шитов по периметру, нарезания шипов и проушин, а также выполнения различных копировальных работ. На фрезерных станках можно выполнять разнообразные работы: создавать профили у деталей путем отборки каленок, фальцев, пазов, гребней и др., выполнять гладкое фрезерование кромок, обрабатывать то по периметру оконные створки, форточки, фрамуги, дверные полотна и др.

Различают: фрезерные станки с верхним и нижним

рубанка служит вал электродвигателя. Стругание древесины электрорубанком осуществляется при помощи кругового движения двух или четырех ножей длиной до 100 мм с односторонней заточкой, укрепленных на вращающемся ножевом валу. Наиболее распространенными являются электрорубанки И-24 с двумя ножами и И-25 с четырьмя ножами. Электрорубанок И-24 (рис. 5.57) снимает стружку толщиной до 2 мм. Электрорубанок И-25 снимает слой древесины толщиной не более 1,5 мм. Работают рубанки от обычной бытовой электрической сети.



а - общий вид положения рубанка при работе; *б* - детали рубанка: 1 - статор, 2 - коробка выключателя, 3 - опорная панель, 4 - направляющая линейка, 5 - нож, 6 - ротор

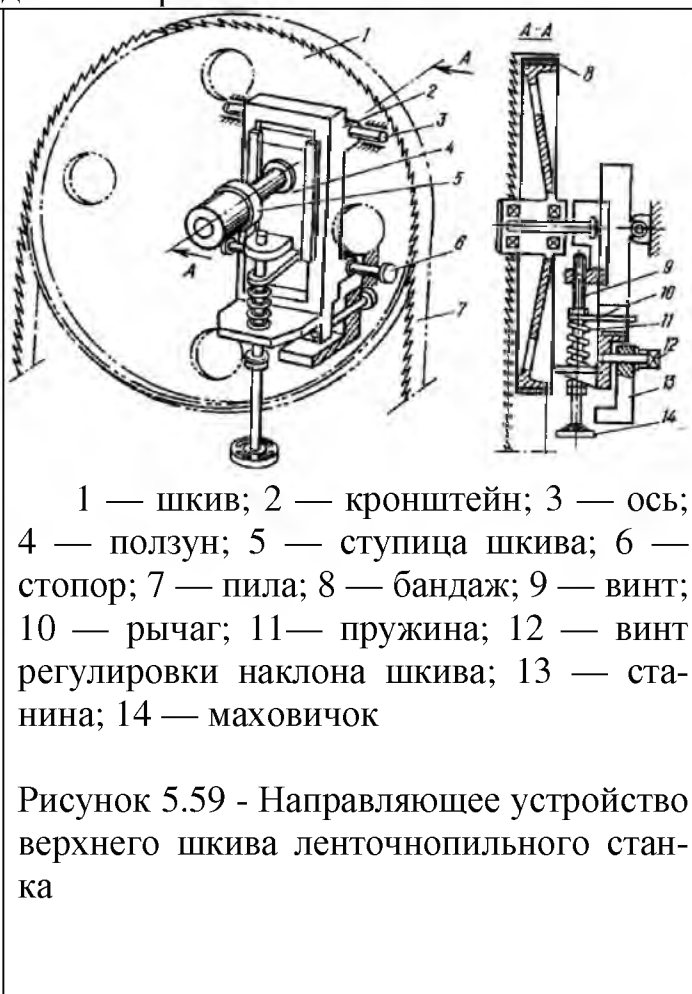
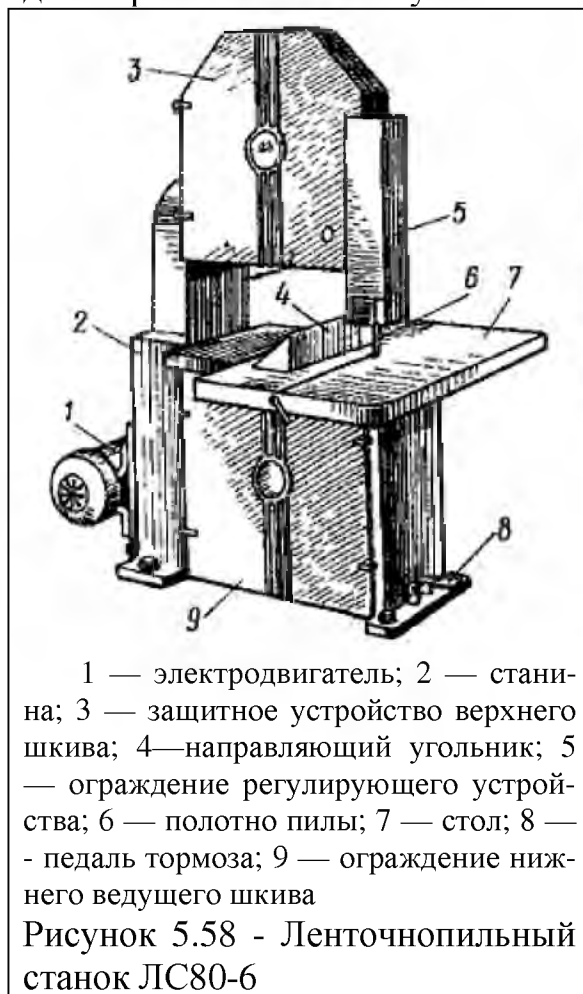
Рисунок 5.57 - Электрорубанок И-24

Для строгания деталей с двух сторон применяют спаренные электрорубанки. Один из них (нижний) устанавливают в гнездо, сделанное в доске верстака, панель этого рубанка находится в одной плоскости с досками верстака. Другой рубанок устанавливают под требуемым углом по отношению к первому и закрепляют корпусом в гнезде, сделанном в доске верстака.

Для раскроя материалов на заготовки криволинейной формы, а также прямолинейного раскроя досок ценных пород на тонкие заготовки применяют столярные ленточнопильные станки ЛС80-3, ЛС80-6, ЛС40. Ленточнопильный столярный станок ЛС80-6 (рис.5.58) применяют для криволинейного и прямолинейного пиления. Приводной электродвигатель вмонтирован в нижнюю часть станины и связан клиноременной передачей с нижним (ведущим) шкивом. Верхний (ведомый) шкив закреплен в верхней части станины. Рабочий стол можно устанавливать под различными углами (до 45°) к направлению пиления, что дает возможность проводить пиление под любым углом к поверхности детали. Перемещение стола и крепление его в нужном положении осуществляют специальным винтом. Спаянную пильную ленту надевают на оба шкива (ведущий и ведомый) и натягивают маховичком, размещенным на суппорте верхнего шкива, который является натяжным.

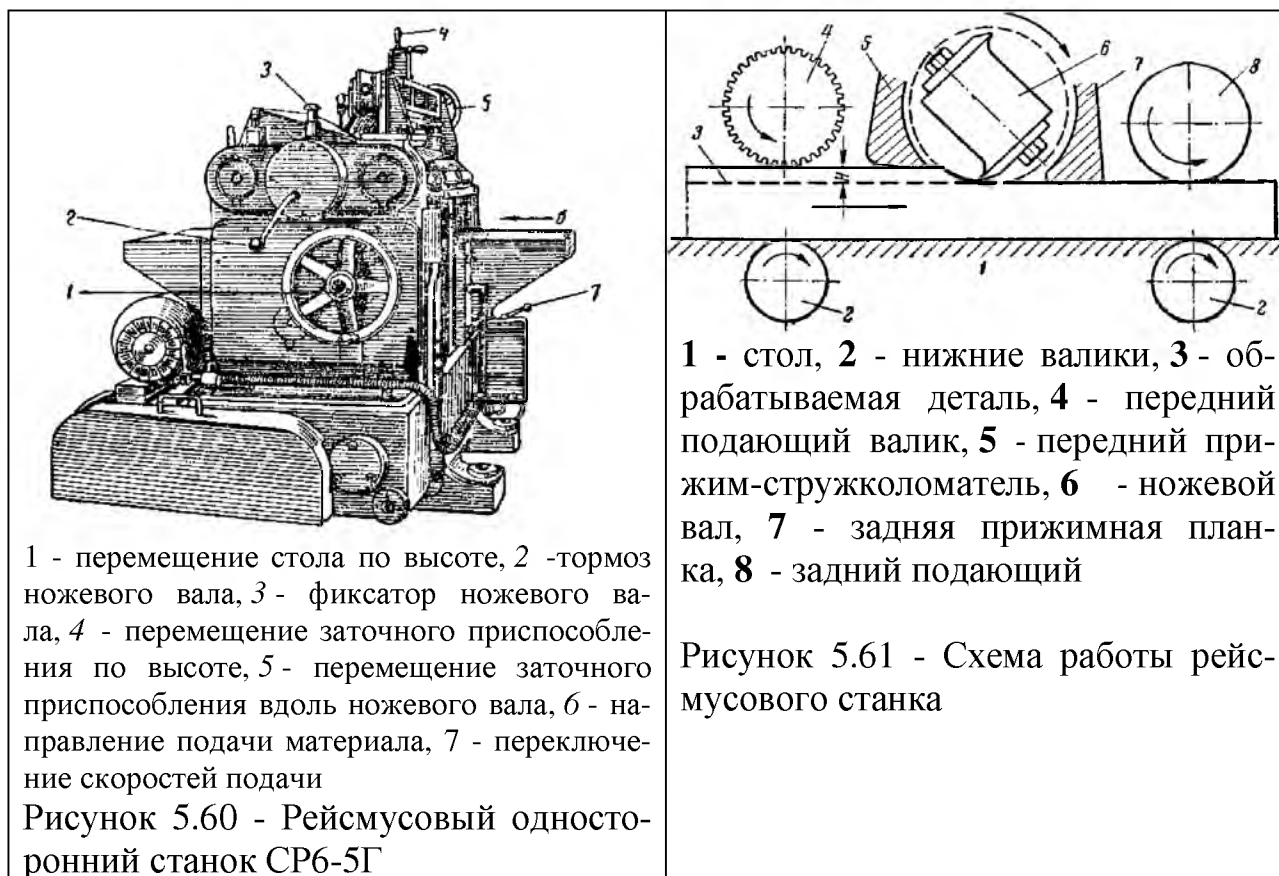
Ободы пильных шкивов покрыты эластичным бандажом, не допускающим спадания пильной ленты со шкивов. Для предупреждения смещения пильной ленты со шкивов во всех ленточнопильных станках предусмотрены направляющие устройства (рис.5.59). Одно из таких устройств устанавлива-

ют под столом немного ниже его плоскости при выходе полотна из прорези стола, а другое на 10... 15 мм выше распиливаемого материала. Ленточная пила упирается тыльной стороной в ролики, что предупреждает смещение ее даже при значительных усилиях подачи материала.



Режущий инструмент ленточнопильных станков — это ленточные пилы, которые представляют собой металлическую ленту с нарезанными с одной стороны зубьями. Длина лент зависит от диаметров пильных шкивов и расстояния между их осями. При отрезании ленты учитывают припуск на спаивание. Кроме того, ленту следует отрезать с таким расчетом, чтобы в месте спаивания был выдержан общий шаг зубьев. Правильно спаянная ленточная пила, если ее поставить тыльной стороной на ровный пол, образует круг. Толщина ленточного полотна зависит от диаметра пильного шкива и составляет около 0,001 его диаметра, т. е. $S < (0,001.. .0,007 D)$, где S — толщина полотна пилы, мм; D — диаметр шкива, мм. Установлено, что в ленточных пилах с тонким полотном и большим диаметром шкивов напряжения меньше.

Рейсмусовый односторонний станок СР6-5Г (рис. 5.60) предназначен для одностороннего строгания деталей до заданной толщины (в размер) параллельно их профугованной стороне (рис. 5.61).

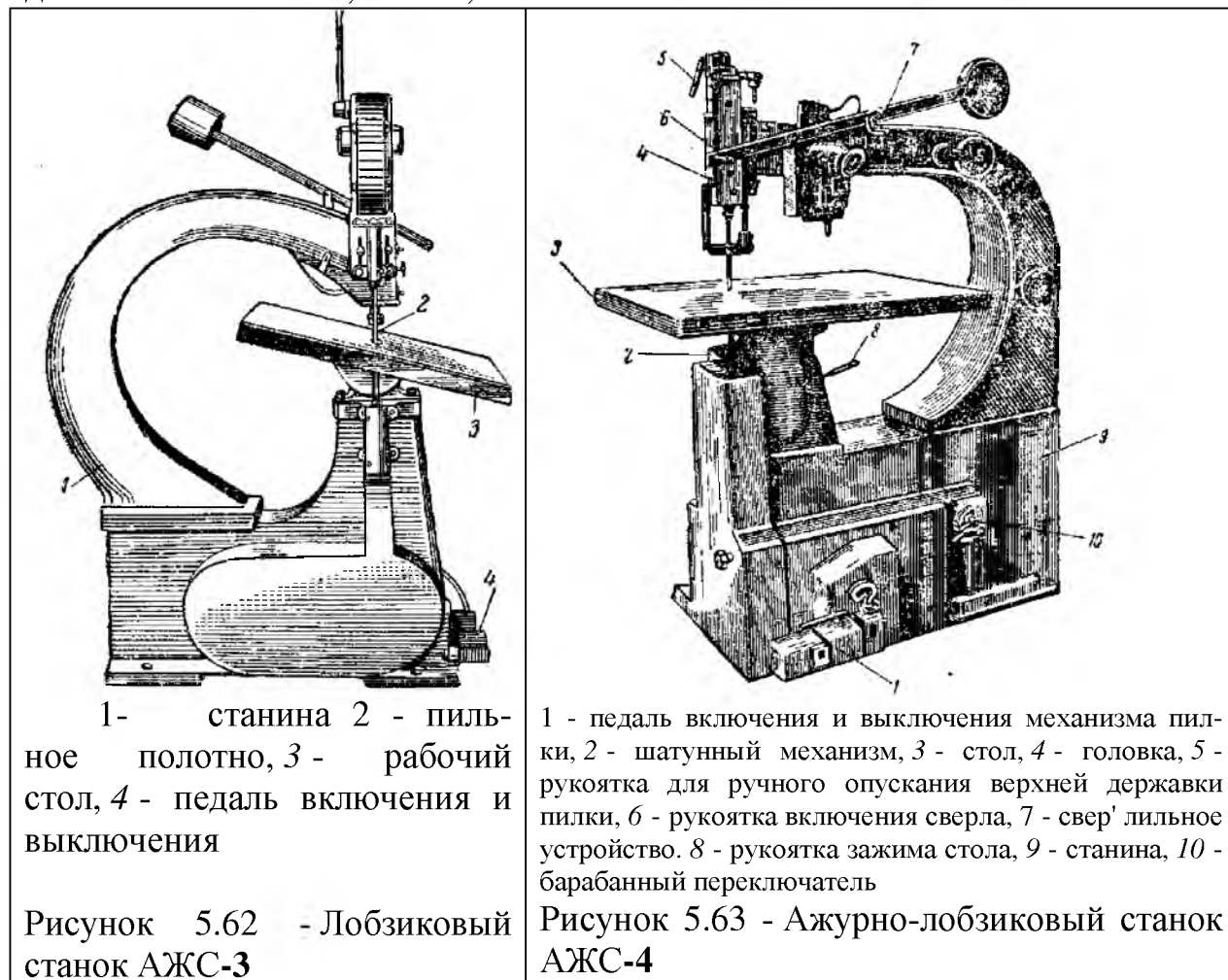


Отличается рейсмусовый станок от фуговального тем, что стол его состоит из одной сплошной плиты и не имеет направляющей линейки, а ножевой вал находится над столом. В зависимости от толщины обрабатываемой детали стол поднимается и опускается посредством винтового устройства. Материал подается механически - механизмом подачи, который состоит из двух пар валиков. Верхние валики расположены над обрабатываемой деталью по обе стороны ножевого вала: один впереди, а второй позади него. Нижние валики установлены точно под верхними. Верхние валики приводятся во вращение от электродвигателя через зубчатую передачу и называются приводными, подающими, питающими. Нижние валики установлены свободно и приводятся во вращение подаваемым материалом и называются направляющими, опорными (рис. 5.62). Их назначение - облегчить подачу материала на ножевой вал. Они выступают над поверхностью стола на 0,1-0,3 мм. Верхний передний валик 4 делается рифленным для того, чтобы он лучше сцеплялся с нестроганой поверхностью материала. Его устанавливают на 2-3 мм ниже поверхности подаваемого на ножи материала. Верхний задний валик 8 делается гладким, чтобы рифление не портило строганую поверхность древесины. Его устанавливают ниже режущих кромок ножа на 1 мм. Оборудованная на станке система программной настройки предназначена для установки станка на заданный размер обработки деталей или изделий, передвижения стола станка вверх или вниз и остановки его в заданном положении. Панель пульта управления расположена в левой верхней части станка, что обеспечивает удобство обслуживания. Установка на требуемый размер обработки производится поворотом ручек миллиметрового щеточного

переключателя и сантиметрового переключателя. Щеточные переключатели расположены на пульте управления. Максимальная ширина строгания 630 мм, высота 200 мм, минимальная высота строгания 5 мм, минимальная длина обрабатываемого материала 260 мм, скорость подачи 8, 12, 20 и 30 м/мин. Вес станка 1450 кг. Станок предназначен для строгания деревянных деталей и изделий из древесины разных пород на заданный размер по толщине.

Ажурно-лобзикоые станки со сверильным устройством АЖС-34 и АЖС-4 (рис. 5.63) имеет станину, которая состоит из нижней части и верхней - хобота. В нижнюю часть станины вмонтированы электрошкаф, электродвигатель, шатунный механизм, педаль для включения и выключения электродвигателя механизма пилки. В верхней части станины установлены головка с воздушным насосом и сверильное устройство.

Наибольшая длина пильной ленты 280 мм, ход пилки 40 мм, скорость движения пилки 1 -1,3 м/сек, вес станка 540кг.



1- станина 2 - пильное полотно, 3 - рабочий стол, 4 - педаль включения и выключения

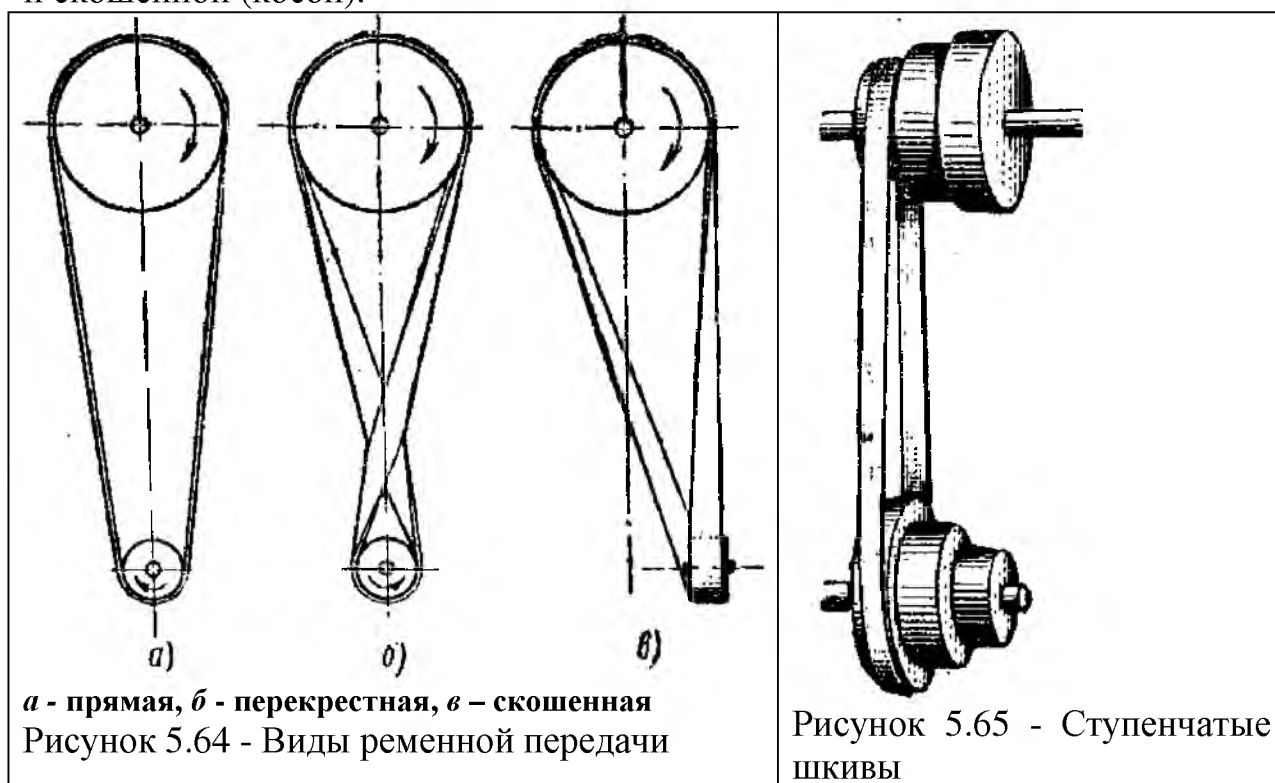
Рисунок 5.62 - Лобзиковый станок АЖС-3

1 - педаль включения и выключения механизма пилки, 2 - шатунный механизм, 3 - стол, 4 - головка, 5 - рукоятка для ручного опускания верхней державки пилки, 6 - рукоятка включения сверла, 7 - сверильное устройство. 8 - рукоятка зажима стола, 9 - станина, 10 - барабанный переключатель

Рисунок 5.63 - Ажурно-лобзиковый станок АЖС-4

Станок АЖС-4 предназначен для выпиливания криволинейных контуров с наименьшим радиусом 20 мм. Толщина обрабатываемого материала колеблется от толщины фанеры до брусков толщиной 80 мм. Станок применяется в производстве мебели, музыкальных инструментов, в авиастроении, вагоностроении и пр. Лобзиковые пилки должны быть оборудованы пневматическим приспособлением для обдувания обрабатываемого материала.

Все деревообрабатывающие станки работают от электродвигателей. На некоторых станках один общий электродвигатель приводит в движение одновременно несколько режущих инструментов, на других для каждого инструмента имеется свой - индивидуальный электродвигатель. Станки с индивидуальными электродвигателями наиболее удобны в работе и более выгодны, так как дают возможность при работе режущего инструмента включать на полную мощность не все, а определенный электродвигатель, что дает экономию электроэнергии. Передача движения от электродвигателя на рабочий вал может быть непосредственной, ременной, зубчатой и цепной. При непосредственной передаче рабочий вал является продолжением вала электродвигателя или же режущий инструмент укрепляется на удлиненном валу электродвигателя. При такой передаче число оборотов рабочего вала равно числу оборотов вала электродвигателя. Ременная передача (привод) состоит из ведущего и ведомого шкивов и бесконечного охватывающего их ремня. Ведущим является шкив, находящийся на валу электродвигателя, а ведомым шкив на рабочем валу. Ременная передача (рис. 5.64) в зависимости от расположения рабочего вала и направления его вращения бывает прямой, перекрестной и скошенной (косой).



Прямую передачу применяют при параллельно расположенных валах с одинаковым направлением вращения. Перекрестную передачу делают при параллельно расположенных валах с противоположным направлением вращения. Скошенной (косой) передачей (рис.5.65) пользуются при валах, расположенных перпендикулярно друг к другу. На деревообрабатывающих станках применяют клиноременную передачу движения. Осуществляется она несколькими параллельно действующими ремнями при близком расположении ведущих и ведомых шкивов. Число оборотов рабочего вала зависит от

диаметра шкивов. Чем больше диаметр ведущего шкива и чем меньше диаметр ведомого шкива, тем больше число оборотов рабочего вала. Этим пользуются для увеличения числа оборотов рабочего вала. Для получения нескольких разных скоростей подачи применяют ступенчатые шкивы (рис.5.65). При перекидке ремня с одной ступени на другую получают нужную скорость вращения.

Современные деревообрабатывающие станки имеют уже высокий уровень технических характеристик, хороший дизайн, компактность и очень часто многофункциональность.



Рисунок 5.66 - Внешний вид универсально станка PFA 16

Так, например, многофункциональные электрические деревообрабатывающие станки серии PFA (рис.5.66) предназначены для выполнения следующих бытовых работ с заготовками из древесины: строгание, снятие фаски, рейсмусование, пазование, пиление, торцевание и калевка, сверление, долбление, зенкование, фрезерование, вырезание шипа, изготовление проушин, фальцевание и

выборка «четверти». Конструкция станка также позволяет производить заточку пильных дисков и ножей.

Многофункциональная переносная деревообрабатывающая машина МАСТЕР-УНИВЕРСАЛ 2500Е (рис.5.67) имеет максимальный размер пильного диска 280 мм. Дополнительно на этот станок установлен электронный блок, позволяющий осуществить запуск аппарата даже при пониженном напряжении в сети (минимум 160 В).

Комбинированный деревообрабатывающий станок ML393A (рис. 5.68) обеспечивает следующие виды работ: строгание, долбление, зенкование, фрезерование, вырезание шипа, пиление, снятие фаски, рейсмусование, пазование, торцевание и калёвка, сверление изготовление проушин, фальцевание, выборка четверти. Конструкция станка позволяет производить заточку пильных дисков и ножей рубанка. Данный станок может быть использован как на малых предприятиях, так и личных хозяйствах. Станок многофункциональный, удобен и надежен в использовании. Пользователь в ходе длительного применения станка может расширить область его применения на практике.

Станок GRIGGIO FSA 530 (рис. 5.69) предназначен для калибрования деталей из массивной древесины, плит на заданную толщину. Электрический двигатель ножевого вала, широкая гамма скоростей подачи, конструкция

рейсмусового станка создают удобства в работе, позволяют применять их в единичном и мелкосерийном производстве при подготовке деталей к последующим операциям. Находит применение и комбинированный станок Metabo MULTI 260 (рис. 5.70).



Рисунок 5.67 - Внешний вид универсально станка МАСТЕР-УНИВЕРСАЛ 2500Е



Рисунок 5.68 - Внешний вид деревообрабатывающего станка ML 393(Иола-к)



Рисунок 5.69 - Внешний вид универсально станка GRIGGIO FSA 530



Рисунок 5.70 - Внешний вид комбинированного станка Metabo MULTI 260

Комбинированный станок LX-310 (рис. 5.71) относится к типу станков, способных на одной рабочей платформе выполнять пять различных операций. Установленная мощность электродвигателя – 3 кВт. Станок произведен в Бельгии, а его основным предназначением является обработка древесины на различных столярных, мебельных и деревообрабатывающих предприятиях. Основные операции, которые поддерживает комбинированный станок LX-310: рейсмусование и фугование заготовок простых конструкций, обеспечивающие качественное состояние поверхности и быструю, а также надежную работу; пиление заготовок с высокой производительностью и точностью, что обеспечивается мощной станиной, точными направляющими и большого рабочего хода каретки; получение пазов и отверстий за счет удоб-

но расположенного ножевого вала, способного разместить как сверло, так и фрезу.

Комбинированный станок К-400 (рис. 5.72) относится к виду пятиоперационных комбинированных станков, используемых для различных операций по обработке древесины. Одной из заслуг этого станка перед аналогичными моделями является его универсальность и простота в обслуживании, а также высокая безопасность для оператора в ходе эксплуатации. С помощью станка К-400 возможно проведение следующих технологических операций: фугование заготовок в направлении основной плоскости, а также вдоль ребра заготовки; распиловка древесины во всех возможных направлениях (обычно это продольное и поперечное); рейсмусование деталей на необходимую глубину; долбежка заготовок и создание пазов; фрезеровка заготовок.



Рисунок 5.71 - Внешний вид комбинированного станка LX-310



Рисунок 5.72 - Внешний вид комбинированного станка К-400

Схемы управления станков имеют очень большое разнообразие и насыщение аппаратами управления – от обычных контакторов до микроконтроллеров. Как правило, станки уровня бытового применения имеют несложные схемы и оборудованы однофазными электродвигателями или трехфазными с фазосдвигающими конденсаторами.

Современную группу станков для деревообработки представляют обрабатывающие центры с ЧПУ. Обрабатывающий 5-ти осевой центр Covertек с ЧПУ (рис.5.73) для обработок бруса, используемого для создания стен, потолков и крыш (структура и крепежные конструкции из дерева, структура со стропилами, и остальные). Covertек, помимо выполнения стандартных обработок, предполагает также выполнение шпунтовых соединений, подпорок, отверстий, соединений, художественной резьбы при помощи пантографа и т.д.). Блокирование заготовки происходит при помощи четырех независимых пневматических или гидравлических зажимов с возможностью поворота заготовки. Станок имеет двойной 5-ти осевой электрошпиндель для оптимизации времени выполнения обработки (рис. 5.74)

Обрабатывающий 3-х и 4-х осевой центр МАХИМА с числовым контрольным управлением с несколькими обрабатывающими группами представляет собой структуру в виде зафиксированного портала и независимыми

мобильными рабочими столами (рис.5.75). Центр гарантирует максимальные эксплуатационные характеристики и гибкость, необходимую на среднем и крупном производстве. Пример конфигурации рабочих органов представлен на рисунке 5.76.



Рисунок 5.73 - Внешний вид обрабатывающего центра Covertek



Рисунок 5.74 - Вид рабочих органов Covertek



Рисунок 5.75 - Внешний вид обрабатывающего центра МАХИМА

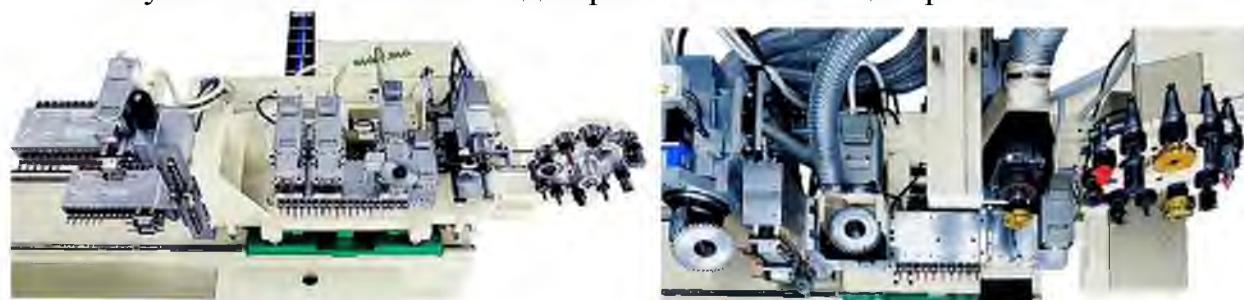


Рисунок 5.76 - Пример конфигурации рабочих органов

Станки серии EASY W это многофункциональные обрабатывающие центры с ЧПУ с 3 интерполированными осями, балочными или матричными столами, предназначенные для сверления, фрезерования панелей из ДСП, МДФ, массива и других заготовок. Обрабатывающий центр с ЧПУ EASY W (рис. 5.77) является компактным, точным, надежным обрабатывающим центром с высокими техническими возможностями, способен выполнять широкий круг задач на высоком качественном уровне. Деревообрабатывающий центр с ЧПУ с 3-мя интерполированными осями предназначен для фрезерования, сверления и раскроя материала.



Рисунок 5.77 - Внешний вид обрабатывающего центра EASY W, его рабочие органы, панель управления

Станина станка представляет из себя единый жесткий компонент, выполненный из стальных профилей большой толщины, усиленных в нагруженных участках. Скольжение ортогональных осей X-Y-Z происходит по сферическим точным направляющим. Основная каретка по оси X установлена на ректифицированную зубчатую рейку и редуктор точности. Рабочая зона машины предрасположена для монтажа траверс с 2-мя боковыми упорами и разделена на две рабочие зоны для маятниковой загрузки, где каждая зона управляется ножной педалью для блокирования заготовки со стартом для начала обработки. Заготовка блокируется вакуумной системой. Электропневматическая установка соответствует нормативам IP54 с командами и фронтальным доступом к станку для проведения технического обслуживания. Пневматические суппорты контролируются автоматической системой машины. Данная система располагает 2 суппортами на каждую рабочую зону, которые управляются вместе или по отдельности через программу. Блок сверления из 16 шпинделей, из которых 5 вертикальных расположены по оси X и 5 вертикальных расположены по оси Y; 2+2 горизонтальных независимых, противопоставленные друг другу для торцового сверления по оси X; 1+1 горизонтальных, противопоставленные друг другу для сверления кромки панели по оси Y; имеется пила диаметром 120 мм.

Каждый отдельный шпиндель запускается пневматической системой. Диаметр крепления цилиндрического инструмента – 10 мм.; электродвигатель мощностью 3 кВт, запускающий шпинделя, подключён к независимой линии электроснабжения; имеется внедрённая система вытяжки опилок. Группа высокочастотного электрошпинделя на 9 кВт с изменяемой скоро-

стью вращения до 18.000 об/мин, с постоянным воздушным охлаждением и креплением для шпинделя типа ISO30. Электрошпиндель позволяет произвести быструю смену инструмента, обладает датчиками безопасности и циклическим блокированием и разблокированием патрона с инструментом. Вал мотора обработан и ректифицирован для балансировки при вращении и для динамики. Высокоточные керамические подшипники обладают косвенным контактом и эластичной нагрузкой. Система автоматической смазки непрерывно подаёт специальное смазывающее вещество к подшипникам, а система типа лабиринт защищает от проникновения пыли и обеспечивает герметичность. Для управления скоростью рабочей группы использован статический преобразователь частоты со схемами управления и сигнализацией, группой торможения со ступенчатой подачей тока. Система предусматривает чередующуюся смену инструмента. Характеристики программного обеспечения: ПУ, базирующееся на ОС компьютера; 64 битные счетчики энкодера; виртуальные интерполяционные плоскости (стек виртуальных плоскостей); передовая диагностика, положение I/O, положение осей, встроенный осциллограф в режиме реального времени; журнал ошибок, сообщения об ошибках программы; подключение к телесервису; симулятор 3D в режиме реального времени с автономным управлением программами, расчет времени выполнения и проверка коллизий; обнаружение и подавление вибраций и механических резонансов; встроенная диагностика приводов; память для хранения данных пользователя.

Круглопильный станок Ц6-2 (рис. 5.78) предназначен для продольной, поперечной и под углом к кромке распиловки досок, брусьев, древесных, плитных и листовых материалов. Станина станка - жесткая сварная конструкция коробчатой формы. Вверху установлен рабочий чугунный стол. На столе крепится направляющая линейка усиленной конструкции, ограждение пилы с патрубком для стружкоотсоса и когтевой защитой от обратного выброса заготовки. Внутри станины расположен суппорт с приводом и механизм регулировки степени выступания пильного диска над столом станка. Пильный вал станка приводится во вращение от электродвигателя двумя клиновидными ремнями. Пильный вал по высоте устанавливается вручную. Принципиальная электрическая схема станка представлена на рисунке 5.79.

Напряжение на схему подается с помощью пакетного переключателя **SI**. Запуск производится нажатием на кнопку **SB2**, при этом получает питание катушка магнитного пускателя **KM1** и силовые контакты ее подключают электродвигатель **M1**. Когда угловая скорость достигнет 10% от номинальной срабатывают контакты реле контроля скорости **SRI** и подготавливается цепь питания катушки **KM2**. При нажатии кнопки **SB1** «Стоп» замыкается блокировочный контакт **KM1** в цепи **KM2** и электродвигатель переходит в режим противовключения, происходит быстрое торможение (0,1 с). При достижении скорости близкой к нулю контакты **SRI** размыкаются.



Рисунок 5.78– Внешний вид станка Ц6-2

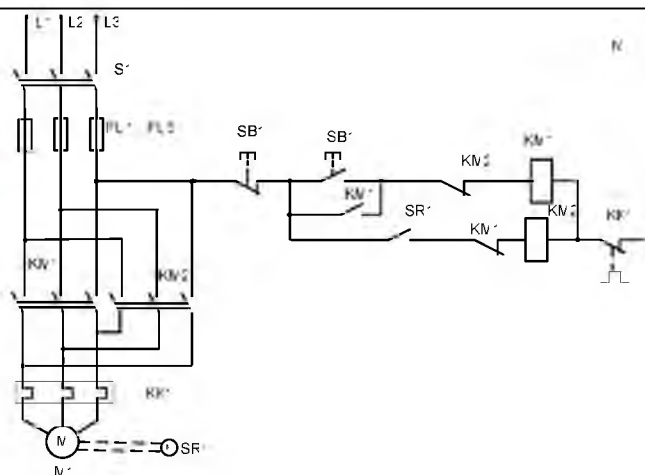


Рисунок 5.79– Схема электрическая принципиальная станка Ц6-2

Станок ленточнопильный горизонтальный "Спектр-70" (рис.5.80) применяется для пиления древесины любой твердости на доски, брус, рейку. Пиление происходит перемещением пильной рамы с режущим инструментом (ленточной пилой) по неподвижным рельсовым направляющим ленточной пилорамы.



Рисунок 5.80 – Внешний вид ленточно-пильного станка «Спектр-70»

На станке ленточнопильном горизонтальном установлены электродвигатель главного привода *M1*, электродвигатель подъема и опускания пильной рамы *M2* (рис.5.81). Электроаппаратура управления работой станка смонтирована на станине пильной рамы. Клеммная коробка ввода электропитания станка расположена на неподвижных рельсовых направляющих и посредством гибкой связи соединена со шкафом управления. Электрическая схема предусматривает работу станка в следующих режимах.

Пуск главного привода осуществляется нажатием на кнопку *SB3*, при этом срабатывает магнитный пускатель *KM1* и электродвигатель главного привода начинает работу. Подъем и опускание пильной рамы производится нажатием на кнопок *SB4* и *SB5*. Аварийное отключение станка осуществляется кнопкой *SB1* типа «Грибок». Защита электродвигателей и аппаратов от коротких замыканий осуществляется автоматическими выключателями. Защита электродвигателя главного привода от перегрузки - тепловым реле. Размыкаемые контакты конечных выключателей *SQ1* и *SQ2* не разрешают включение главного привода станка при открытых дверцах защитных кожухов.

хов пильных шкивов. Конечные выключатели *SQ3* и *SQ4* отключают двигатели подъема и опускания пильной рамы в крайнем верхнем и крайнем нижнем ее положениях, соответственно.

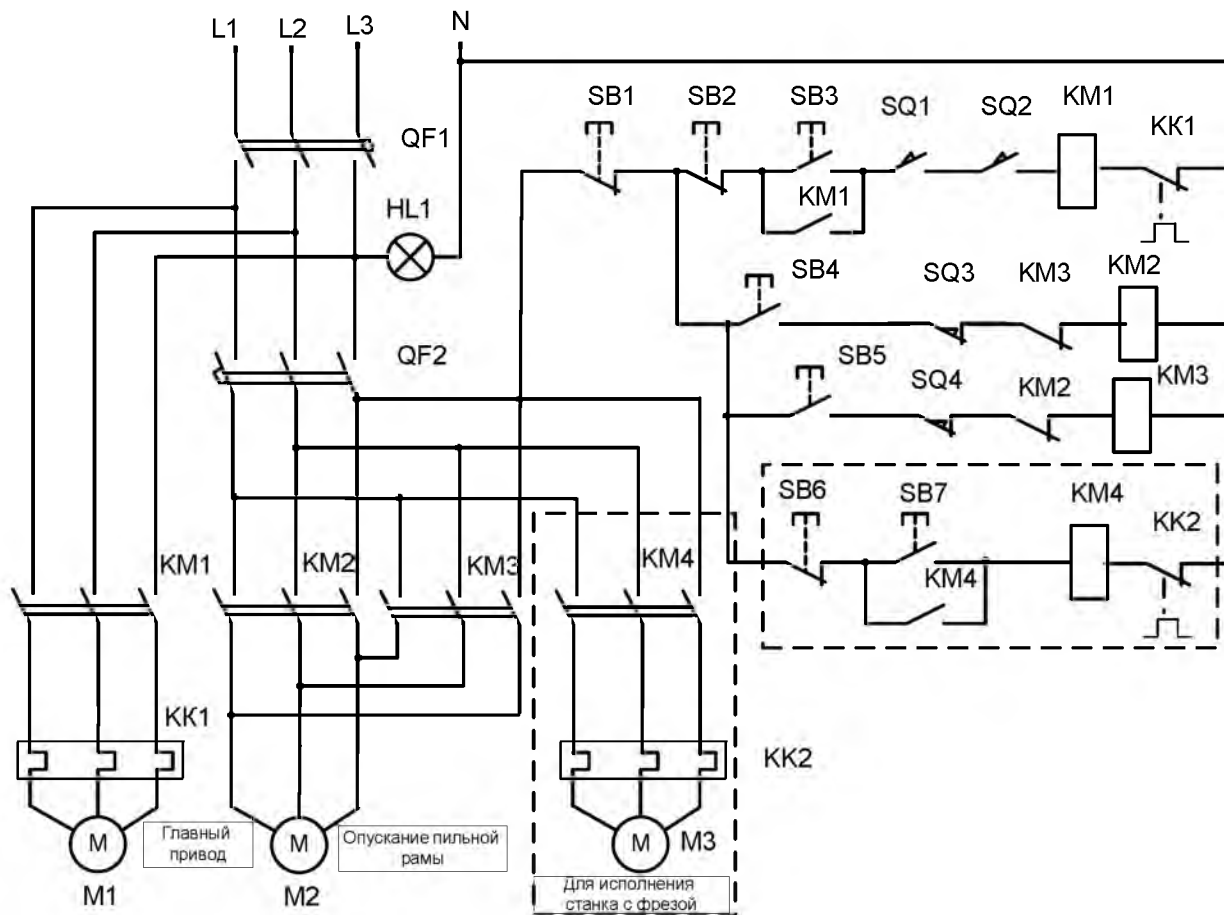


Рисунок 5.81– Схема электрическая принципиальная станка ленточнопильного станка «Спектр-70»

Пилорама рамная Р63-4Б (рис. 5.82) предназначена для продольной распиловки брёвен и брусьев различных пород древесины на пиломатериалы. Пилорамы Р63-4Б могут применяться как станок первого ряда в лесопильных цехах большой мощности, так и на малых производствах.

Основой конструкции является сварная цельная станина с расположенными на ней узлами. Компоновка двухшатунная. Подача и прижим сырья электромеханический. Пилорама Р63-4Б комплектуется девятискоростной коробкой передач. Распиловка брёвен осуществляется возвратно-поступательным перемещением пильной рамки с укрепленным на ней поставом (набором) пил по направляющим. Движение к пильной рамке передаётся от главного вала шатуном. Подача распиливаемого бревна осуществляется системой мощных литых рифлёных подающих роликов (рябух) со скоростью до 6,5 м/мин, что обеспечивает высокую производительность пилорамы. Производительность, при условии механизации процесса пиления, среднем диаметре бревна в вершине 260 мм, величине посылки 6 мм на один двинной ход пильной рамки, количестве пил в поставе - 6, пиление брусово-развальным способом, достигает порядка 6м.куб/час по сырью.



Рисунок 5.82– Внешний вид лесопильной рамы Р63-4Б

Механизм резания состоит из электродвигателя, клиноременной передачи, коренного вала, двух маховиков, двух шатунов, пильной рамки с набором рамных пил. Пильная рамка клепано-сборной конструкции из листовой стали, двух вертикальных труб, верхняя и нижняя траверсы, ползуны, и набор рамных пил. На верхней траверсе имеются механизмы натяжения рамных пил, которые состоят из двух клиньев и эксцентрикового механизма. Верхняя траверса снабжена пальцами для шарнирного крепления на ней шатунов. Шатун служит для шарнирного соединения коренного вала с пильной рамкой.

Своей нижней головкой они монтируются через подшипники качения на кривошипных пальцах коренного вала, а верхний – на цапфах траверсы пильной рамки. Кривошипно-шатунный механизм предназначен для преобразования вращательно движения коренного вала в возвратно-поступательное движение пильной рамки. На концы вала насажены два маховика, с эксцентрично, расположенных на них кривошипными пальцами. Вал вращается на подшипниках качения, подшипниковые опоры которых крепятся к станине. Первый маховик одновременно служит ведомым приводным шкивом, получающим вращение от электродвигателя, установленного на отдельном фундаменте, через клиноременную передачу. Вторым маховиком служит одновременно тормозным барабаном для ручного ленточного тормоза и снабжен по периферийной поверхности зубьями для зацепления собачек рычажно-храпового механизма.

Механизм подачи. Он включает в себя два нижних и два верхних подающих вальцов, цепной передачи, открытой зубчатой передачи и привода механизма подачи. Нижние вальцы рифленые подают распиливаемое бревно в лесопильную раму и состоят из переднего и заднего вальцов и цепной передачи. Между ведущими звездочками установлена натяжная звездочка. Каждый из вальцов включает в себя вал и насаженных на них рифленые вальцы, вращающихся на подшипниках качения. Верхние вальцы такой же конструкции предназначены для прижима бревна к нижним вальцам и подачу его в лесопильную раму. Вальцы поднимают и опускают с помощью зубчатой передачи. Вращение с маховика передается на горизонтальный вал, на котором крепится прямозубая ведущая шестерня, входящая в зацеплении с зубчатой рейкой. Привод верхним вальцам передается вращением с нижних вальцов на верхние с помощью цепной передачи. Привод представляет собой

цепную передачу, состоящую из системы звездочек и регулируемых направляющих. Тормоз, предназначен для быстрого останова коренного вала лесопильной рамы. Тормоз ручной, ленточного типа и состоит из рукоятки, системы рычагов и стальной ленты наклепанной на нее фрикционной лентой, которая охватывает маховик коренного вала. Имеются конструктивные отличия в отдельных модификациях пильных рам. Одна из схем управления электроприводом представлена на рисунке 5.83.

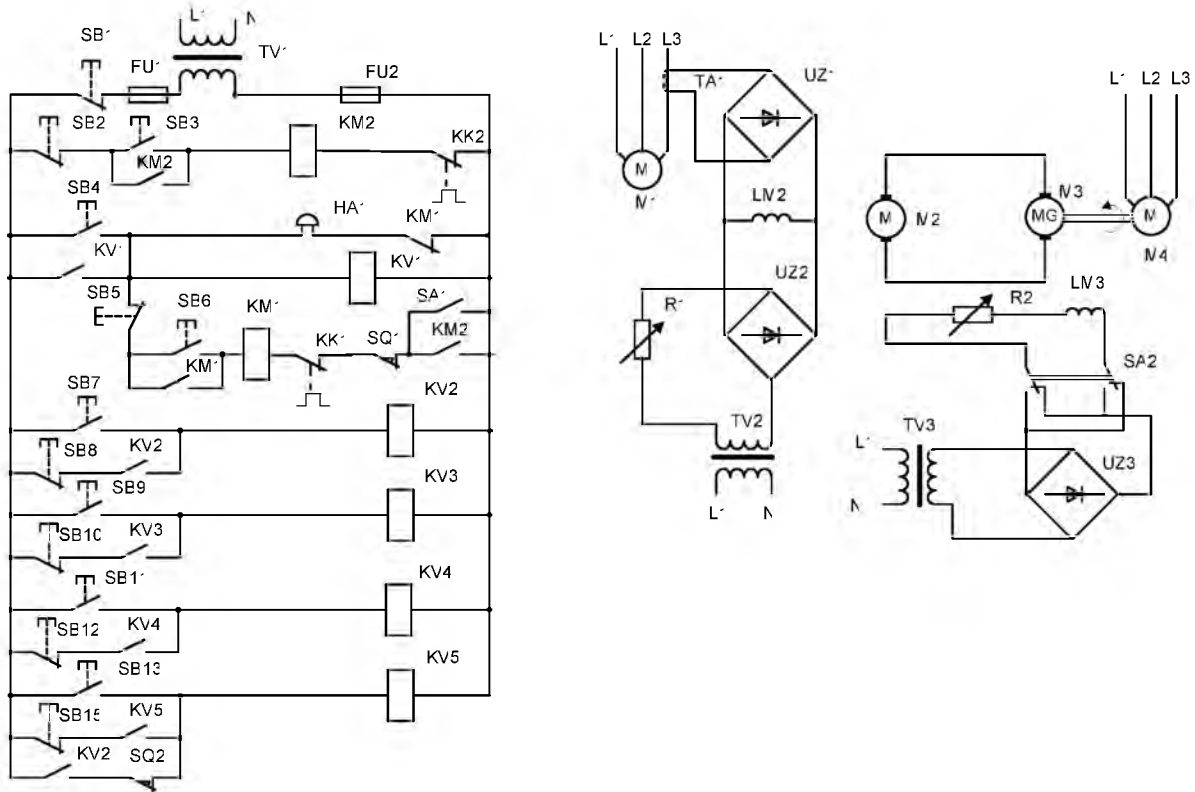


Рисунок 5.83– Схема электрическая принципиальная лесопильной рамы P63

Первоначально, при помощи магнитного пускателя **KM2** вводят в работу электродвигатель гидронасоса **M1**. Блокировочный контакт **KM2** подготавливает цепь питания катушки магнитного пускателя **KM1** основного электродвигателя. Конечный выключатель **SQ1** будет замкнут при условии снятия маховика с ручного тормоза. После этого нажимая на кнопку **SB4** включают звуковой сигнал (сирена) **HA1** и промежуточное реле **KV1**, которое шунтирует кнопку **SB4**. Кнопкой **SB6** подается напряжение на катушку магнитного пускателя **KM1**, которой подает напряжение на электродвигатель **M1** и отключается сирена. Нажимая на кнопку **SB7** подается напряжение на реле **KV2**, которое включает соленоид, открывающий доступ масла в цилиндр подъема переднего вальца. Если при этом задние вальцы были в верхнем положении, то под напряжением оказывается промежуточное реле **KV5**, включающее соленоид на их опускание. Кнопкой **SB9** подают напряжение на катушку **KV3** и опускаются передние вальцы, а кнопкой **SB11** подают команду на подъем задних вальцов. Повышению производительности лесопильных рам способствует автоматическая подача материала к пильной рамке. Электропривод механизма подачи автоматически скорость движения бревна в по-

став при изменении тока основного электродвигателя. Механизм подачи приводится двигателем *M2* постоянного тока независимого возбуждения. Двигатель *M4* механически связан с генератором постоянного тока *M3*, который питает двигатель подачи *M2*. Угловую скорость машины *M2* можно регулировать в широком диапазоне изменяя подаваемое напряжение на якорь и ток возбуждения двигателя. Начальная скорость этой машины задается напряжением генератора, а подачу регулируют в зависимости от потребляемого тока двигателем *M1* и изменяя ток возбуждения *M2*. В схеме применено компаундирование: к основному току возбуждения *M2* добавляют ток, пропорциональный току статора приводного двигателя *M1*. С увеличением нагрузки главного электродвигателя поток возбуждения двигателя подачи становится больше, а угловая скорость уменьшается до тех пор, пока нагрузка главного привода не уменьшится до заданного уровня.

Пример 1. Подобрать электродвигатель для привода круглопильного станка при следующих исходных данных: $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $D = 0,6 \text{ м}$, $b = 5 \text{ мм}$, $h = 500 \text{ мм}$, $z = 100$, $k_{\text{п}} = 14$, $S = 4,32 \text{ м}^2/\text{ч}$, удельное сопротивление резанию $k_{y\partial} = 20 \text{ Н/мм}^2$.

Определим линейную скорость резания и угловую скорость пилы:

$$v = \pi D n / 60 = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 3000 / 60 = 94,2 \text{ м/с.}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}$$

Определим скорость подачи:

$$u = \frac{u_z \cdot z \cdot \omega}{2\pi \cdot 1000} = \frac{1 \cdot 100 \cdot 314}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000} = 5 \text{ м/с.}$$

Мощность необходимая на резание древесины составит:

$$F_{\text{рез}} = \frac{k_{y\partial} \cdot b \cdot h \cdot u}{v} = \frac{20 \cdot 5 \cdot 500 \cdot 5}{94,2} = 2654 \text{ Вт}$$

Выбираем асинхронный двигатель из условия $P_{\text{н.дв.}} \geq P$:

Тип электродвигателя - АИР112МА6. Номинальная мощность $P_{\text{н}} = 3,0 \text{ кВт}$. Номинальная частота вращения вала $n_{\text{н}} = 950 \text{ мин}^{-1}$.

Пример 2. Определить мощность электродвигателя привода станка для продольного раскроя досок с механической подачей материала. Имеются следующие исходные данные: материал – сосна; $k = 40$, $b = 300 \text{ мм}$, $h = 5 \text{ мм}$, $u = 0,1 \text{ м/с}$, $v = 0,8 \text{ м/с}$, $\eta_{\text{ст}} = 0,8$, $\eta_{\text{п}} = 0,9$; $f_{\text{мп}} = 0,35$; $f_{y\partial} = 30 \text{ Н/мм}^2$; $m_n = 4 \text{ кг}$; $\varphi = 30^\circ$.

Определим усилие резания:

$$F_{\text{рез}} = \frac{f_{y\partial} \cdot b \cdot h \cdot u}{v} = \frac{30 \cdot 300 \cdot 5 \cdot 0,1}{0,8} = 4500 \text{ Н}$$

Соответственно можно определить и мощность резания:

$$P_{pez} = F_{pez} \cdot v = 4500 \cdot 0,8 = 5625 \text{ Вт}.$$

Определим общие усилия подачи:

$$\begin{aligned} F_n &= F_{pez} \cos\varphi + F_0 \sin\varphi + (m_n g + F_{pez} \sin\varphi - F_0 \cos\varphi) f_{мп} = \\ &= 4500 \cdot 0,87 + 0,2 \cdot 4500 \cdot 0,5 + (4 \cdot 9,81 + 4500 \cdot 0,2 - 0,2 \cdot 4500 \cdot 0,87) \cdot 0,35 = \\ &= 4420 \text{ Н} \end{aligned}$$

Мощность необходимая на подачу составит:

$$P_n = F_n \cdot u = 4420 \cdot 0,1 = 442 \text{ Вт}.$$

Расчетная мощность приводного электродвигателя определится по формуле:

$$P_{дв\ расч} = \frac{P_{pez} + P_n}{\eta_{пер}} = \frac{5625 + 442}{0,8 \cdot 0,9} = 8426 \text{ Вт}.$$

Необходимый электродвигатель далее принимается по справочнику из условия $P_{н\ дв} \geq P_{дв\ расч}$.

Контрольные вопросы

1. По каким группам классифицируются станки?
2. Какие бывают станки по показателям точности и степени автоматизации?
3. Как определить производительность станка?
4. Укажите особенность кинематических схем станков.
5. Объясните механические и нагрузочные характеристики при различных способах регулирования.
6. Приведите механические характеристики механизмов подачи.
7. Что такое регулирование по двухзонной схеме?
8. Укажите оптимальные параметры при динамическом торможении и приведите механические характеристики.
9. Расскажите методику расчета мощности электродвигателей станков.
10. Приведите схему управления сверлильного станка, расскажите принципы автоматизации, укажите назначение элементов схемы сложных станков.
11. Приведите схему управления фрезерного станка и расскажите принципы автоматизации их работы.
12. Перечислите основное электрооборудование шлифовальных станков.
13. Особенности схем управления токарных станков.
14. Типы электрических машин, применяемых в электроприводах станков.
15. Укажите особенности приводных характеристик деревообрабатывающих станков.
16. Перечислите типы деревообрабатывающих станков.
17. Приведите формулы по определению расчетной мощности электродвигателя деревообрабатывающих станков.
18. Приведите схемы управления деревообрабатывающих станков и укажите принципы автоматизации.

6. ЭЛЕКТРОПРИВОД РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

6.1. Приводные характеристики ручных электрифицированных машин

Технологические машины со встроенными двигателями, при работе которых их масса полностью или частично воспринимается руками оператора, производящего подачу и управление машиной, называются **ручными машинами**.

Технологические характеристики. Ручные машины классифицируют по роду электрического тока двигателя, по характеру и виду движения рабочего органа, принципу действия рабочего органа на обрабатываемые материалы, по видам выполняемых работ и другим признакам. Внутри каждого класса (группы) ручные машины могут иметь дополнительные признаки деления на подгруппы, в том числе по видам скорости, обеспечению безопасности работ, способу преобразования энергии и др.

Электрические ручные машины подразделяются на машины с электрическими двигателями и приводами: постоянного тока, однофазного переменного тока с коллекторными и асинхронными двигателями; трехфазного переменного тока с асинхронными двигателями промышленной и повышенной частоты тока. К ручным машинам с электрическим приводом относят: сверлильные, шлифовальные, полировальные, гайковерты, молотки, перфораторы, пилы дисковые, рубанки, вибраторы, ножницы, краскораспылители, машины для стрижки овец, машины для обрезки кустарников и деревьев, и многие другие механизмы.

Данный тип машин подразделяются: по исполнению и регулированию скорости — прямые (оси рабочего органа и привода параллельны или совпадают), угловые (оси рабочего органа и привода расположены под углом), реверсивные и нереверсивные, односкоростные и многоскоростные; по характеру движения рабочего органа — машины с вращательным, возвратно-поступательным и сложным движением.

К электроприводу ручных инструментов предъявляется целый комплекс требований. Двигатели ручных электрифицированных машин должны быть рассчитаны на продолжительность включения 40, 60, 100%. Во время работы необходимо следить за температурой корпуса электроинструмента, которая не должна превышать температуру окружающего воздуха больше чем на 20°. Ручные электрифицированные машины должны удовлетворять ряду технико-экономических требований и прежде всего, быть безопасными, легкими и надежными в работе. Масса двигателя составляет 75-85% общей массы ручного инструмента, и для ее уменьшения часть деталей электроинструмента изготавливают из алюминиевого сплава, полимерных материалов и применяют высокоскоростные двигатели. Перегрузочная способность двигателей должна быть большой, чтобы двигатель не останавливался при больших подачах. Жесткая механическая характеристика двигателя необходима для обеспечения постоянства скорости движения рабочего органа.

В ручных электрифицированных машинах большое внимание уделяется вопросам электробезопасности. Данный тип машин изготавливают трех классов в зависимости от метода защиты оператора (рабочего). **Машина класса I** - машина, в которой защиту от поражения электрическим током обеспечивают как основной изоляцией, так и дополнительными мерами безопасности, при которых доступные токопроводящие части соединены с защитным (заземляющим) проводом сети таким образом, что не могут оказаться под напряжением в случае повреждения основной изоляции. Для машин, предназначенных для использования с гибким кабелем или шнуром, предусматривается защитный провод, являющийся частью гибкого кабеля или шнура.

Машина класса II - машина, в которой защиту от поражения электрическим током обеспечивают как основной изоляцией, так и дополнительными мерами безопасности, такими как двойная и усиленная изоляция, которая не имеет защитного провода или защитного контакта заземления. На корпус машины такого класса наносится специальный знак - квадрат в квадрате.

Машина класса III - машина, в которой защиту от поражения электрическим током обеспечивают путем ее питания безопасным сверхнизким напряжением и в которой не возникают напряжения больше, чем безопасное сверхнизкое напряжение.

Безопасное сверхнизкое напряжение - номинальное напряжение, не превышающее 42 В между проводниками и между проводниками и землей, или в случае трехфазного питания не превышающее 24 В между проводниками и нейтралью, при этом напряжение холостого хода не превышает соответственно 50 и 29 В.

В электрических машинах различают несколько видов изоляции:

- **рабочую** или функциональную – необходимую для работы и осуществляющую основную защиту оператора от поражения электрическим током (эмаль и оплетки обмоточных проводов, пазовая изоляция машин, пропиточные лаки, изоляция жил кабеля и проводов внутренних соединений);

- **дополнительную** – предусмотренную дополнительно к рабочей (независимо от последней) и предназначенную для защиты оператора от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции (пластмассовый корпус, изолирующая втулка и т.п.);

- **двойную** – комбинацию рабочей и дополнительной изоляции;

- **усиленную** – улучшенную рабочую изоляцию, обеспечивающую такую же степень защиты оператора от поражения электрическим током, как и двойная изоляция.

Для исключения воздействия вредных и опасных факторов следует использовать предохранительные устройства и электротехнические средства: устройство защитного отключения (УЗО); разделительный трансформатор; предохранительные устройства (защитные кожухи кругов, устройство защиты от обратного удара и т.п.); электротехнические средства (диэлектрические перчатки, галоши, коврики).

В научной литературе имеются формулы, показывающие связь массы электродвигателя с мощностью, частотой и числом пар полюсов:

$$G_{\text{дв}} = AP^{3/4} \cdot (2p)^\alpha \cdot f^{-\alpha} \cdot e^{-a/2b}, \quad (6.1)$$

где $G_{\text{дв}}$ – масса электродвигателя, кг; A – постоянный коэффициент, зависящий от исполнения асинхронного двигателя; P – мощность электродвигателя, кВт; $2p$ – число пар полюсов; f – частота сети, Гц; $a = 1/3$, $b = 0,0096$ – постоянные эмпирические коэффициенты.

При использовании электродвигателей повышенной частоты тока для привода рабочей машины или механизма увеличивается передаточное число, и возникает необходимость в установке редуктора. Известно, что единица объема редуктора способна передавать во много раз больший крутящий момент, чем единица объема ротора электродвигателя. При этом учтены не только компактность и малая масса системы, состоящей из быстроходного электродвигателя и редуктора с большим передаточным числом, но и более низкая стоимость, так как единица объема и массы редуктора стоит значительно дешевле, чем единица объема ротора электродвигателя. Следовательно, зная зависимость массы электродвигателя от мощности и скорости вращения и определив массу редуктора по мощности и передаточному числу, можно найти наименьшую суммарную массу электродвигателя и редуктора для данной системы (рисунок 6.1).



Приближенная зависимость массы редуктора в функции мощности и передаточного числа $G_{\text{ред}} = f(P, i)$ аналитически может быть выражена следующим образом:

$$G_{\text{ред}} = a \cdot P + P \cdot f(P) \cdot i = aP + P \cdot b \cdot i, \quad (6.2)$$

где $G_{\text{ред}}$ – масса редуктора, кг; a – постоянный коэффициент для данного класса редуктора; P – мощность электродвигателя, кВт; i – передаточное число от электродвигателя к рабочей машине; b – коэффициент, учиты-

ывающий в основном массу самой передачи при определенном передаточном числе в зависимости от мощности электродвигателя, т. е. $b = f(P)$ при $i = \text{const}$.

Известна также эмпирическая формула, позволяющая определить общий вес электроинструмента в зависимости от мощности и частоты вращения вала электродвигателя:

$$G_{э.и.} = 0,127 + 0,12 \cdot 10^{-4} \cdot n + 1,9 \cdot P \cdot \gamma_0, \quad (6.3)$$

где n - частота вращения вала электродвигателя, мин^{-1} ; γ_0 - удельная масса электродвигателя, кг/кВт .

В приводе ручных машин для снижения массы электродвигателей осуществляют их питание напряжением повышенной частоты. Так, переход с помощью специальных преобразователей на питание электродвигателей с частотой 50 на 400 Гц уменьшают массу электродвигателей в 3,5 раза. Применение высокочастотных двигателей, имеющих жесткую характеристику, удобно для ручных машин с высокими скоростями рабочих органов, в которых изменение нагрузки одновременно не должно существенно влиять на частоту вращения вала.

Для тихоходных (200–1000 об/мин) электрифицированных сельскохозяйственных машин и механизмов с точки зрения уменьшения массы системы наиболее подходят электродвигатели с частотой вращения 6000–12000 об/мин. Такие двигатели при частоте 200 Гц могут быть выполнены соответственно с двумя и с одной парой полюсов, а при 400 Гц – с четырьмя и с двумя парами полюсов.

В литературе описываются работы, проведенные с целью определения рациональной частоты тока для электроинструментов, применяемых в садоводстве. В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением частоты тока одновременно увеличиваются скорость резания и мощность, уменьшаются удельное усилие и момент резания. С увеличением частоты тока от 50 до 150 Гц скорость резания изменялась от 17,6 до 48,5 м/с, а мощность – от 15 до 100 Вт. В этом диапазоне полный срез веток происходил при их диаметре до 20 мм, что составило 65% от общего количества срезаемых ветвей. Увеличение частоты тока до 250 Гц привело к увеличению скорости резания до 77,5 м/с, при этом мощность составила 164 Вт. Увеличился диаметр срезаемых ветвей до 30 мм.

От всех электроинструментов существенно отличаются разработанные и серийно выпускаемые японской фирмой «Makita» два электросекатора, предназначенные для работы в саду (рис. 6.2 и 6.3).



Рисунок 6.2 – Аккумуляторный секатор Makita 4603 DW



Рисунок 6.3 – Аккумуляторный секатор Makita 4604 DW

Преимуществами данных типов секаторов являются их массогабаритные показатели, простота в обслуживании, дизайн, отличная эргономика и безот-

казность в работе. Отличительными особенностями секатора Makita 4604 DW являются: увеличенная мощность аккумулятора, возможность перерезания веток большей толщины и более широкая комплектация. Технические характеристики данного инструмента, которые представлены в таблице 6.1, удовлетворяют самым высоким современным требованиям.

Таблица 6.1 – Технические характеристики аккумуляторного секатора Makita 4603 DW

- Макс. толщина ветвей	25 мм
- Число ходов в режиме х.х.	100 ход/мин
- Время зарядки аккумулятора	1 час
- Число резов без подзарядки:	
при толщине ветвей 5 мм	- около 11000
при толщине ветвей 15 мм	- около 6000
при толщине ветвей 25 мм	- около 2000
- Скорость резания веток диаметром 25 мм	0,4 сек
- Аккумулятор	14,4 V, 4,0 Ah
- Вес секатора	1 кг
- Вес аккумулятора	2,5 кг

В Ставропольском ГАУ была разработана конструкция электрифицированного секатора на базе линейного электродвигателя, представленная на рисунке 6.4.

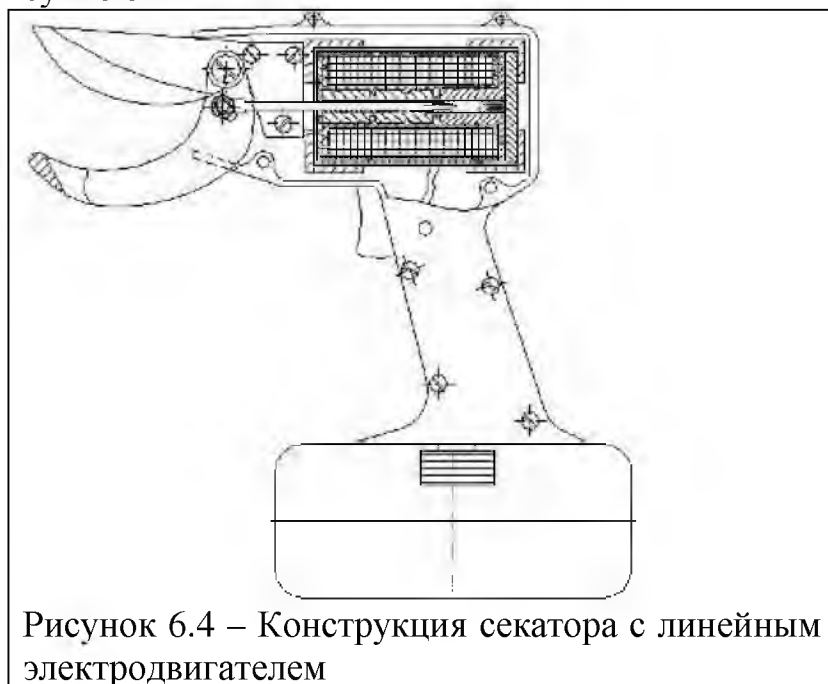


Рисунок 6.4 – Конструкция секатора с линейным электродвигателем

Данный секатор действует следующим образом: при нажатии оператором курка на катушку линейного двигателя подается постоянное напряжение, якорь двигателя под действием электромагнитных сил приходит в движение и перемещается, в результате чего лезвия секатора, с которыми якорь связан посредством металлической штанги, замыкаются. Когда работник отпускает курок, электрическая цепь размыкается, и якорь под действием пружины возвращается в исходное положение, лезвия секатора размыкаются.

Для предотвращения случайного замыкания лезвий в конструкции аккумулятора

торного секатора предусмотрена предохранительная кнопка, нажатие которой блокирует курок.

В Северо-Кавказском НИИ горного и предгорного садоводства разработаны электроветкорезы типа ЭВР и электропилы садовые ЭПС. Электрический веткорез предназначен для подетальной обрезки ветвей плодовых культур и кустарников. Электроветкорез может быть выполнен в трех вариантах: ручка короткая, средняя и удлиненная (с 1,5-2 метровым штоком) (рис.6.5). Привод осуществляется от высокочастотного (200 Гц) электродвигателя к дисковой пиле на валу. Весь агрегат укомплектован десятью электроветкорезами и высокочастотным генератором, смонтированным на раме трактора Т-25М.

Электропилы сделаны в двух вариантах: с одним двигателем и одним ножовочным полотном ЭПС-01; с двумя двигателями и двумя ножовочными полотнами, двигающимися возвратно-поступательно во встречных направлениях ЭПС-02 (рис.6.6). Эти электропилы предназначены для механизированной обрезки ветвей плодовых деревьев диаметром в плоскости среза до 100 мм. Электропилы типа ЭПС также могут входить в состав агрегата вместе с электроветкорезами. Кроме перечисленных инструментов был также разработан электрический кусторез ЭКР-1, предназначенный для срезания тонкомерного кустарника с диаметром ветвей в плоскости среза до 35 мм. Данный кусторез представляет облегченную конструкцию с высокочастотным электродвигателем.



Рисунок 6.5 – Внешний вид веткорезов различного исполнения.



Рисунок 6.6 – Внешний вид электропил различного исполнения

Особенности **механических и энергетических** характеристик. Для обрезки веток и лозы применяют механизированные инструменты с рабочим органом в виде режущей пары (секатор). В связи с тем, что предел прочности древесины и лозы колеблется в больших пределах (от 295 до 390 Н/см²) и зависит от многих факторов (порода дерева, возраст, диаметр ветки и т.д.), такие устройства не всегда качественно перерезают ветки. Исследования показали, что при перемещении лезвийной пары различных конструкций секаторов при скоростях 0,3 м/с, 0,45 м/с, 0,7 м/с, 0,95 м/с, соответственно им удельные давления составили: 147 Н/см², 294 Н/см², 392 Н/см², 588 Н/см². Для перерезки веток свыше 20 мм уже лучше применять дисковые пилы. Даже при больших скоростях резания (более 20 м/с) не происходит деформирования поверхностей веток, и срезы получаются ровными.

Рабочим органом дискового инструмента является фреза, укрепленная на валу встроенного в рукоятку секатора электродвигателя.

Энергоемкость процесса резания характеризуется мощностью

$$P = M_c \cdot \omega, \quad (6.4)$$

где M_c – момент сопротивления на валу фрезы, Н·м; ω – частота вращения фрезы, с⁻¹.

Для дискового режущего элемента момент сопротивления:

$$M_c = F \cdot R, \quad (6.5)$$

где F – окружная (касательная) сила резания, Н; R – радиус пилы, м.
Тогда:

$$P = F \cdot R\omega; \quad (6.6)$$

Окружная сила резания – составная часть результирующей силы резания F_1 :

$$F = F_1 \cdot \cos \alpha, \quad (6.7)$$

где α – угол между направлениями сил F и F_1 .

При статическом резании виноградной лозы дисковым элементом сила резания определяется согласно выражению:

$$F_1 \geq C + T, \quad (6.8)$$

где C – сила сопротивления древесины резания, определяемая ее физико-механическими свойствами; T – сила трения срезаемой ветви о плоскость пилы, в зависящая от угла отклонения φ ветви в процессе резания.

По итогам исследования получены следующие результаты. Номинальная мощность двигателя $P_n = 115$ Вт, $U_n = 36$ В, $f = 200$ Гц, $n_0 = 12000$ мин⁻¹. Дисковая фреза диаметром 60 мм, толщиной 1,5 мм имеет 40 зубьев и окружную скорость 37,68 м/с.

В настоящее время используется большое количество различных типов секаторов, но наиболее эффективным и распространенным является секатор обводного типа (с параллельными лезвиями). Электрифицированный секатор с линейным электродвигателем (Ставропольском ГАУ) имеет тяговую характеристику и характеристику противодействующих сил при обрезке лозы, которые представлены на рисунке 6.7.

Ф, Н

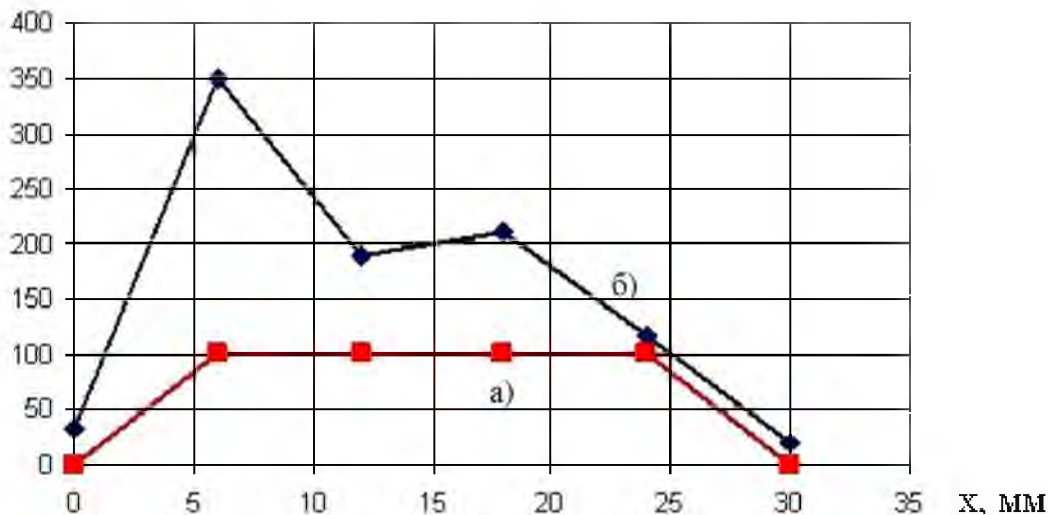


Рисунок 6.7 – Тяговая характеристика линейного двигателя (а) и характеристика противодействующих сил (б)

Существуют электроинструменты, у которых рабочим органом является ножовочное полотно. При использовании инструмента ножовочного типа за основу уравнения для определения мощности на резание можно использовать формулу:

$$P_{рез} = K \cdot Q, \quad (6.9)$$

где K – удельная работа резания, Дж/см³; Q - объем древесины, удаляемый с обрезаемой ветки за 1 с, см³/с.

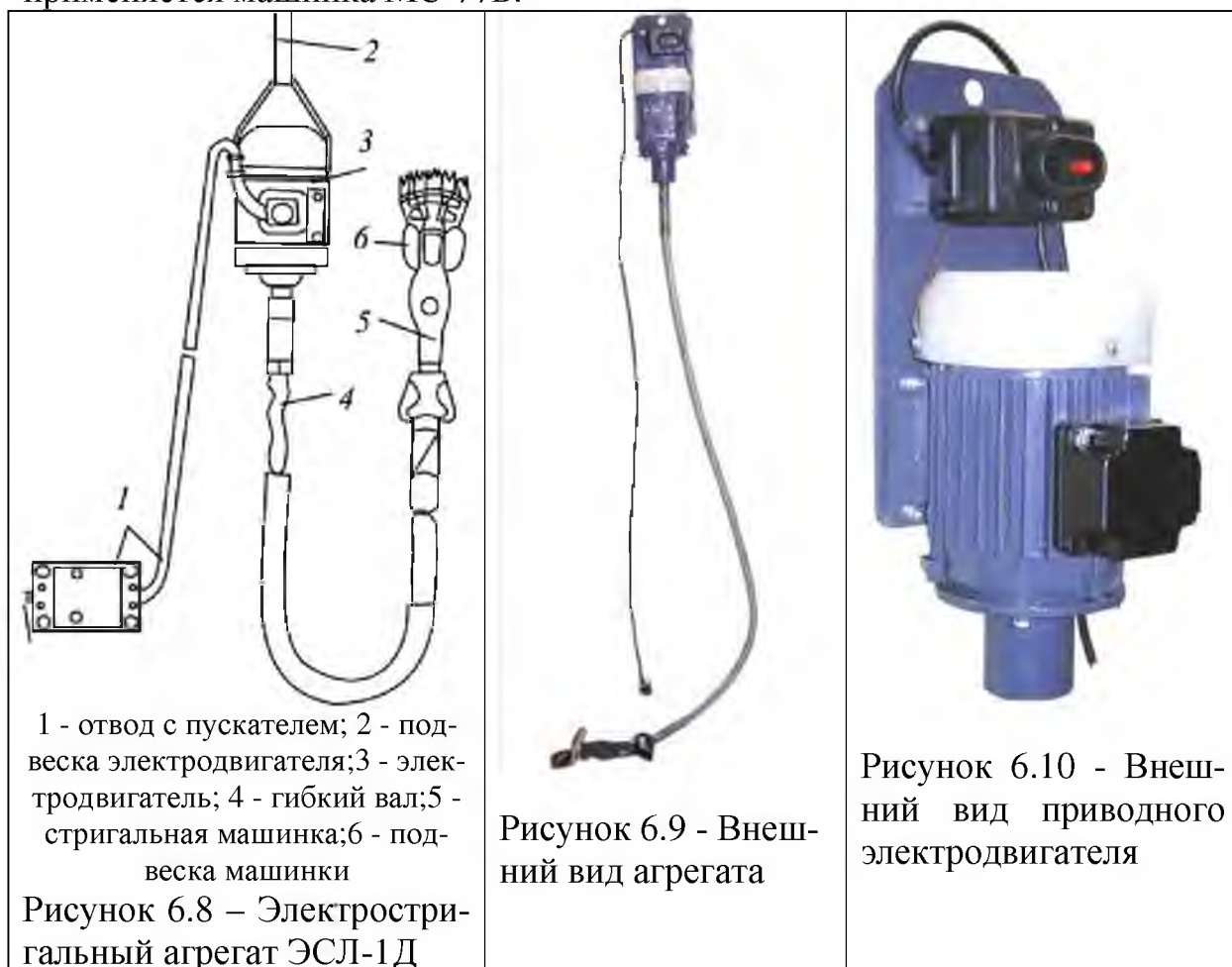
Объем удаляемой древесины можно вычислить по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot d_g \cdot U_z \cdot b \cdot V_p}{4 \cdot t_z}, \quad (6.10)$$

где d_g - диаметр ветки, мм; U_z - подача на один зуб, мм; b - ширина пропилы, мм; V_p - скорость резания, м/с; t_z - шаг зубьев, мм.

Технологический процесс обрезки характеризуется непостоянным моментом сопротивления на валу инструмента, режим работы чаще повторно-кратковременный с переменной нагрузкой или перемежающийся. Эти данные необходимо учитывать при выборе источника питания.

Ручные электрифицированные машины широко используются в овцеводстве при стрижки шерсти. Так до недавнего времени использовался агрегат ЭСЛ-1Д и его аналоги (рис.6.8 – 6.10). В качестве аппарата для стрижки применяется машинка МС-77Б.



Стригальная машинка МС-77Б состоит из алюминиевого корпуса, шарнирного, эксцентрикового нажимного механизмов и режущей пары. Шарнирный механизм состоит из передаточного вала, наружного кожуха, шестерен, внутреннего кожуха и предназначен для передачи вращения под раз-

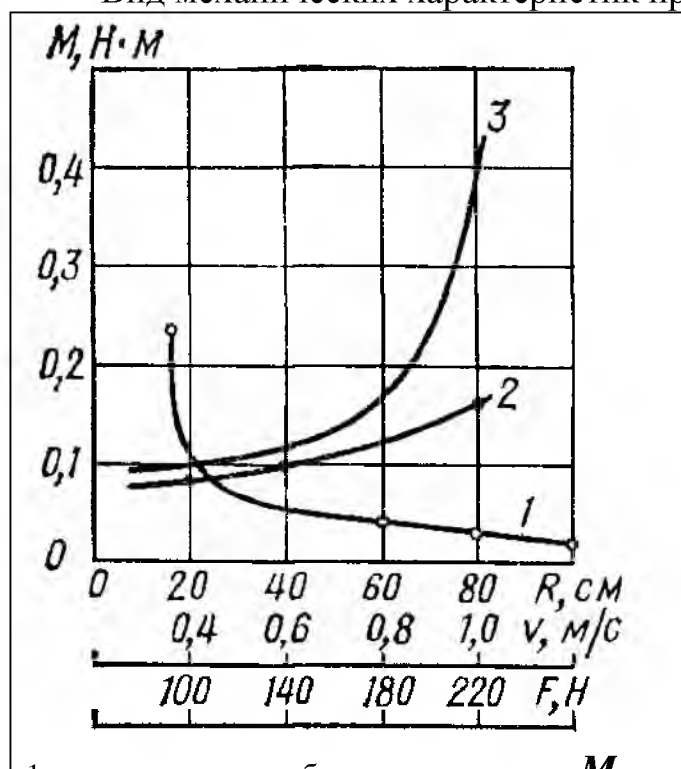
личным углом от гибкого вала к машинке. В эксцентриковом механизме вращательное движение эксцентрикового вала преобразуется в колебательное движение рычага и от него передается ножу. Нажимной механизм позволяет регулировать нажатие ножа на гребенку и обеспечивает равномерность этого нажатия. Частота колебаний ножа 2300 двойных ходов за минуту, масса машинки 1,13 кг.

Момент сопротивления стригальной машинки состоит из следующих составляемых:

$$M_c = M_B + M_T + M_P, \quad (6.11)$$

где M_B - момент трения гибкого вала о кожух; M_T - момент трения ножа о гребенку; M_P - момент резания.

Вид механических характеристик представлен на рисунке 6.11.



1 - момент трения гибкого вала о кожух M_B ;
2 - момент резания M_P ; 3 - момент трения ножа о гребенку M_T

Рисунок 6.11— Вид механических характеристик стригальных машинок

Анализ энергетике стригальной машинки показывает, что из мощности двигателя 120 Вт на передачу момента через гибкий вал расходуется 15 Вт; на срез шерсти — 35 Вт; на холостой ход (трение гибкого вала) — 70 Вт. Машинки со встроенными электродвигателями не имеют потерь, связанных с трением гибкого вала и кроме того предоставляют стригально большую свободу действия, что приводит к повышению производительности труда.

Сегодня применяется агрегаты АСУ-1, АС-1 и т.п. (рис. 6.12). Агрегат АСУ-1 включает в себя: одну машинку для стрижки овец МСУ-200 (рис. 6.13) производства завода АКТЮБСЕЛЬМАШ; один преобразователь частоты тока фирмы TOSHIBA, выдающий 3-х фазный ток частотой 200 Гц и специальный высоко-

частотный 3-х фазный трансформатор мощностью 250 Вт, , вместе создающие синусоидный 3-х фазный ток 36 В с частотой 200 Гц. В момент запуска двигателя частота тока плавно изменяется от 0 до 200 Гц, что обеспечивает легкий пуск двигателя машинки без потери его мощности. Принципиальным отличием МСУ-200 от машинки МСО-77Б является то, что трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором выполнен как единое целое со стригальной головкой. Мощность электродвигателя 120 Вт,

напряжение 36 В, частота тока 200 Гц, частота вращения ротора электродвигателя 10 500 мин⁻¹.

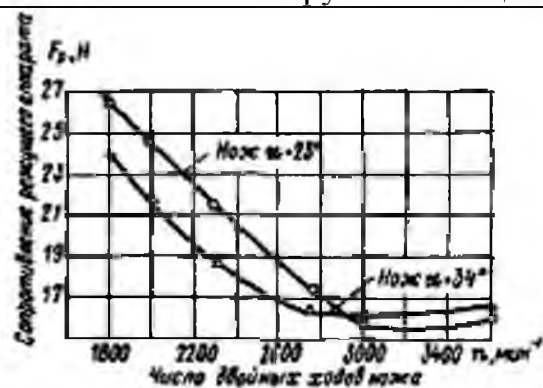


Рисунок 6.12 - Внешний вид агрегата АС-1



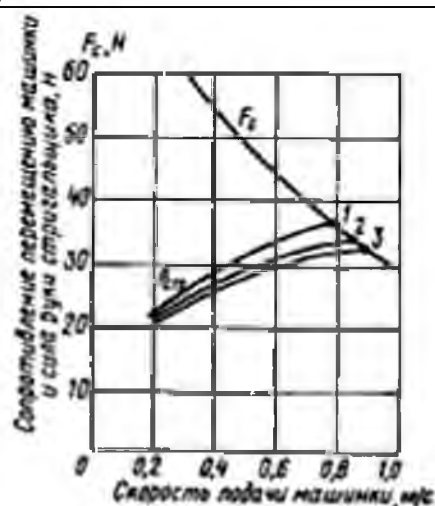
Рисунок 6.13 - Внешний вид машинки для стрижки овец МСУ-200.

В результате научных исследований (проведенных в том числе В.И. Крисюком) установлено, что с увеличением частоты колебаний (или скорости резания) (рис. 6.14), уменьшается не только количество сечки, но также и сопротивление перемещению машинки, которое достигает минимального значения при $n=2800-3200$ мин⁻¹. Анализ силовых характеристик (рис. 6.15) показывает, что по своим эксплуатационным свойствам стригальные машинки МСУ-200 и МСО-77Б в состоянии обеспечить высокие скорости работы (подачи). При этом может быть достигнута производительность стригальщика более 100 тонкорунных овец за смену.



При угле наклона машинки 23° и 34° и скорости 0,6 м/с

Рисунок 6.14 – Вид изменений сопротивлений режущего аппарата в зависимости от частоты двойных ходов ножа



1 – МСУ-200; 2 – МСО-58Б; 3 – МСО-77Б

Рисунок 6.15 – Силовые характеристики стригальных машинок

Также нужно отметить, что при дальнейшем повышении частоты колебаний ножа сопротивление перемещению машинки несколько увеличивается. Это объясняется тем, что с ростом скорости резания уменьшается угол трения. Последнее обстоятельство приводит к нарушению основного условия

защемления пучка между лезвиями режущей пары, т. е. угол защемления должен быть меньше удвоенного угла трения. Характер изменения амплитуды колебаний $A=f(n)$ указывает на то, что номинальный режим работы машинки МСО-77Б (при $n=2280$ мин⁻¹) находится вблизи резонансной зоны, следовательно, стригальщик в этом случае будет испытывать максимальную вибрационную нагрузку. Смещение режима в межрезонансную зону ($n=3600-4200$ мин⁻¹) приведет к снижению амплитуды колебаний на 65 %. В процессе работы машинки на номинальной частоте вращения горизонтальная амплитуда колебаний ее корпуса в два раза превышает допустимую норму. Выбор скоростного режима стригальной машинки требуется производить по величине сопротивления перемещению машинки с учетом ее массы, геометрии режущей пары и заданного качества работы.

Для определения общего сопротивления усилию стрижки можно пользоваться формулой, где последнее слагаемое это составляющая сопротивлений резанию, действующая в плоскости осевого перемещения машинки, которая обусловлена влиянием продольного отгиба шерстинок:

$$F_{cmp} = F_M + F_M + \frac{36 \cdot 10^5 \cdot b \cdot v_{cmp}^{0,69}}{n^2} (1 + k_1 \cdot \varphi^2), \quad (6.12)$$

где F_M — сопротивление перемещению машинки вследствие трения ее о кожный покров животного, Н; F_M - сопротивление перемещению, обусловленное массой привода, приведенной к точке захвата машинки рукой стригальщика, b - ширина захвата режущего аппарата, мм; v_{cmp} - скорость перемещения машинки в направлении стрижки, м/с; n - частота двойных ходов ножа, мин-1; k_1 - коэффициент, учитывающий геометрию режущей пары и состояние шерстного покрова; φ - угол наклона гребенки к остригаемой поверхности.

Выпускаются и другие типы стригальных машинок и некоторые из них работают непосредственно от сети 220 В и частотой 50 Гц (рис. 61.6 – 6.18).



Кинематические схемы. Момент от двигателя к инструменту может передаваться через редукторы - цилиндрический (электросверлилки, высокочастотные стригальные машинки), червячный (электропилы), цилиндрический и конический (угловые электросверлилки), через цилиндрический редуктор и кривошипный вал с ползуном (электроножницы), гибкий вал (электрошлифовальные и стригальные машинки), вращающийся обращенный ротор (электрорубанки) и непосредственным образом, когда рабочие органы расположены на валу двигателя (дисковые пилы и электроточила). Так, например, электрогайковерт (рис.6.19) состоит из тележки 2, передвигающейся по двутавровой балке 1, электродвигателя 3, планетарного редуктора 4 с передаточным числом 21,5, кнопочной станции 5 и шпиндельного устройства 6. Дисковая электропила (рис. 6.20, б) предназначена для резания металлических листов и профильного материала. Основные узлы: однофазный универсальный коллекторный двигатель 22 мощностью 270 Вт, редуктор 21, пильный диск 24 с кожухом 20, рукоятки 19 и 23. В рукоятку 23 вмонтированы курковый выключатель и защитная трубка шнура. В- электрорубанок



На рисунке 6.21 представлены кинематические схемы электродрелей. Как видно из этой схемы - кинематика содержит электрическую машину, редуктор и рабочий орган (патрон). Особенностью таких ручных машин является конструктивное сближение редуктора и электродвигателя. Невозможно отдельно снять и заменить электродвигатель, так как он является составной частью следующего узла – редуктора. Такая тенденция в ручных машинах сохраняется и сегодня - продолжается процесс сближения электрической и механической частей.



Рисунок 6.21– Кинематические схемы электродрелей

Нагрузочные диаграммы. Режим работы электропривода ручных машин очень редко бывает продолжительным (**S1**), чаще всего это повторно-кратковременный (**S2**) или кратковременный (**S3**). Кроме того работа в этих режимах имеет непостоянную нагрузку (зависит от усилий подачи оператором, качества режущего инструмента, материала обработки). Осциллографирование основных параметров электрической машины в процессе работы, а также теоретические расчеты и экспериментальные исследования ручных электрифицированных машин показали, что мощность и величина потребляемого тока на холостом ходу составляют 30 – 35% от номинального режима работы.

Анализ характеристик высокочастотных микромашин указывает на трехкратное значение пускового тока и сравнительно быстрое время запуска – до 1 с. Анализ рабочих характеристик показывает, что при изменении нагрузки от 50 до 100 Вт (при номинальной мощности на валу 100 Вт) потребляемый ток изменяется от 3,5 до 4 А. Нагрузочные диаграммы работы инструментов по обрезке кустов и деревьев представлены на рисунке 6.22.

Исследования, проводимые в Кубанском ГАУ по совершенствованию инструмента и источников питания для электромеханизации работ в виноградарстве, показывают, что с применением агрегата, укомплектованного десятью веткорезами время обработки одного куста примерно равно 2-3 мин, время перехода на другой куст – 24 с, в среднем на одном кусту обрезается

до 18 лоз. Нагрузочную диаграмму одного инструмента можно представить в виде, изображенном на рисунке 6.23.

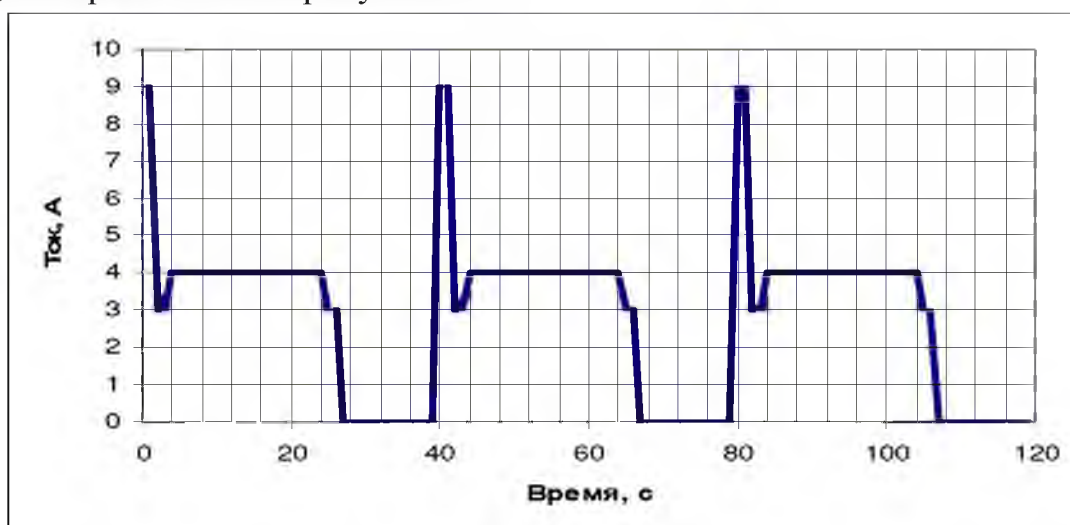


Рисунок 6.22 - Нагрузочная диаграмма одного инструмента при обрезке кустов и деревьев.

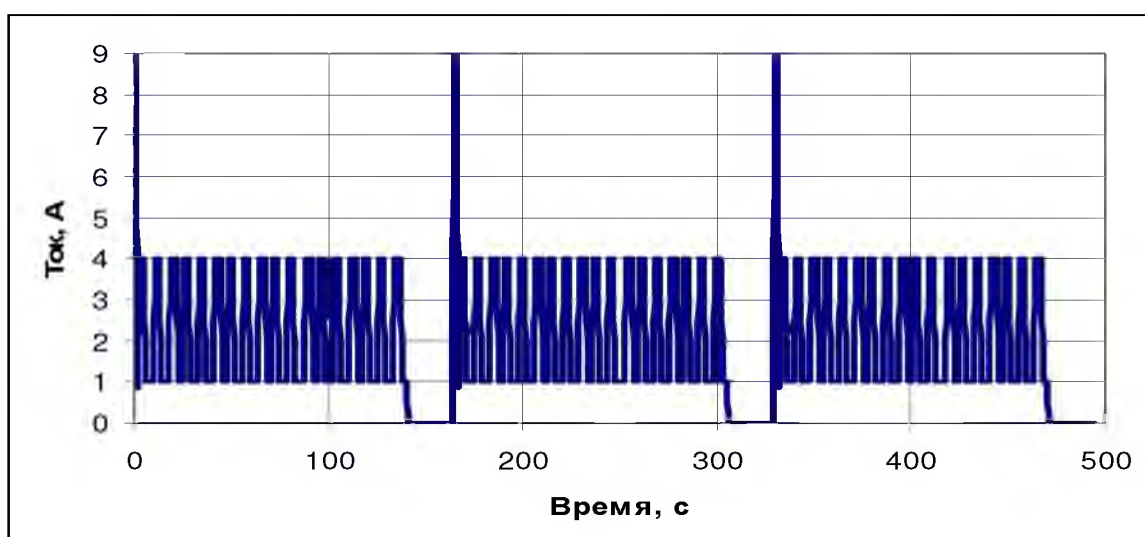


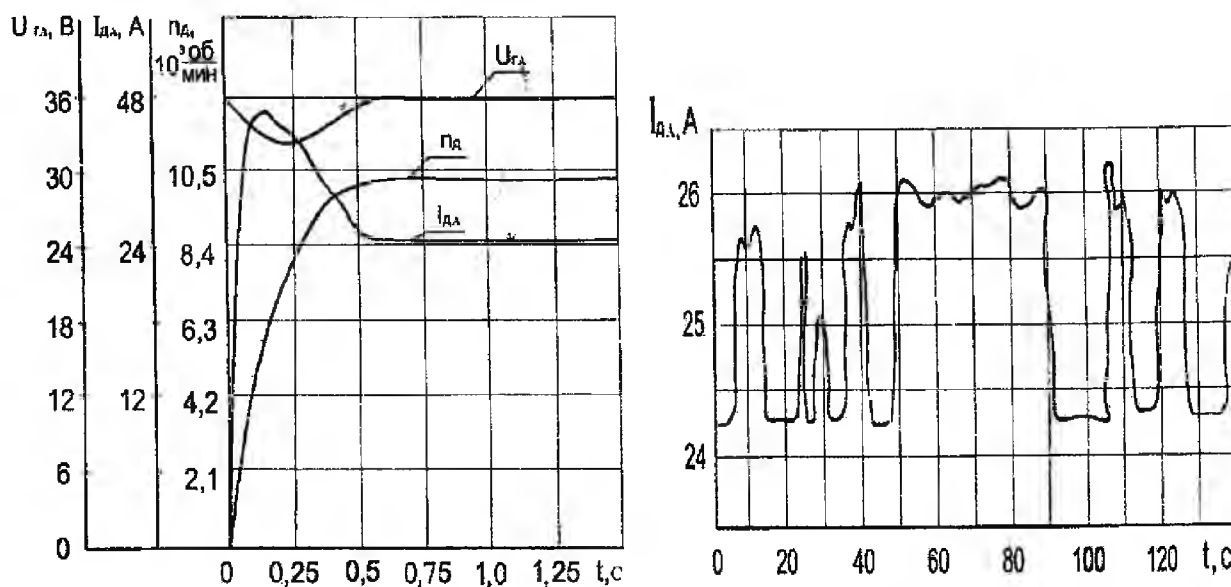
Рисунок 6.23 - Нагрузочная диаграмма одного инструмента при обрезке лозы винограда.

Для полученных суммарных нагрузочных диаграмм источника тока было определено: оценка математического ожидания тока, оценка дисперсии тока, среднеквадратическая нагрузка (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Оценка неравномерности нагрузки при различной обрезке

Обрезка	Математическое ожидание тока, А	Дисперсия тока, А ²	Среднеквадратическая нагрузка, А
кустов	11,4	35,6	13,0
деревьев	36,5	149,1	38,5
виноградных лоз	20,4	130,4	23,4

На рисунке 6.24 представлены нагрузочные диаграммы при пуске и работе цепной пилы по дереву, где также виден неравномерный характер нагрузки.



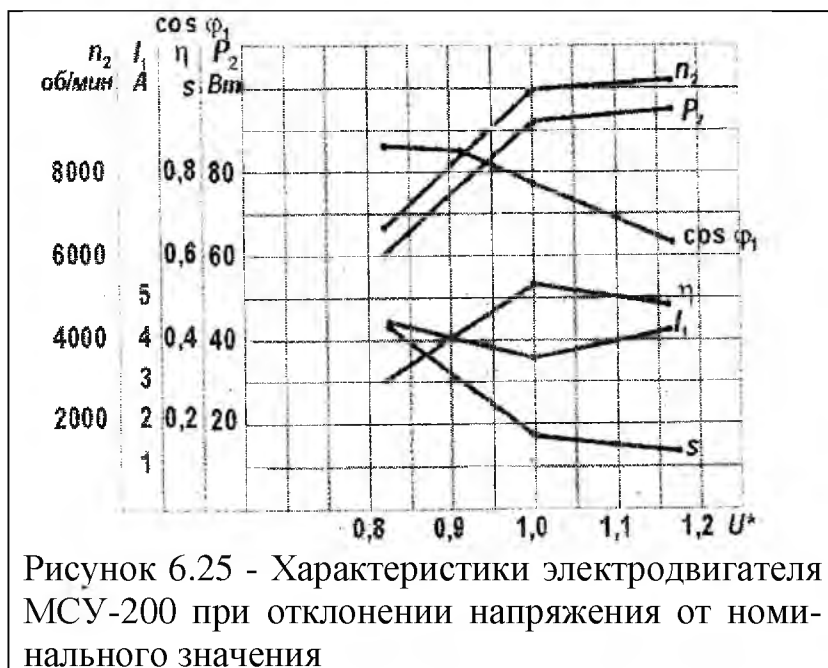
а – при пуске

б – при работе

Рисунок 6.24– Нагрузочные диаграммы цепной пилы

При определении необходимой мощности генератора или преобразователя частоты тока нужно ориентироваться на среднеквадратическую мощность нагрузки, так как это связано с надежностью работы как потребителей, так и генераторов.

Кроме определения максимальной мощности питающего генератора, его напряжения, частоты тока, колебаний потребляемой мощности необходимо установить **требования к качеству электроэнергии**. Из ранее проведенных исследований стригальной машинки МСУ-200 следует, что при снижении напряжения на 5% уменьшается мощность приводных электродвигателей на 10%, а их скорость вращения – на 10%, к.п.д. – на 6% при этом ток и коэффициент мощности увеличиваются соответственно на 4,5% и 5%. С уменьшением частоты тока на 3% мощность уменьшается на 5%, частота вращения на 4%, к.п.д. – на 4%. Отклонение напряжения от номинального значения при постоянном моменте сопротивления приводит к возрастанию температуры статора, например, уменьшение напряжения на 5 – 10% увеличивает нагрев обмоток на 2 – 4,5 %. Также известно, что вращающий момент электродвигателя обратно пропорционален номеру высших гармоник питающего напряжения в степени выше двух. Установлено, что на каждый процент увеличения несинусоидальности кривой питающего напряжения температура статора повышается примерно на 1°C. Характеристики электродвигателя МСУ-200 при отклонении напряжения от номинального значения приведены на рисунке 6.25.



Для определения оптимальных как массогабаритных показателей ручного инструмента, так и других характеристик, приходится учитывать много критериев. В научных исследованиях, проводимых в направлении совершенствования электропривода ручных машин, часто проводят оптимизацию по разным параметрам. Так, например, исследования, которые проводились в Ка-

захском национальном аграрном университете в данном направлении, посвящены разработке комплексному критерию «эффективность – стоимость». Был предложен частный показатель эффективности, который представлен целевой функцией таких единичных показателей качества системы, как надежность, масса и КПД:

$$K_{эф} = \{ c_{e1} \cdot p'(t) + c_{e2} \cdot \eta' + c_{e3} \cdot m' \}, \quad (6.13)$$

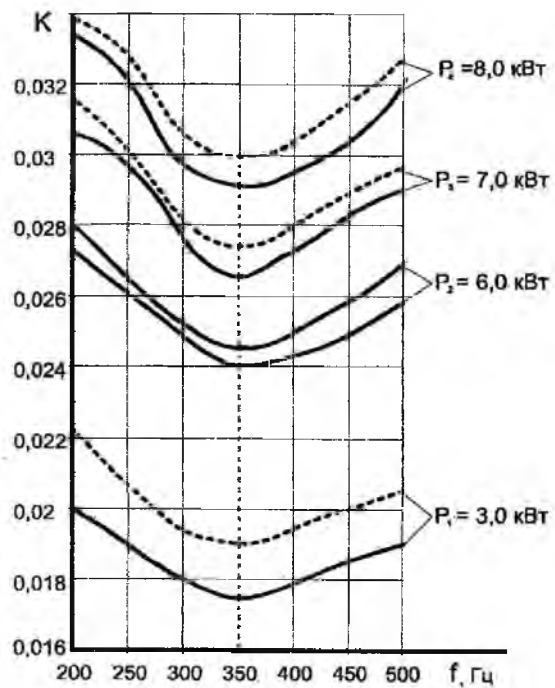
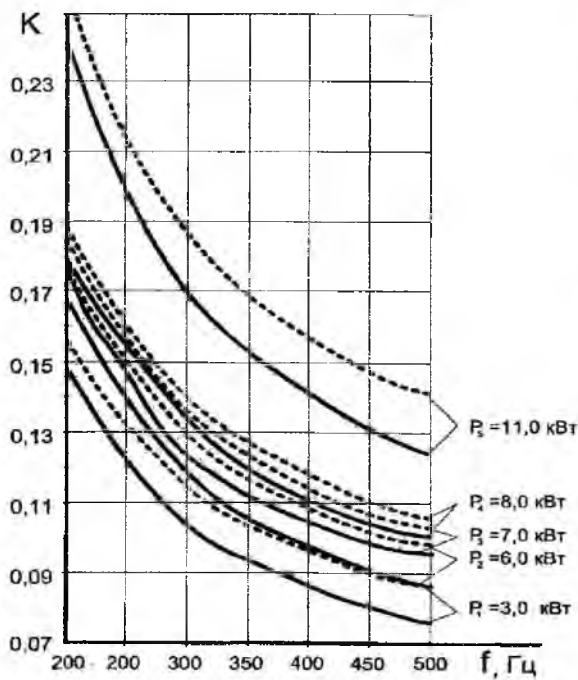
где $c_{e1}=0,381$, $c_{e2}=0,333$, $c_{e3}=0,286$ – весовые коэффициенты исследуемых параметров, определенные на основе экспертных оценок; $p'(t)$, η' , m' – нормированные показатели эффективности, приведенные к стандартному виду.

Частный показатель стоимости системы C , представлен как суммарная себестоимость из составляющих элементов. Сформированный комплексный показатель качества системы автономного электропривода K определен как произведение показателя эффективности $K_{эф}$ на показатель стоимости C и целевая функция оптимизации принимает вид:

$$K = K_{эф} \cdot C \Rightarrow \min \quad (6.14)$$

В результате исследований установлено, что комплексный показатель качества безредукторного привода с повышением частоты тока улучшается (рис. 6.26, а), а для редукторного привода наилучшей является система пониженного напряжения – 36 В и частотой тока 350 Гц (рис.6.26, б).

Имеется анализ по отдельным показателям для конкретной мощности привода 3 кВт (рис. 6.27- 6.30).



а – безредукторный привод; б – редукторный привод;

напряжение 36 В – сплошные линии, напряжение 220 В – штрихованные линии

Рисунок 6.26 – Зависимости комплексного показателя качества от частоты тока для различных мощностей приводных двигателей

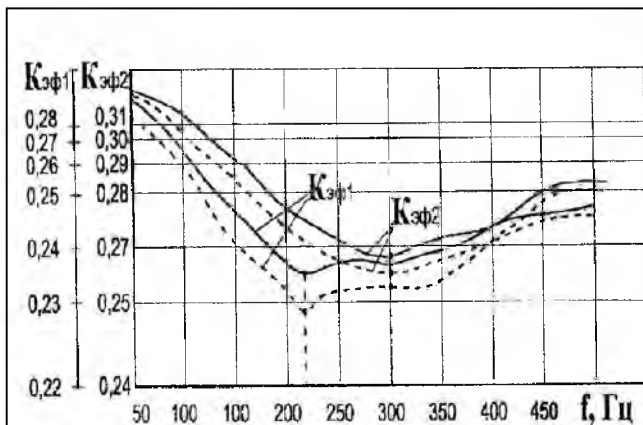


Рисунок 6.27– Зависимость показателя эффективности безредукторного $K_{эф1}$ и редукторного $K_{эф2}$ приводов от частоты тока

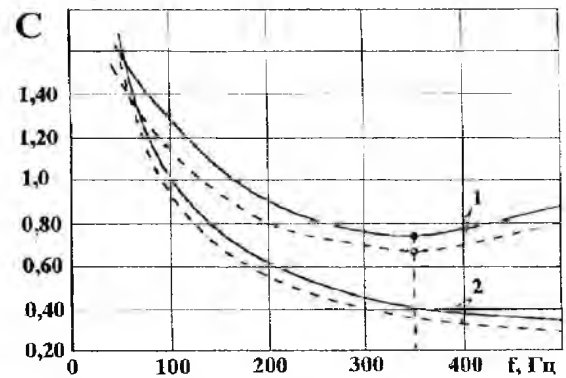


Рисунок 6.28– Зависимость приведенной стоимости C от частоты тока, для безредукторного 1 и редукторного 2 приводов

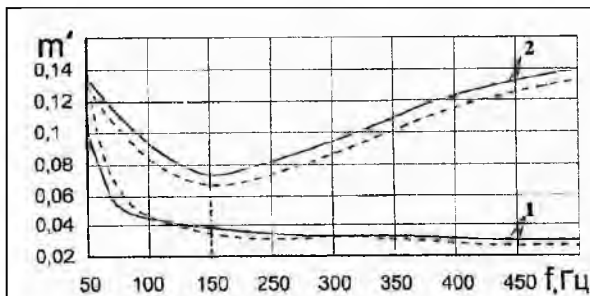


Рисунок 6.29 - Зависимость массы от частоты тока для безредукторного 1 и редукторного 2 приводов

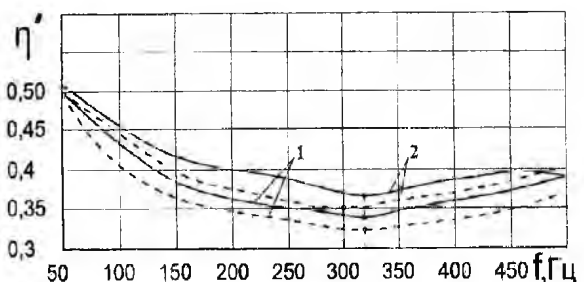


Рисунок 6.30 – Зависимость кпд от частоты тока для безредукторного 1 и редукторного 2 приводов

По результатам анализа рисунков 6.27 – 6.30 сделаны выводы: оптимальной по показателю эффективности $K_{эф}$ для безредукторного привода является система с частотой тока 300 Гц, а для редукторного привода – с частотой 220 Гц (рис.6.27); минимальная стоимость системы приходится на частоту тока 350 Гц, при этом величина напряжения практически не оказывает влияние на стоимость (рис.6.28); масса безредукторного привода снижается с ростом частоты тока, наименьшую массу имеет система безредукторного привода при частоте тока 150 Гц (рис.6.29); наименьшим кпд обладает система с частотой тока 320 Гц (рис. 6.30).

6.2 Типы электрических двигателей в электроприводе ручных машин и схемы автоматизации их работы

В приводе ручных машин часто применяют однофазные коллекторные двигатели, обладающие высокой удельной мощностью на единицу массы и мягкой механической характеристикой, обеспечивающей изменение скорости рабочего органа при росте на нем нагрузки. Двигатель малочувствителен к колебаниям напряжения в питающей сети, устойчиво работает в режиме частых пусков, может включаться в сеть постоянного тока и переменного без преобразователей. К недостаткам таких двигателей следует отнести их большую стоимость из-за наличия коллектора и щеток, а также низкую надежность этих узлов.

Однофазные двигатели с последовательным возбуждением имеют такое же устройство и схему соединения обмоток, как и двигатели с последовательным возбуждением постоянного тока, однако во избежание больших потерь на вихревые токи сердечник статора однофазного двигателя с последовательным возбуждением собирается из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга.

Маломощные (до 0,5 кВт) двигатели с последовательным возбуждением строятся без добавочных полюсов, и для улучшения их коммутации можно сдвигать щетки с геометрической нейтрали против вращения якоря. Мощные двигатели с последовательным возбуждением изготавливаются с добавочными полюсами и компенсационной обмоткой на статоре. Все обмотки двигателя включаются последовательно. Компенсационная обмотка, как и в двигателях постоянного тока, предназначена для компенсации потока реакции якоря. Применение этой обмотки уменьшает индуктивное сопротивление двигателя, повышает его коэффициент мощности и улучшает условия коммутации.

Маломощные однофазные двигатели с последовательным возбуждением находят широкое применение в промышленных и бытовых устройствах, когда требуются большие скорости вращения (от 3000 до 30000 об/мин) или регулирование скорости вращения (шлифовальные станки, ручной металлообрабатывающий инструмент, телеграфные аппараты, пылесосы, полотеры, швейные машины и др.). При необходимости регулирование скорости этих двигателей производится так же, как и у двигателей с последовательным воз-

буждением постоянного тока (регулирование величины питающего напряжения). Эти двигатели обычно пускаются в ход путем непосредственного включения на полное напряжение сети.

Маломощные двигатели с последовательным возбуждением часто изготавливаются для питания как от сети переменного, так и от сети постоянного тока, и в этом случае их называют универсальными двигателями с последовательным возбуждением. При питании постоянным током индуктивное падение напряжения в двигателе отсутствует, и поэтому при одинаковых питающих напряжениях и нагрузках на валу скорость вращения при постоянном токе будет значительно больше, чем при переменном. Для получения одинаковых механических характеристик при питании от сети постоянного и переменного тока обмотка возбуждения универсального двигателя изготавливается с отводами и при переменном токе часть обмотки возбуждения отключается (рис. 6.31). На рисунке 6.32 показано также включение конденсаторов для уменьшения радиопомех. В этом случае обмотка возбуждения разбивается на две части, которые присоединяются с разных сторон якоря. Конденсаторы включаются между выводными зажимами и корпусом, который заземляется.

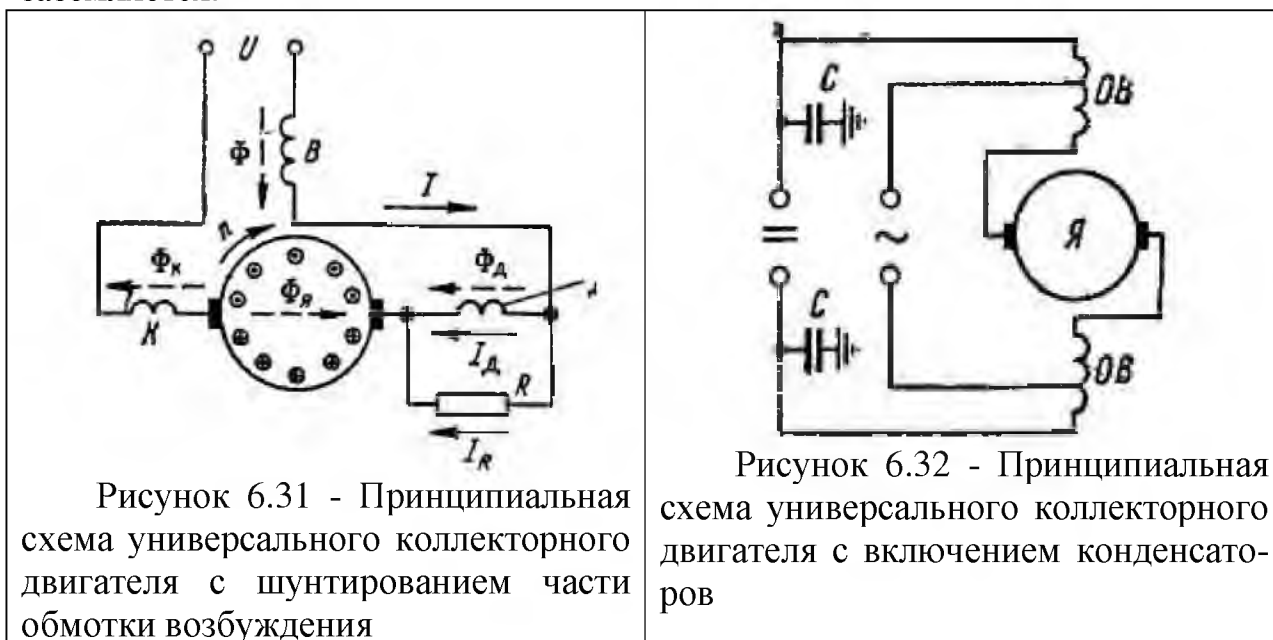
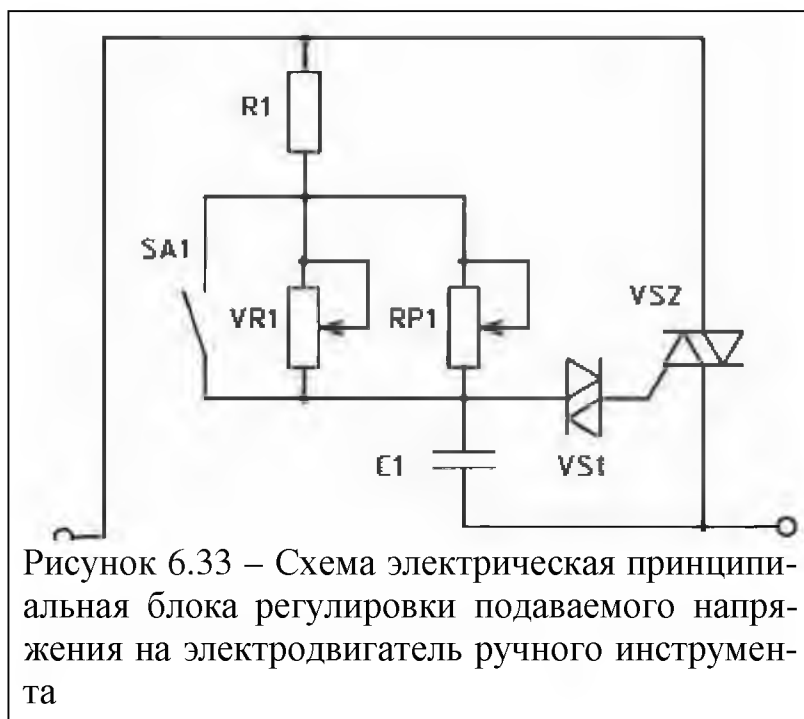


Рисунок 6.31 - Принципиальная схема универсального коллекторного двигателя с шунтированием части обмотки возбуждения

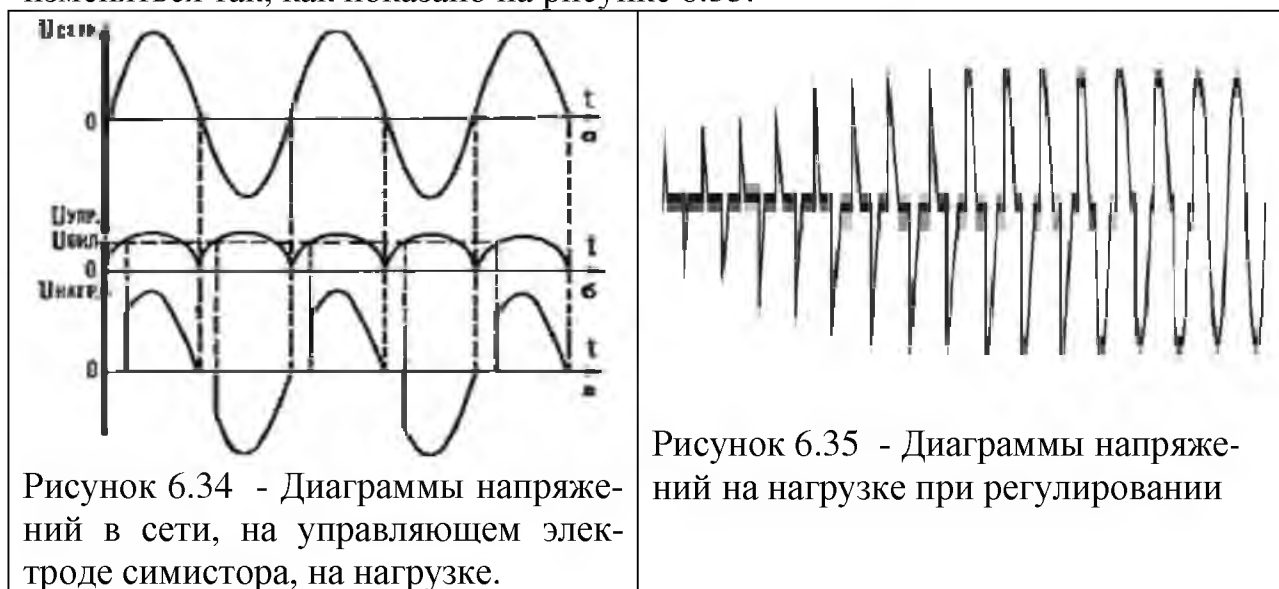
Рисунок 6.32 - Принципиальная схема универсального коллекторного двигателя с включением конденсаторов

Регулирование подаваемого напряжения на двигатель в ручных машинах производится чаще всего на основе тиристорных регуляторов, встраиваемых непосредственно корпус машины. Пример такой схемы представлен на рисунке 6.33. Принцип работы регулятора основан на изменении момента (фазы) включения симистора относительно перехода сетевого напряжения через ноль. После включения дрели в сеть на вход регулятора поступает переменное напряжение (рис. 6.34). Одновременно на управляющий электрод симистора подается напряжение синусоидальной формы. В момент, когда его величина превысит напряжение включения симистора, он откроется и ток потечет через нагрузку.



После того как величина управляющего напряжения станет ниже пороговой, симистор остается открытым за счет того, что ток нагрузки превышает ток удержания. В тот момент, когда напряжение на входе регулятора меняет свою полярность, симистор закрывается. Далее процесс повторяется. Таким образом, напряжение на нагрузке будет иметь форму как на нижней диаграмме (рис. 6.34). Чем больше амплитуда управляющего напряжения, тем раньше включится симистор. Амплитуда управляющего напряжения регулируется переменным резистором соединенным с курком дрели. Из диаграммы видно, что если не сдвигать по фазе управляющее напряжение, диапазон регулирования будет от 50 до 100%. Поэтому, чтобы диапазон расширить, управляющее напряжение сдвигают по фазе, и тогда в процессе нажатия на курок напряжение на выходе регулятора будет изменяться так, как показано на рисунке 6.35.

Регулирующее напряжение, тем раньше включится симистор. Амплитуда управляющего напряжения регулируется переменным резистором соединенным с курком дрели. Из диаграммы видно, что если не сдвигать по фазе управляющее напряжение, диапазон регулирования будет от 50 до 100%. Поэтому, чтобы диапазон расширить, управляющее напряжение сдвигают по фазе, и тогда в процессе нажатия на курок напряжение на выходе регулятора будет изменяться так, как показано на рисунке 6.35.



Обычно в разрыв одного из проводов вставляют регулятор, у которого имеется два переменных резистора - для плавной и грубой регулировке (совмещенной с пусковым элементом). Регулятор конструктивно выполняется в отдельном корпусе и вставляется в дрель (рис. 6.36)



Рисунок 6.36– Внешний вид корпуса регулятора напряжения

Схемы внешних соединений регулятора напряжения в корпусе электродрели представлены на рисунках 6.37 -6.38. Отличие схем внешних соединений заключается только в наличии третьего (заземление) провода для подключения к электрической сети. В отдельных типах электродрелей имеются кнопки для реверса рабочего органа. Чаще всего это делается механически, но есть конструкции и с электрическим способом реверсирования (рис. 6.38)

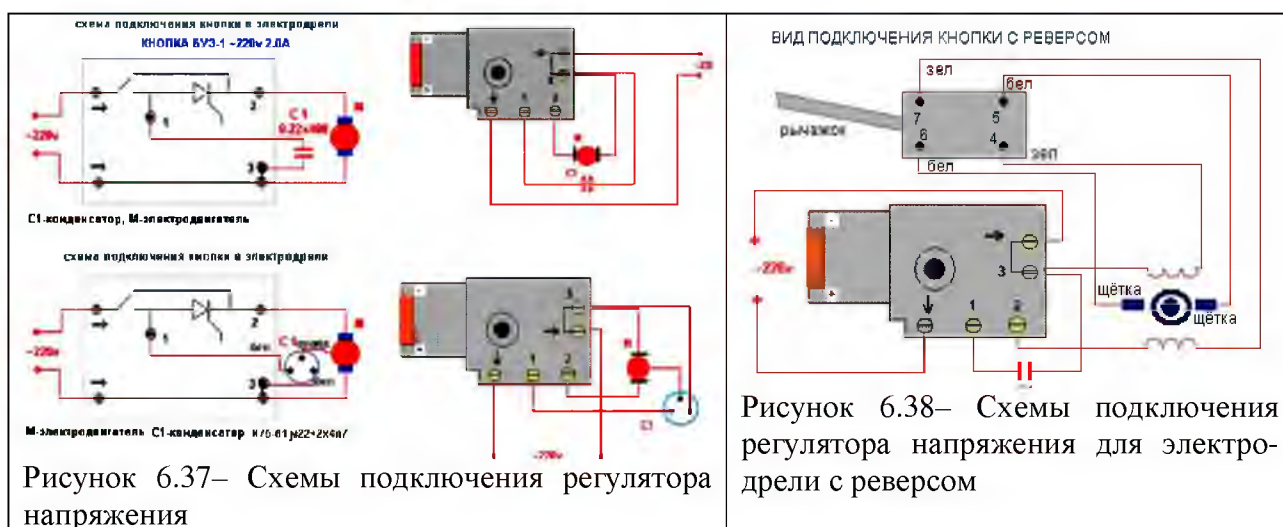


Рисунок 6.37– Схемы подключения регулятора напряжения

Рисунок 6.38– Схемы подключения регулятора напряжения для электродрели с реверсом

Есть и другие схемные решения регуляторов напряжения в электродрелях. Чаще всего у них также основным регулирующим элементом является тиристор или симистор (рис. 6.39). Так схема, изображенная на рисунке 6.40, позволяет произвести увеличение паспортной мощности на 15%, что достигается с помощью регулируемого по напряжению выпрямительного блока. Благодаря ему устраняются потери, связанные с перемагничиванием сердечника, что существенно уменьшает вероятность выхода из строя двигателей от перегрузок и увеличивает срок их службы. Изменяя потенциометром **R3** напряжение на управляющем электроде тиристора **VS1**, регулируем ток, проходящий через тиристор **VS1**, а следовательно, и ток, проходящий через мост. В схеме предусмотрено подключение для двух видов нагрузки: первая предназначена для потребителей переменного тока, а вторая — постоянного. Нагрузку, например, дрель включаем в один из обозначенных разрывов цепи. Соответственно, необходимо накоротко замкнуть свободный разрыв цепи выключателем **SA2** или **SA3**. В первом случае вращением потенциометра **R3** изменяем частоту вращения дрели, во втором — изменяем и частоту вращения и мощность коллекторного электродвигателя.

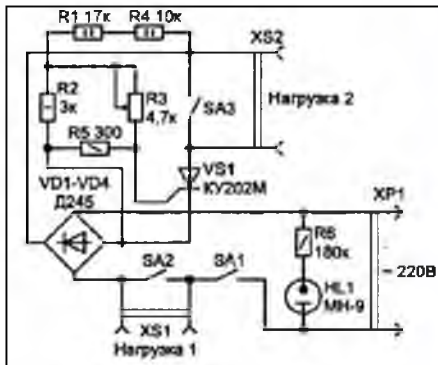


Рисунок 6.39– Схема электрическая принципиальная блока регулировки с двумя выходами

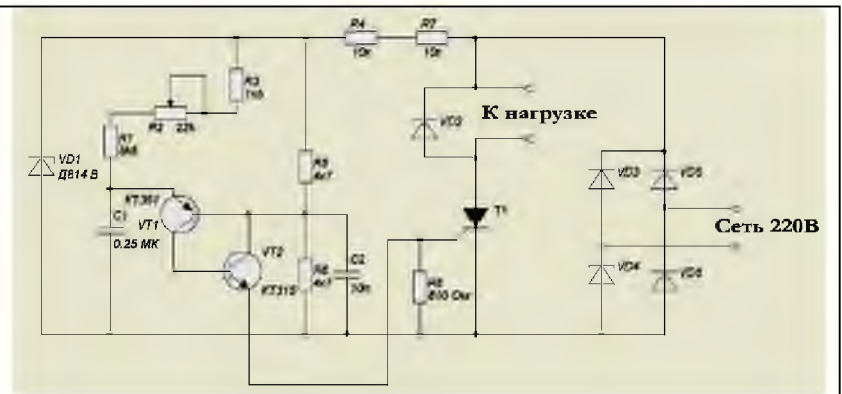


Рисунок 6.40– Схема электрическая принципиальная блока регулировки подаваемого напряжения на электродрель

Часть ручных инструментов работает от встроенных аккумуляторов. Эти инструменты также испытывают необходимость регулировки и для этих целей также есть схемные решения (рис. 6.41, 6.42)



Рисунок 6.41 – Схема электрическая принципиальная блока регулировки подаваемого напряжения

Среди различных типов электродвигателей можно выделить однофазный электромагнитный вибродвигатель. Отличаясь простотой конструкции и высокой надежностью в работе, электродвигатель производит непосредственное преобразование электромагнитной энергии

в механическую с возвратно-поступательным движением. Это определяет основную область их применения в молотках и перфораторах, а также в качестве универсальных вибровозбудителей в вибропитателях, дозаторах, виброгрохотах, вибрационных насосах.

Для высококачественного сверления отверстий необходима электродрель с регулятором частоты вращения и крутящего момента. Транзисторные регуляторы имеют, как правило, низкий КПД, что ведет к увеличению размеров и массы трансформатора питания и теплоотвода транзистора. В этом отношении более выгодны тиристорные устройства. Схема тиристорного регулятора частоты вращения со стабилизацией крутящего момента, предназначенного для электродрели с коллекторным двигателем постоянного тока (для дрелей небольших мощностей – до 300 Вт), изображена на рисунке 6.43. Электродвигатель и все узлы регулятора питает выпрямленное пульсирую-

щее напряжение, поступающее от трансформатора *T1* и диодного моста *VD1-VD4*.

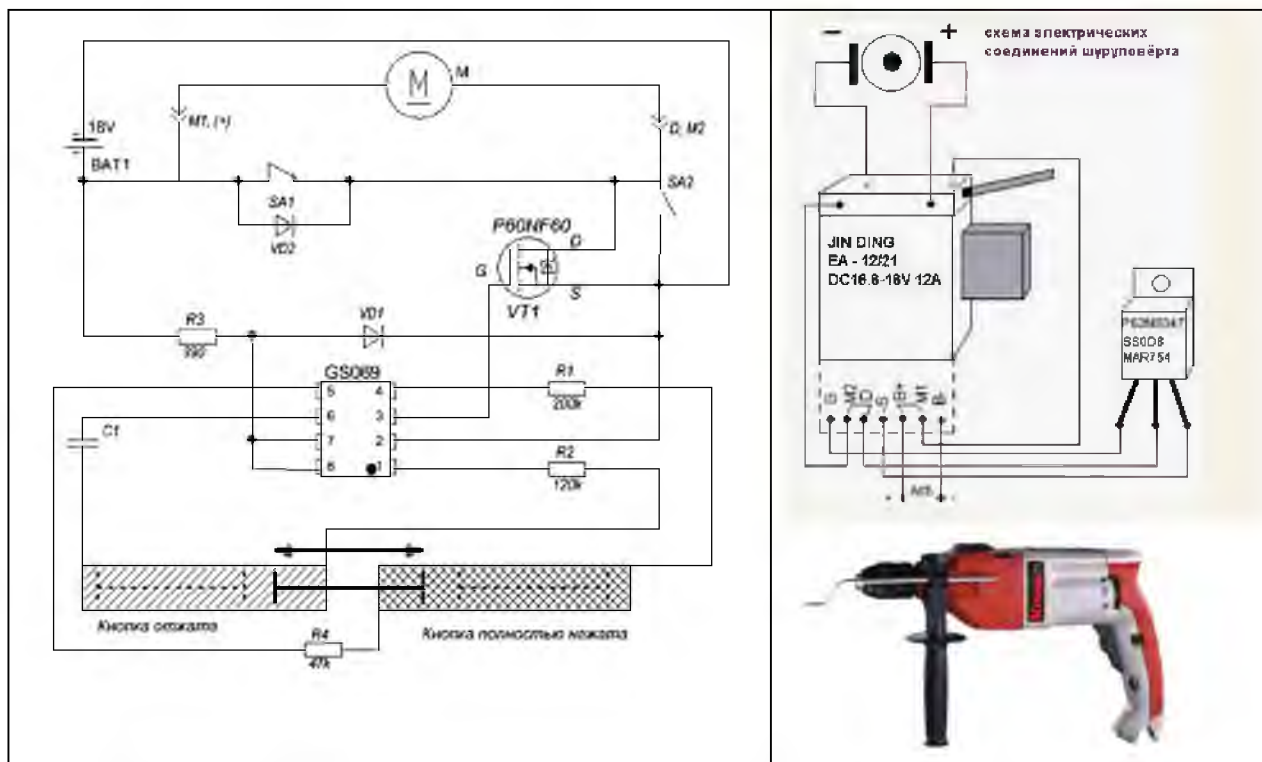


Рисунок 6.42– Схема электрическая принципиальная блока регулировки подаваемого напряжения и схема соединений шуруповёрта

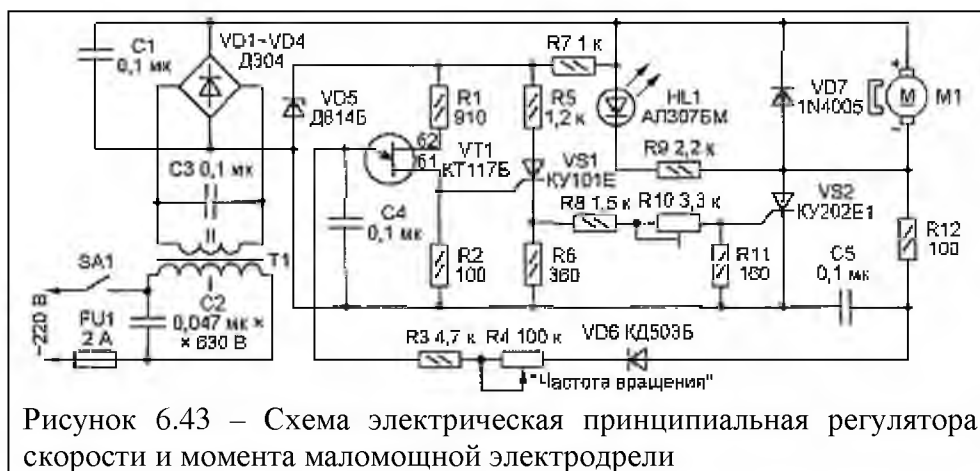


Рисунок 6.43 – Схема электрическая принципиальная регулятора скорости и момента маломощной электродрели

Ограничитель напряжения, состоящий из резистора *R7* и стабилитрона *VD5*, снижает влияние изменений сетевого напряжения и нагрузки на работу релаксационного генератора

на однопереходном транзисторе *VT1*. Генерируемые импульсы поступают на управляющий электрод маломощного тиристора *VS1*, а затем через резисторы *R8* и *R10* - на управляющий электрод мощного тиристора *VS2*, открывая его в определенные промежутки времени. Напряжение на аноде тиристора *VS2*, пока он закрыт, равно разности напряжения питания, поступающего с выпрямителя на диодном мосте *VD1-VD4*, и противо-ЭДС, создаваемой вращающимся якорем двигателя *M1* (она пропорциональна частоте вращения). Разностное напряжение поступает через фильтр *R12* и *C5* во времязадающую цепь релаксационного генератора, изменяя задержку генерируемых им импульсов относительно начала каждого

полупериода сетевого напряжения. Диод *VD6* предотвращает разрядку конденсатора *C4* в интервалах времени, когда тиристор *VS2* открыт. С увеличением частоты вращения задержка импульсов увеличивается, что приводит к уменьшению эффективного значения напряжения, приложенного к электродвигателю *M1*. Уменьшение частоты вращения (например, под влиянием механической нагрузки) приводит, в свою очередь, к увеличению приложенного к двигателю напряжения. Таким образом, стабилизируется частота вращения его вала. Стабилизируемое значение частоты можно регулировать, изменяя параметры времязадающей цепи генератора переменным резистором *R4*.

В некоторых машинах – угловые шлифовальные инструменты применяют плавный пуск рабочего органа. Это связано с большими инерционными составляющими инструмента (отрезной круг, шлифовальная насадка и т.д.), что приводит к большим пусковым токам, быстрому износу щеток и выходу из строя якоря электродвигателя. Одна из схем мягкого пуска представлена на рисунке 6.44.

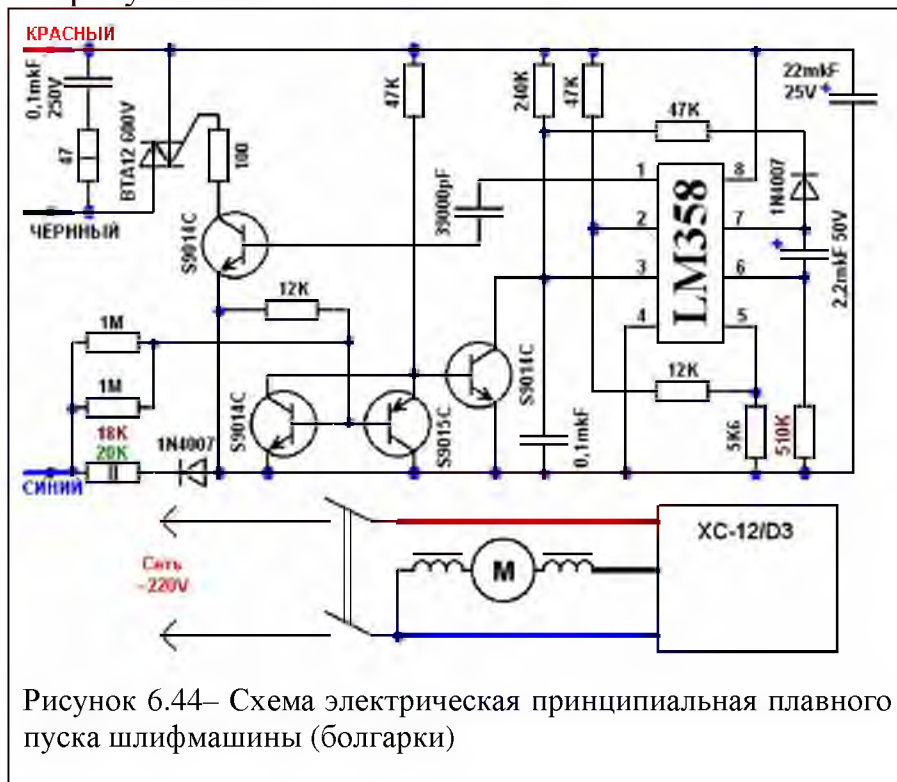


Рисунок 6.44– Схема электрическая принципиальная плавного пуска шлифмашины (болгарки)

При использовании высокочастотных электродвигателей в приводе ручных машин большое влияние на их работу оказывает качество выходного напряжения преобразователей частоты тока. В виде таких устройств могут применяться электромашинные преобразователи, полупроводниковые (статические) и комбинированные. До недавнего времени в

основном в стригальных пунктах применялись электромашинные синхронно-реактивные преобразователи частоты типа ИЭ-9405. Однако, в силу большого количества недостатков: большие массогабаритные показатели, очень низкое качество выходного напряжения, эти устройства уходят с рынка электротехнической продукции. Однако, в Кубанском ГАУ разработаны асинхронные генераторы со специальными схемами статорных обмоток, имеющие улучшенные показатели выходного напряжения. Ранее при расчёте обмоток и параметров асинхронных генераторов не учитывалось влияние размагничивающего реактивного тока роторной обмотки на магнитное состояние генератора при нагрузке, что, в свою очередь, заметно влияет и на определение номинальной мощности генераторов, и на вид их внешних характеристик.

Так было установлено, что генераторам в большей мере подходит разработанная восьмиполюсная модулированная обмотка (рис. 6.45). Для получения среднего напряжения её выполняют с дополнительными выводами.

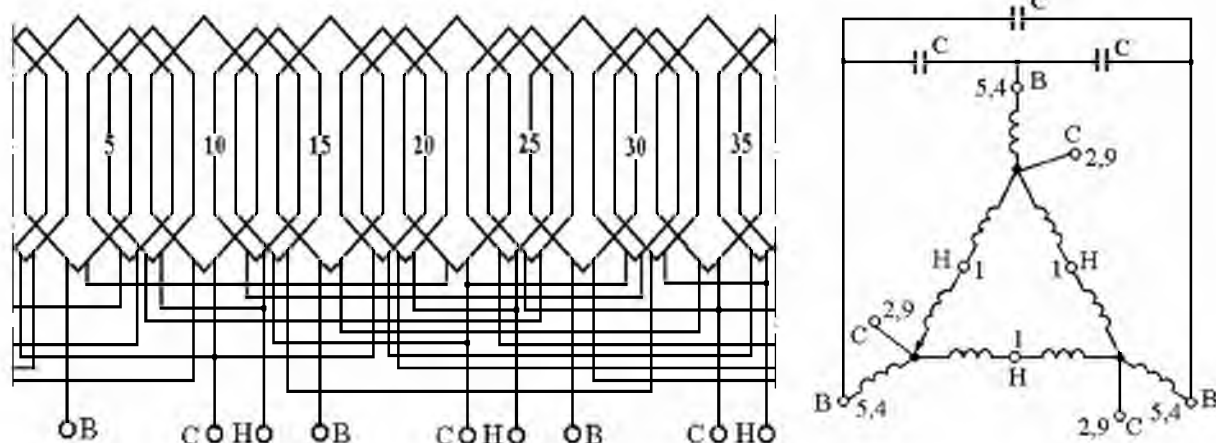


Рисунок 6.45 – Схема обмотки, принципиальная схема соединения статорных обмоток с подключением конденсаторов возбуждения и указанием соотношения ЭДС на отдельных выводах

Испытания показали удовлетворительную работу на различных нагрузках (рис. 6.46). Вид экспериментальных генераторов представлен на рисунке 6.47.

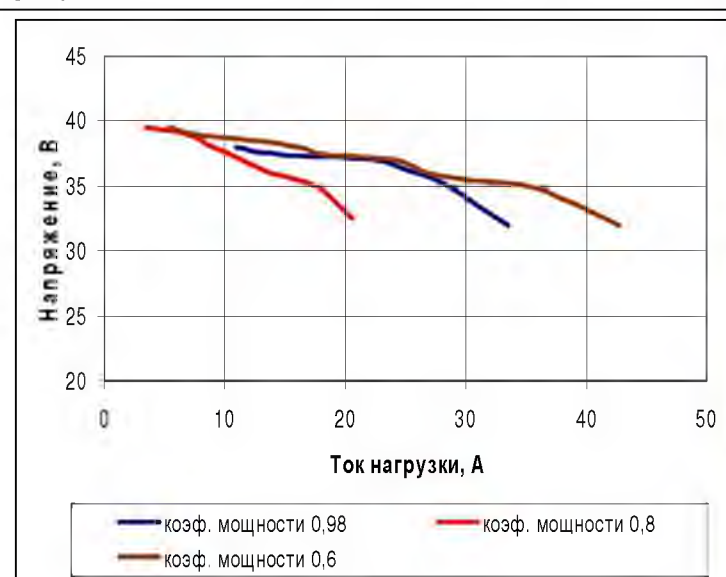


Рисунок 6.46 – Внешние характеристики генератора при работе на низком напряжении с различным коэффициентом мощности и различными емкостями возбуждения.



Рисунок 6.47 - Опытные образцы асинхронных генераторов в габарите двигателей АИР 100 L6

В Ставропольском ГАУ проводились исследования по преобразователям частоты и были предложены высоко эффективные конструкции. Так, например, предложена схема ферромагдино-вентильного преобразователя,

выполненного на базе системы «вентильный преобразователь – трансформатор» (ВП-Т) (рис. 6.48).

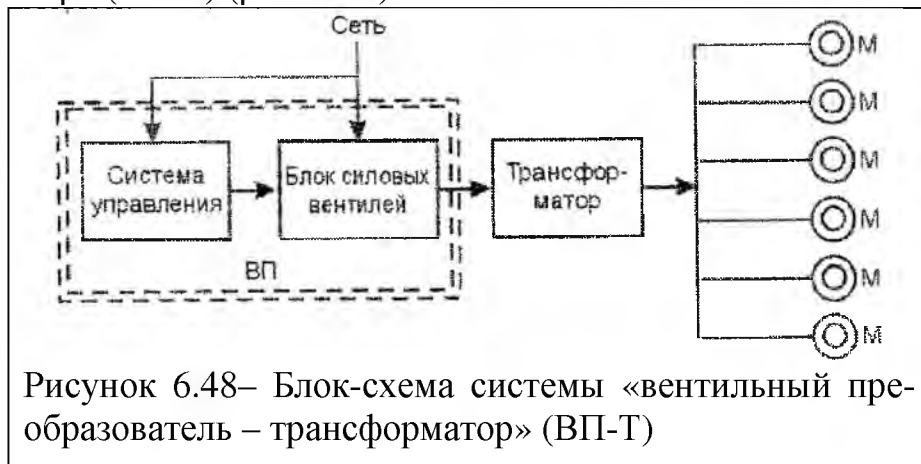


Рисунок 6.48– Блок-схема системы «вентильный преобразователь – трансформатор» (ВП-Т)

Принцип формирования напряжения повышенной частоты следующий: обмотки силового трансформатора с помощью полупроводниковых управляемых вентиляей подключаются к фазному и

линейному напряжению таким образом, что в выходных обмотках формируется напряжение из участков синусоид питающего напряжения с частотой в 4 раза больше частоты входного напряжения.

Если из схемы (рис.6.48) исключить силовой трансформатор, а обмотки статора асинхронного двигателя выполнять в виде четырех полуобмоток, которые подключать с помощью транзисторных ключей к фазному и линейному напряжению, то получим систему «вентильный преобразователь - асинхронный двигатель» (ВП-АД) (рис. 6.49).

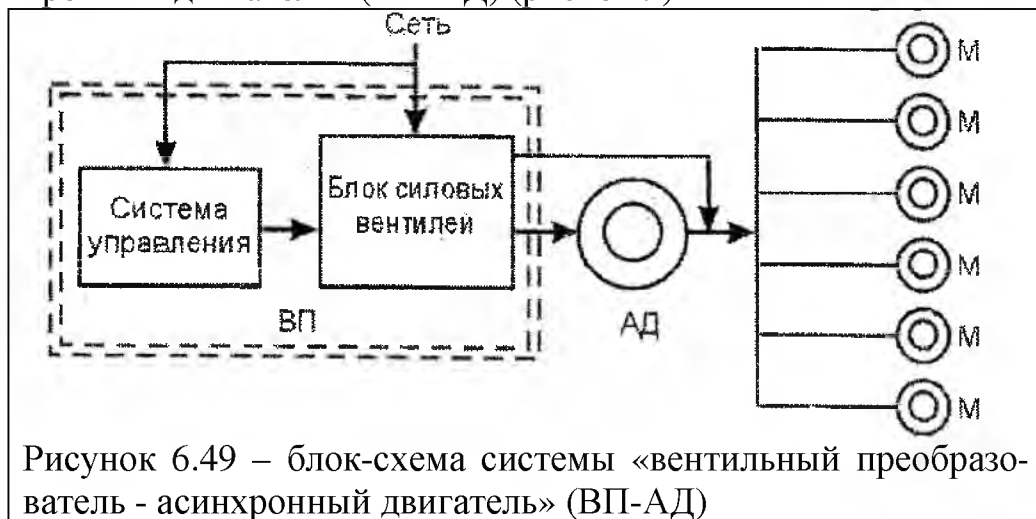


Рисунок 6.49 – блок-схема системы «вентильный преобразователь - асинхронный двигатель» (ВП-АД)

Для подключения стригальных машинок используется схема преобразователя, представленная на рисунке

6.50. Особенностью данной разработки является то, что три четверти мощности стригальные машинки получают от асинхронного двигателя, а одна четвертая часть мощности поступает из сети через силовой блок транзисторов в момент открытого состояния вентиля. Такое подключение увеличивает общий КПД устройства.

На рисунке 6.51 представлены осциллограммы выходных напряжений исследуемых преобразователей. По этим кривым можно увидеть, что наиболее качественное напряжение дает система ВП-АД.

На рисунке 6.52 показаны зависимости коэффициентов искажения кривой выходного напряжения от нагрузки для исследуемых преобразователей частоты.

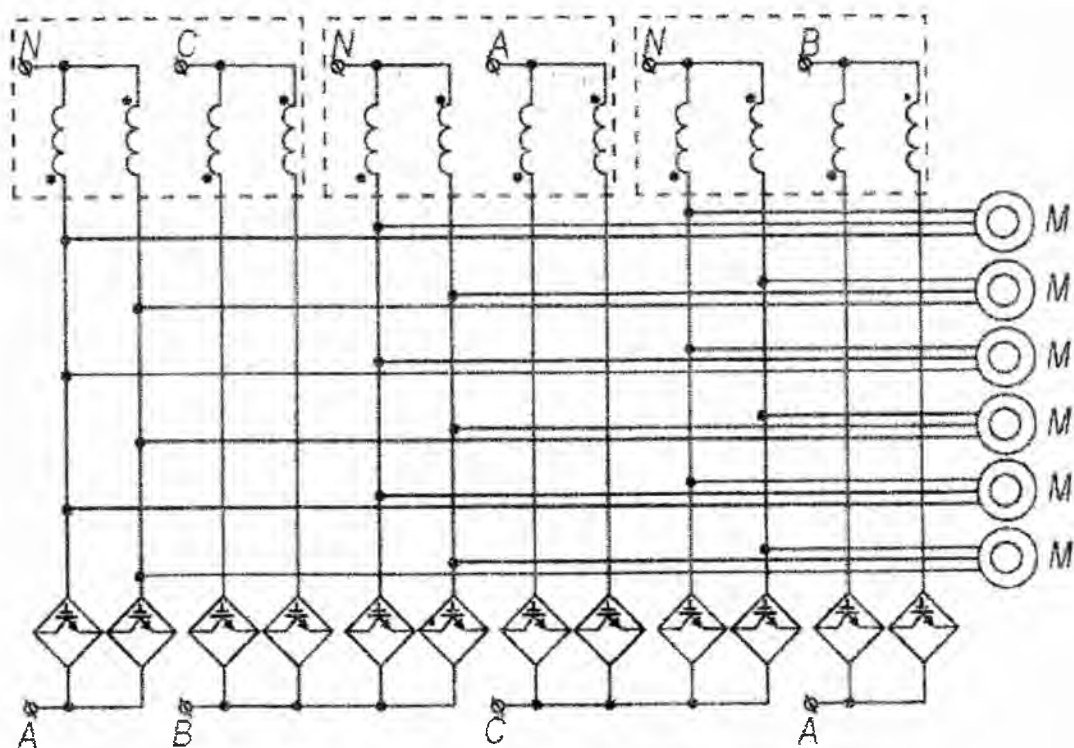
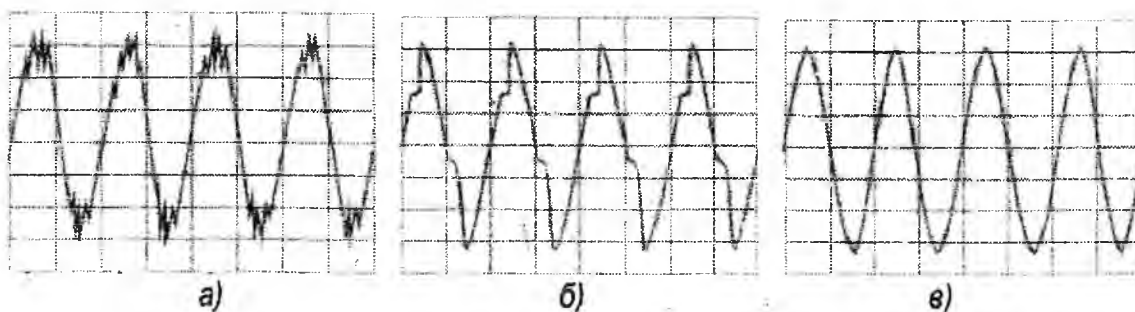


Рисунок 6.50– Схема подключения ВП-АД к стригальным машинкам



а – ИЭ-9405; б – ВП-Т; в – ВП-АД

Рисунок 6.51– Осциллограммы напряжений преобразователей частоты тока

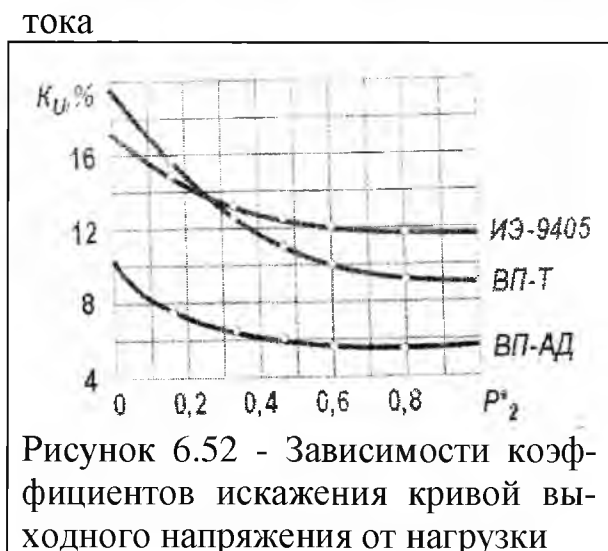


Рисунок 6.52 - Зависимости коэффициентов искажения кривой выходного напряжения от нагрузки

при номинальной нагрузке преобразователя ВП-Т составляет 8%, ВП-АД – 5,5%, ИЭ 9405 – 11,7%.

Наибольшее распространение сегодня получили электростатические преобразователи частоты тока (рис. 6.53 – 6.56). Они обладают малым весом, удовлетворительными показателями качества электроэнергии.



Рисунок 6.53 - Агрегат АСИ-101 с преобразователем 220В



Рисунок 6.54 - Преобразователь частоты фирмы Toshiba в составе агрегата АСУ-1 (АКТЮБСЕЛЬ-МАШ)



Рисунок 6.55 - Преобразователь частоты для стригальных машинок



Рисунок 6.56 - Преобразователь частоты для стригальных машинок (Украина)

Пример. Определить эквивалентную мощность для выбора приводного электродвигателя веткореза если он работает с переменной нагрузкой со следующей длительностью приложения нагрузки $T_1=10$ с, $T_2=7$ с, $T_3=4$ с, $T_4=25$ с. Между очередной обрезкой ветки пауза 17 с. Обрезка веток происходит при окружной скорости резания $v=18$ м/с. Сила резания на каждом периоде составила: $F_1=32$ Н; $F_2=30$ Н; $F_3=42$ Н; $F_4=22$ Н.

Так как вал двигателя непосредственно соединен с валом дисковой пилы, то КПД передачи равно 1. Тогда мощности резания составят:

$$P_1 = F_1 \cdot v = 32 \cdot 18 = 576 \text{ Вт}; P_2 = F_2 \cdot v = 30 \cdot 18 = 540 \text{ Вт};$$

$$P_3 = F_3 \cdot v = 42 \cdot 18 = 756 \text{ Вт}; P_4 = F_4 \cdot v = 22 \cdot 18 = 396 \text{ Вт}.$$

Определим эквивалентную мощность:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum P^2 t}{\sum t}} = \sqrt{\frac{576^2 \cdot 10 + 540^2 \cdot 7 + 756^2 \cdot 4 + 396^2 \cdot 25}{10 + 17 + 7 + 17 + 4 + 17 + 25}} = 345 \text{ Вт}$$

Мощность выбираемого электродвигателя должна превышать эквивалентную мощность нагрузки.

Контрольные вопросы.

1. Приведите особенности технологических характеристик ручных электрифицированных машин.
2. Как связаны вес инструмента и частота тока питающей сети?
3. Приведите вид механических характеристик ручных машин и их кинематические схемы.
4. Изобразите вид нагрузочных диаграмм ручных инструментов.
5. Приведите формулы по расчету мощности приводных электродвигателей ручных инструментов.
6. Как влияет качество электроэнергии на работу ручных инструментов?
7. Перечислите типы электрических двигателей, применяемых в электроприводе ручных машин.
8. Расскажите способы регулирования частоты вращения инструментов, приведите типовые схемы управления, вид диаграмм напряжений.
9. Приведите схемы управления инструментами, питающихся от аккумуляторов, расскажите работу схемы.
10. Приведите способы питания стригальных машинок, как влияет качество электроэнергии на их работу.
11. Приведите способы питания инструментов для обрезки деревьев и кустов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев Н.И. Практикум по электроприводу/Н.И. Богатырев, С.В. Оськин, В.Н. Темников,; под общ. Ред С.В.Оськина.- Краснодар, 2009.- 288 с.
2. Богатырев Н.И. Электрические аппараты низкого напряжения: учебник для вузов/Н.И. Богатырев, О.В. Григораш, А.В. Винников, В.Л. Лихачев.- Краснодар: КубГАУ, 2012.- 538 с.
3. Богатырев Н.И. Электрические машины переменного тока: монография/Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, К.А-А Джанибеков.-Краснодар, 2011.- 224 с.
4. Есимханов С.Б. Повышение эксплуатационных свойств системы автономного асинхронного электропривода сельскохозяйственного назначения на основе оптимизации параметров напряжения (на примере цепной электропи- лы). Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Алматы. – 2010.-25 с.
5. Икоева Э.Ю. Разработка и исследование параметров привода безредукторного молочного сепаратора для фермерских хозяйств. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Владикавказ. – 2004.-23 с.
6. Кондратенков Н.И. Курсовое проектирование пол электроприводу в мсельском хозяйстве: Учебное пособие/ Н.И. Кондратенков, Г.М. Грачев, В.И.Антони. – Челябинск:ЧГАУ, 2002.- 236 с.
7. Коваленко В.П. Квалификационные задачи по механизации животноводства: Учебн. пособие. КГАУ, Краснодар. 2009.- 289 с.
8. Красников В.В. Подъемно-транспортныемашины./В.В. Красников.3-3 изд., перераб. и доп.- М.: Колос, 1981.-263 с.
9. Минаев И.Г. Програмируемые логические контроллерыв автоматизированных системах управления: учебное пособие/ И.г. Минаев, В.М. Шар- рапов, В.В. Самойленко, Д.Г. Ушкур.- 2-е изд., пераб. И доп.- Ставрополь: АГРУС, 2010.- 128 с.
10. Михайлов О.П. Современный электропривод станков с ЧПУ и про- мышленных роботов: Практ. пособие/О.П. Михайлов, Р.Т.Орлова, А.В. Пальцев; под ред. Б.И. Черпакова. М.: Высш. школа,-1989.- 111 с.
11. Мякишев Н.Ф. Электропривод и электрооборудование автоматизиро- ванных сельскохозяйственных установок./ Н.Ф. Мякишев.М.: «Агропромиз- дат», 1986.- 176 с.
12. Монтаж и эксплуатация лифтов: Учеб. для СПТУ / В.С. Полковников, Н.А. Лобов, Е.В. Грузинов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1987. – 256 с.: ил.
13. Немец Я.Л. Погрузочно-разгрузочные машины и скаладское оборудо- вание промышленных предприятий./Под общ ред. Я.Л. Немец. М.: «Машин- гостроение», 1970.-526 с.
14. Оськин С.В. Особенности работы фильтровой защиты от обрыва фазы погружных электродвигателей в сельском хозяйстве: учебное пособие/С.В. Оськин, А.Ф. Кроневальд.- Краснодар: КубГАУ, 2010.-115 с.

15. Оськин С.В. Применение индукционных регуляторов в вентиляционных системах: учебное пособие/С.В. Оськин, В.И. Шипалов.- Краснодар, Изд-во КГАУ, 2010.- 110. с.
16. Оськин С.В. Экономическое обоснование организационно-технических мероприятий в курсовых и дипломных проектах.- Краснодар, Изд-во КГАУ, 2008.- 108 с.
17. Оськин С.В. Методы и средства повышения эффективности асинхронных нерегулируемых эл. приводов (для кормоцехов и предприятий по переработке с/х продукции) Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - Челябинск. – 1998.-44 с.
18. Оськин С.В., Щербаева Л.П. Электропривод сельскохозяйственных центробежных насосов./ Л.П. Щербаева, С.В. Оськин// Учебное пособие. Зеленоград: УРП АЧИМСХ, 1995.- 35 с.
19. Сазыкин В.Г. Перспективы повышения эффективности электроэнергетического комплекса Кубани. Электрогериатрия – совершенствование эксплуатации изношенного оборудования/В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков, С.А. Нетребко, В.В. Пронь.- Краснодар: КубГАУ, 2012.- 448 с.
20. Сергеев Н.С. Центробежно-роторные измельчители зерна. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - Челябинск. – 2008.-39 с.
21. Сергеев Н.С. Новая конструкция и рабочий процесс центробежно-роторного измельчителя фуражного зерна./Н.С. Сергеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. - №6 – с.30-31.
22. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов./М.М. Соколов/Учебник для студентов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматизация пром. установок». Изд. 3-е, переработ. и доп. М.: «Энергия», 1976.- 488 с.
23. Соколов Н.Г., Елисеев В.А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. Учеб. Пособие для вузов по специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок»./ Н.Г. Соколов, В.А. Елисеев. М.: «Высш. Школа», 1969.-296 с.
24. Теория электропривода: Учебник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк и др.; Под ред. М.Г. Поповича. К.: Высшая школа., 1993.– 494 с.
25. Торопцев Н.Д. Трехфазные асинхронные двигатели в однофазных сетях./ Н.Д. Торопцев.-М.: Энергоатомиздат, 1997.- 128 с.
26. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий./А.П. Фоменков. М.: Колос, 1984.- 311 с.
27. Хорольский В.Я. Энергосбережение в электроустановках предприятий, организаций и учреждений: учебно-практическое пособие/ В.Я. Хорольский, И.В. Атанов, В.Н. Шемякин; Ставропольский государственный аграрный университет.- Ставрополь: АГРУС, 2011.-110 с.
28. Цупак А.В. Электропривод центрифуг и вибромеханизмов сельскохозяйственного назначения./А.В. Цупак//Учебное пособие. Ленинград: типография ЛСХИ, 1985.- 36 с.

29. Цупак А.В. Электропривод сельскохозяйственных центробежных насосов и вентиляторов./А.В. Цупак//Учебное пособие. Ленинград: типография ЛСХИ, 1983.- 48 с.

30. Яцкевич В.В. Электрические схемы лифтов:Справ.пособие./В.В. Яцкевич.-Мн.: Выш. школа, 1982.-96 с.

31. Ядыкин В.С. Преобразователи частоты с улучшенными энергетическими показателями для электропривода стригальных машинок. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Ставрополь. – 2003.-18 с..

Приложение 1 - Интенсивности отказов компонентов

Компоненты	$\lambda_{н,} \times 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$
Микросхемы со средней степенью интеграции	0,013
Большие интегральные микросхемы	0,01
Транзисторы германиевые:	
до 2 мВт	0,4
до 20 мВт	0,7
до 200 мВт	0,6
свыше 2000 мВт	1,91
Транзисторы кремниевые:	
до 150 мВт	0,84
до 1 Вт	0,5
до 4 Вт	0,74
Диоды германиевые	0,157
Диоды кремниевые	0,2
Конденсаторы:	
бумажные	0,05
керамические	0,15
слюдяные	0,075
стеклянные	0,06
электролитические	0,035
воздушные переменные	0,034
Резисторы	
композиционные	0,043
пленочные	0,03
проволочные	0,087
угольные	0,045
Трансформаторы	
входные	1,09
выходные	0,09
звуковой частоты	0,02
высокочастотные	0,045
Трансформаторы питания	0,025
Автотрансформаторы	0,06
Дроссели	0,34
Катушки индуктивности	0,02
Обмотки электродвигателя	0,08
Реле	0,25n
Соединители	0,062n
Переключатели кнопочные	0,07n
Гнезда	0,01
Зажимы	0,0005
Провода соединительные	0,015
Кабели	0,475
Изоляторы	0,05
Аккумуляторы	7,2
Батареи заряжаемые	1,4
Электродвигатели:	
асинхронные	8,6
синхронные	0,359
вентиляторные	2,25
Предохранители	0,5
Плата печатной схемы	0,7
Пайка монтажа:	
печатного	0,01
навесного	0,03
объемного	0,02

**Приложение 2 - Технологический ущерб на молочно-товарных фермах и комплексах, руб. на одно животное за 1 ч простоя оборудования
(по состоянию на 01.01.01 г.)**

Технологические процессы	Среднесуточная продуктивность, кг						
	До 5,0	5,1-7,0	7,1-10,0	10,1-12,0	12,1-18,0	18,1-22,0	Свыше 22
Доеение	1,37	1,92	2,65	3,20	4,02	4,84	5,93
Поение	0,73	1,10	1,55	1,83	2,28	2,74	3,38
Кормление	0,55	0,82	1,19	1,37	1,83	8,10	2,56
Первичная обработка молока	0,64	0,91	1,28	1,55	2,01	2,37	2,92
Обеспечение требуемого микроклимата	0,36	0,55	0,73	0,91	0,19	1,37	1,73

Приложение 3 - Технологический ущерб на фермах и комплексах по откорму молодняка КРС, руб. на одно животное за 1 ч простоя оборудования (по состоянию на 01.01.01 г.)

Технологические процессы	Среднесуточный привес, кг/гол							
	До 0,60	0,61-0,65	0,66-0,70	0,71-0,75	0,76-0,80	0,81-0,85	0,86-0,90	Свыше 0,90
Кормление	0,20	0,22	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32
Поение	0,26	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
Обеспечение требуемого микроклимата	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27

Приложение 4 - Технологический ущерб на фермах и комплексах по откорму свиней, руб. на одно животное за 1 ч простоя оборудования (по состоянию на 01.01.01 г.)

Технологические процессы	Среднесуточный привес, кг/гол							
	До 0,30	0,31-0,40	0,41-0,50	0,51-0,60	0,61-0,70	0,71-0,80	0,81-0,90	Свыше 0,90
Кормление	0,33	0,44	0,55	0,66	0,76	0,87	1,00	1,11
Поение	0,40	0,53	0,67	0,81	0,94	1,07	1,20	1,34
Обеспечение требуемого микроклимата	0,10	0,14	0,16	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34
ИК и УФ облучение	0,10	0,14	0,16	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34

**Приложение 5- Технологический ущерб (при простое всех электрифицированных процессов) за 1 ч простоя оборудования
(данные по состоянию на 01.01.01 г.)**

Предприятия	Ущерб
Птицефабрики яичного направления на 100 тыс. и более кур-несушек	33,1 руб./гол.
Птицефабрики мясного направления на 1 млн. и более бройлеров в год	20,6 руб./гол.
Теплицы весенние, парники	0,94 руб./м ²
Теплицы зимние	1,15 руб./м ²

**Приложение 6 - Средний удельный ущерб на сельскохозяйственных предприятиях от перерывов в электроснабжении
(данные по состоянию на 01.01.01 г.)**

Предприятия	Удельный ущерб	
	руб./кВт·ч	руб./голову, руб./м ² за 1 час перерыва
Комплексы и фермы молочного направления	54,8	11,4
Фермы по выращиванию и откорму КРС	92,9	3,6
Свиноводческие комплексы	870,0	37,5
Свинотоварные фермы	117,0	2,7
Птицефабрики яичного направления на 100 тыс. кур-несушек	3180	39,0
Птицефабрики мясного направления на 1 млн. бройлеров в год	543,0	0,9
Теплицы весенние, парники	51,5	1,5
Теплицы зимние	639,0	11,1

Приложение 7 - Функционально-защитные характеристики и показатели надёжности устройств защиты электродвигателей

Защита	Ср. срок службы, T _{сл} , год	Коэф. само-контр.	Вероятности несрабатывания по аварийным режимам				
			ОФ	ЗАКЛ.	ТП	ПСИ	НО
Тепловые реле: ТРН	3,1	0	0,70	0,75	0,35	1	1
ТРН*	3,1	0	0,55	0,60	0,15	1	1
РТЛ	3,1	0	0,40	0,55	0,25	1	1
РТЛ*	3,1	0	0,15	0,35	0,10	1	1
Автоматические выключатели.	2,3	0	0,50	0,60	0,30	1	1
Реле напряжения нулевой и обр. последовательности типа ЕЛ-8,ЕЛ-12	5	0,65	0,30	1	1	1	1
Реле максимального тока	3	0,95	1	0,02	0,85	1	1
УВТЗ-1М	5	0,40	0,24	0,33	0,09	1	0,09
УВТЗ-5	3	0,72	0,07	0,33	0,09	1	0,09
УВТЗ-5М	8	0,8	0,07	0,33	0,09	1	0,09
ФУЗ-М	5	0,69	0,05	0,05	0,24	1	1
Устройства, контролирующие сопр. изоляции ЗОУП-25	5	0,40	1	1	1	0,05	1
Примечание. * - данные при проведении специальной дополнительной настройки аппарата защиты.							

Приложение 8 - Статистика отказов магнитных пускателей, автоматических выключателей

Наименование рабочих машин, процессов	Автоматический выключатель		Магнитный пускатель	
	Срок службы, г	Ср. квадр. отклон., г	Срок службы, г	Ср. квадр. отклон., г
ФЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА И СВИНОТОВАРНЫЕ ФЕРМЫ				
Навозоуборочные транспортеры	3,24	1,69	3,24	1,69
Вакуумнасосы	4,48	1,40	4,19	1,09
Доение и первичная обработка молока	4,80	2,70	4,10	1,30
Раздача кормов	4,38	0,65	4,00	0,84
Вентиляция	5,04	0,21	4,04	1,57
ПТИЦЕТОВАРНЫЕ ФЕРМЫ				
Уборка помета	5,29	0,49	4,5	1,64
Кормораздача транспортерами:				
ленточный	4,38	0,65	4,00	0,84
батарейный	4,33	0,52	4,33	0,52
поперечный	5,50	1,29	4,75	0,50
Вентиляция:				
приточная	4,43	0,53	4,29	0,49
вытяжная	4,54	0,50	4,27	0,45
система «Климат»	5,04	0,21	4,04	1,57
Яйцесборная машина	4,50	1,57	4,50	1,57
Кормоцех	4,84	1,63	4,55	1,79
Водоснабжение	4,00	1,21	3,79	1,08
Растениеводство	6,50	1,60	5,84	1,46
Механические мастерские и котельные	3,5	0,58	3,5	0,58
В среднем по сельскохозяйственной отрасли	4,63	0,72	4,23	0,54

Приложение 16 - Сведения о времени работы механизмов и об отказах электродвигателей

Наименование рабочих машин и технологических процессов.	Число часов использования		Средний срок службы АД, годы	Ср. квадрат отклонение, годы	Средняя вероятность отказа асинхронных двигателей (АД) за срок службы, по причинам							
	в сутки	в год			обрыв фазы	заклинивание	технолог. перегрузка	снижение сопротивления изоляции	ухудшен. охлаждения	завод. дефекты	износ подшипников	прочие
ФЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА												
Уборка навоза внутри помещений транспортерами:												
горизонтальный	1	300	4,24	2,32	0,13	0,38	0,19	0,18	0,03	0,01	0,01	0,07
наклонный	1	300	1,72	0,82	0,13	0,39	0,19	0,19	0,02	0,01	0,01	0,06
Уборка навоза	4	1000	2,38	0,87	0,13	0,38	0,18	0,18	0,03	0,01	0,01	0,07
Вакуумная установка	6	2000	1,83	0,70	0,37	0,41	0,06	0,16	0	0	0	0
Доение	6	2000	1,84	0,82	0,32	0,18	0,04	0,32	0,03	0,03	0	0,07
Первичная обработка молока	6,5	1800	4,06	1,78	0,32	0,18	0,04	0,32	0,03	0,03	0	0,07
Раздатчики кормов	2	400	2,99	0,47	0,21	0,27	0,2	0,15	0,07	0,01	0,02	0,07
Комплекты приточно-вытяжной установки	8	2800	4,01	2,98	0,50	0,13	0,04	0,13	0,06	0,01	0,06	0,07
СВИНОТОВАРНЫЕ ФЕРМЫ												
Уборка навоза внутри												

помещений													
транспортерами:													
горизонтальный	1	300	4,24	2,32	0,13	0,38	0,19	0,18	0,03	0,01	0,01	0,07	
наклонный	1	300	1,72	0,82	0,13	0,39	0,19	0,19	0,02	0,01	0,01	0,06	
Уборка навоза	2,2	500	2,38	0,87	0,13	0,38	0,18	0,18	0,03	0,01	0,01	0,07	
Раздатчики кормов	3	340	3,1	0,5	0,21	0,27	0,2	0,15	0,07	0,01	0,02	0,07	
Комплекты приточно-вытяжной установки	8	2800	4,01	2,98	0,50	0,13	0,04	0,13	0,06	0,01	0,06	0,07	
ПТИЦЕТОВАРНЫЕ ФЕРМЫ													
Уборка помета	0,2	35	2,38	0,87	0,13	0,38	0,19	0,18	0,03	0,01	0,01	0,07	
Транспортеры раздачи корма	0,3	100	3,1	0,5	0,21	0,27	0,20	0,15	0,07	0,01	0,02	0,07	
Комплекты приточно-вытяжной установки	8	2800	4,01	2,98	0,50	0,13	0,04	0,13	0,06	0,01	0,06	0,07	
КОРМОЦЕХИ ФЕРМ													
Измельчитель «Волгарь-5"»	3.5	1200	3,88	0,88	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,0	0,01	0,02	
Измельчитель ИГК-30Б	3.5	1200	4,25	1,00	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02	
Измельчитель корнеклубнеплодов ИКС-5М	3.5	1200	2,81	1,27	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02	
Дробилка кормов ДКУ-2,0	3	900	3,22	1,24	0,11	0,24	0,10	0,38	0,17	0	0	0	
Пресс	3	900	4,25	1,49	0,20	0,21	0,38	0	0,21	0	0	0	
Нория	3.5	1200	3,00	1,41	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02	
Транспортеры	3.5	1200	3,00	1,41	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02	

Смеситель-запарник С-12	5	1800	2,35	1,21	0,06	0,19	0,25	0,25	0,13	0,06	0,06	0
Транспортер скребк. ТС-40	3,5	1200	1,83	0,92	0,08	0,19	0,19	0,08	0,42	0	0	0,04
Транспортёр ковшовый ТК-3	3,5	1200	3,20	0,45	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02
Паровой котел КВ-300	3	900	2,38	0,72	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02
Кормоцех	3	900	2,96	0,74	0,18	0,27	0,27	0,13	0,11	0,01	0,01	0,02
Насосы водоснабжения	6	2200	2,25	1,41	0,35	0,17	0,09	0,26	0,03	0,02	0,06	0,02
Растениеводство	8	1000	3,4	-	0,16	0,31	0,24	0,24	0,04	0	0	0,01
Механические мастерские	6	1500	9	-	0,17	0,20	0,14	0,24	0,09	0,01	0	0,15

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАБОЧИХ МАШИН.....	6
1.1 Приводные характеристики рабочих машин и условия работы автоматизированного электропривода в АПК	6
1.2. Надежность невосстанавливаемых элементов электропривода..	
1.3. Расчет надежности восстанавливаемых систем	21
1.4 Методы экономической оценки эффективности функционирования автоматизированного электропривода.....	31
Контрольные вопросы.....	40
2. ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ	41
2.1 Общие приводные характеристики, определение мощности, способы регулирования производительности насосов и вентиляторов...	41
2.2 Особенности приводных характеристик насосных установок....	53
2.3. Особенности приводных характеристик сепараторов, очистительных и специализированных центрифуг.....	68
2.4. Эффективность применения преобразователей частоты в насосных установках.....	87
2.5. Эффективность электропривода насосных установок.....	93
2.6. Способы автоматизации насосных установок.....	105
2.7. Автоматизация работы вентиляционных установок.....	121
2.8. Способы автоматизации работы сепараторов.....	134
Контрольные вопросы.....	136
3. МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	137
3.1. Особенности технологических и кинематических схем.....	
3.2. Механические, инерционные, энергетические характеристики и нагрузочные диаграммы машин для измельчения продукции растениеводства.....	154
3.3. Способы достижения устойчивой и эффективной работы измельчителей сельскохозяйственных продуктов.....	158
3.4. Схемы автоматизации работы измельчителей кормов и дробилок.....	173
Контрольные вопросы.....	184
4. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДЪЕМНО-	185

ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН.....	185
4.1. Приводные характеристики стационарных транспортеров.....	219
4.2 Особенности приводных характеристик мобильных машин	245
4.3 Схемы автоматизации стационарных транспортеров.....	
4.4. Схемы управления мобильных транспортных машин и спосо- бы их автоматизации.....	265 281
4.5. Схемы автоматизации грузоподъемных машин.....	292
4.6. Схемы автоматизации лифтов.....	
4.7 Особенности схем автоматизации электроприводов поточных линий.....	313 345
Контрольные вопросы.....	
5. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ, СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	347 347
5.1. Назначение и приводные характеристики станков.....	381
5.2. Электрооборудование, схемы автоматизации станков.....	
5.3. Особенности технологических характеристик деревообраба- тывающих станков, схемы автоматизации	407 446
Контрольные вопросы.....	
6.ЭЛЕКТРОПРИВОД РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ.....	447
6.1. Приводные характеристики ручных электрифицированных машин.....	447
6.2 Типы электрических двигателей в электроприводе ручных машин и схемы автоматизации их работы	465
Контрольные вопросы.....	476
ЛИТЕРАТУРА.....	477
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	480
СОДЕРЖАНИЕ.....	488

Учебное издание

Оськин Сергей Владимирович

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Учебное пособие

Редактор – Н.С. Духин
Компьютерный набор – С.В. Оськин
Дизайн обложки – С.В. Оськин

Подписано в печать 21.03.2013 г.
Формат . Усл.печ.л. 30,5
Тираж 200 экз.
Заказ 228

Типография ООО «Крон»
350044, г. Краснодар.....