



УЧЕБНИКИ  
И УЧЕБНЫЕ  
ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**А. П. ФОМЕНКОВ**

---

# ЭЛЕКТРОПРИВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН, АГРЕГАТОВ И ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

ИЗДАНИЕ 2-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ  
И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям 1510 «Электрификация сельского хозяйства» и 1515 «Автоматизация сельскохозяйственного производства».

МОСКВА «КОЛОС» 1984



Одн. 51(07)  
Ф7-76

ББК 40.7

Ф76

УДК 631.3—83(075.8)

Рецензенты: кандидат технических наук *О. Б. Кисель*, инженер *Б. А. Колобов*

408672

**Фоменков А. П.**

Ф 76 Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, 1984. — 288 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

Учебное пособие написано в соответствии с программой второй части курса «Автоматизированный электропривод». Содержит основные сведения по теории, расчету, выбору, испытанию и применению автоматизированных электроприводов и их систем в сельскохозяйственном производстве. По сравнению с первым изданием (1973 г.) в пособии рассмотрен электропривод новых машин, агрегатов и поточных линий, приведена новая методика расчета маховикового электропривода.

Ф  $\frac{3802040200-212}{035(01)-84}$  100—84

ББК 40.7  
631.3

© Издательство «Колос», 1973  
© Издательство «Колос», 1984, с изменениями  
БИБЛИОТЕКА

# Глава 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

## 1.1. ЭЛЕКТРОПРИВОД В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Комплексная механизация, электрификация и автоматизация технологических процессов является генеральным направлением развития современного сельского хозяйства. Это направление отражено в Программе Коммунистической партии Советского Союза, в решениях XXVI съезда партии, майского (1982 г.) и последующих Пленумов ЦК КПСС.

Майский (1982 г.) Пленум ЦК КПСС одобрил Продовольственную программу СССР, которая предусматривает дальнейшее развитие аграрной политики КПСС и намечает коренной поворот в развитии сельского хозяйства.

На ноябрьском (1982 г.) Пленуме ЦК КПСС было отмечено, что центральное место в наших планах занимают меры, связанные с реализацией Продовольственной программы. В этой программе указаны новые рубежи по производству основных видов продуктов сельского хозяйства. Намечается увеличить среднегодовое производство зерна в двенадцатой пятилетке до 250. . . 255 млн. тонн, мяса (в убойном весе) — до 20. . . 20,5 млн. тонн, молока — до 104. . . 106 млн. тонн, яиц — до 78. . . 79 млрд. штук.

Достигнуть таких высоких показателей можно путем укрепления кормовой базы, перехода к интенсивным методам производства, развития специализации и концентрации отрасли, завершения комплексной механизации технологических процессов производства.

Июньский (1983 г.) Пленум ЦК КПСС выдвинул задачу активно формировать у специалистов новый тип экономического мышления, нацеленного на инициативу и социалистическую предприимчивость, повышение ответственности и укрепление дисциплины, на достижение в производственных делах при наименьших затратах наилучших конечных результатов.

Комплексная механизация предусматривает применение системы машин с высокими технико-экономическими пока-

зателями для выполнения всех производственных процессов в каждой поточной линии.

В системе машин для комплексной механизации и автоматизации животноводства и птицеводства на 1981. . .1990 гг. широко используются преимущества электропривода. Особенно характерно это для животноводства, где на период 1986. . .1990 гг. электрифицированные машины (749 наименований) составляют 72% общего их числа (1041 наименование), а автоматизированные — 26,4% (275 наименований).

Современная система электроприводов предполагает, что они не только максимально удовлетворяют требованиям машин, работающих в различных режимах, но и достигнута максимальная типизация и унификация элементов, более широко применены специальные, встроенные электроприводы, а их исполнение соответствует требованиям окружающей среды.

Комплексная автоматизация работ на фермах предусматривает такой набор машин, механизмов, электродвигателей и аппаратов управления, который обеспечивает выполнение производственного процесса без непосредственного участия человека, функции которого сводятся к периодическому контролю. Автоматизация сельскохозяйственных производственных процессов органически связана с повсеместной электрификацией сельскохозяйственного производства. Сейчас практически все совхозы и колхозы нашей страны электрифицированы. И их надежное централизованное электроснабжение от государственных энергетических систем способствует электрификации разнообразных сельскохозяйственных производственных процессов: водоснабжения, вентиляции, транспорта на животноводческих фермах, приготовления и раздачи кормов, доения коров и первичной обработки молока, стрижки овец, обмолота, очистки и сушки зерна, работы станков и стандов для обкатки двигателей внутреннего сгорания. В соответствии с Продовольственной программой к 1990 г. отпуск электроэнергии сельскому хозяйству составит 210. . . 235 млрд. кВт·ч.

Внедрение системы электрифицированных машин в сельскохозяйственное производство позволит завершить комплексную механизацию и автоматизацию трудоемких процессов в животноводстве и птицеводстве, повысить производительность труда, сократить численность работников, улучшить качество продукции и снизить затра-

ты на ее производство. В результате механизации, электрификации и автоматизации энерговооруженность труда одного работника в свиноводстве к 1990 г. составит 25. . . 40 кВт, в овцеводстве — 12,5. . . 20,6, в птицеводстве — 9,6. . . 16,9, в молочном скотоводстве — 9,6. . . 13,2 кВт.

Внедрение системы машин для комплексной механизации и автоматизации сельского хозяйства, поставка сельскому хозяйству в необходимом количестве электрооборудования, электроаппаратуры и кабельных изделий, в том числе для систем управления и автоматизации, позволяют успешно выполнить Продовольственную программу СССР.

### **1.2. ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И УСЛОВИЯ РАБОТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Приводные характеристики сельскохозяйственных машин — технологические, кинематические, энергетические, механические, нагрузочные, инерционные — используют в процессе проектирования рационального электропривода.

Технологические характеристики изображают в виде технологических схем. Они определяют требования к электроприводу со стороны качества продукции (допустимые колебания скорости, удельные расходы энергии, необходимость регулирования режимов работы, возможность и необходимость автоматизации) и условия работы электропривода в зависимости от характера окружающей среды, рода помещения (сухое, сухое неотапливаемое, сырое, пожароопасное, взрывоопасное).

Кинематические схемы дают представление о траекториях и скоростях движения всех элементов машин, а также о путях распределения энергетического потока от двигателя.

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.

Механические характеристики определяют зависимость установившейся скорости машины от момента сил сопротивления. Они могут быть изображены

графически (рис. 1.1) или описаны аналитически:

$$M_c = M_0 + (M_{c.н} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (1.1)$$

где  $M_c$  — момент сопротивления производственного механизма при угловой скорости  $\omega$ ;  $M_0$  — момент сопротивления трения в движущихся частях машины, принимаемый постоянным;  $M_{c.н}$  — момент сопротивления при номинальной угловой скорости  $\omega_n$ ;  $x$  — показатель степени, характеризующий изменение момента сопротивления при изменении угловой скорости; для типичных машин может принимать значения: 0, 1, 2,  $-1$ .

При  $x=0$  момент сопротивления не зависит от угловой скорости и определяется в основном моментом трения. Такой характеристикой обладают подъемные краны, лебедки, транспортеры, вакуум-насосы, поршневые насосы, механизмы подачи металлорежущих станков и других сельскохозяйственных машин.

При  $x=1$  момент сопротивления в основном линейно возрастает с увеличением скорости. Такой характеристикой обладают глиномялки и льномялки под нагрузкой, генератор с независимым возбуждением, работающий на постоянное внешнее сопротивление, зерноочистительные машины, корнеклубнемойки на холостом ходу, пресс ПСМ-5А на холостом ходу.

При  $x=2$  момент сопротивления в основном пропорционален квадрату скорости. Такой характеристикой обладают вентиляторы (отсюда и название «вентиляторная характеристика»), центробежные насосы, молотильные барабаны, сепараторы.

При  $x=-1$  момент сопротивления уменьшается обратно пропорционально угловой скорости. Такой характеристикой обладают некоторые металлообрабатывающие станки, зерновые норы под нагрузкой.

Механические характеристики используются при анализе переходных процессов, режимов работы машины совместно с электродвигателем, определении возможности пуска и устойчивой работы электропривода, построении нагрузочных диаграмм.

Нагрузочные диаграммы машин показывают зависимости момента  $M_c$ , мощности  $P_c$  сопротивлений и угловой скорости  $\omega_m$  рабочей машины от времени:  $M_c(t)$ ,  $P_c(t)$ ,  $\omega_m(t)$  и отражают характер и режим работы электропривода. Нагрузка рабочей машины может быть постоянной и переменной. С постоянной нагрузкой работают вентиляторы и центробежные насосы при постоянных

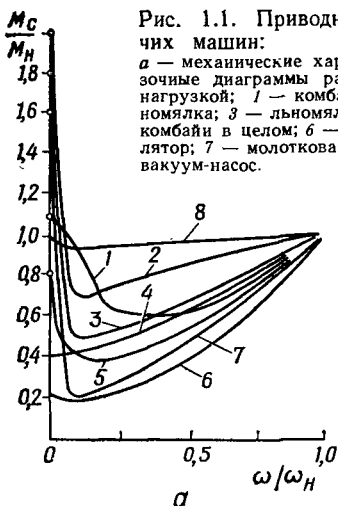
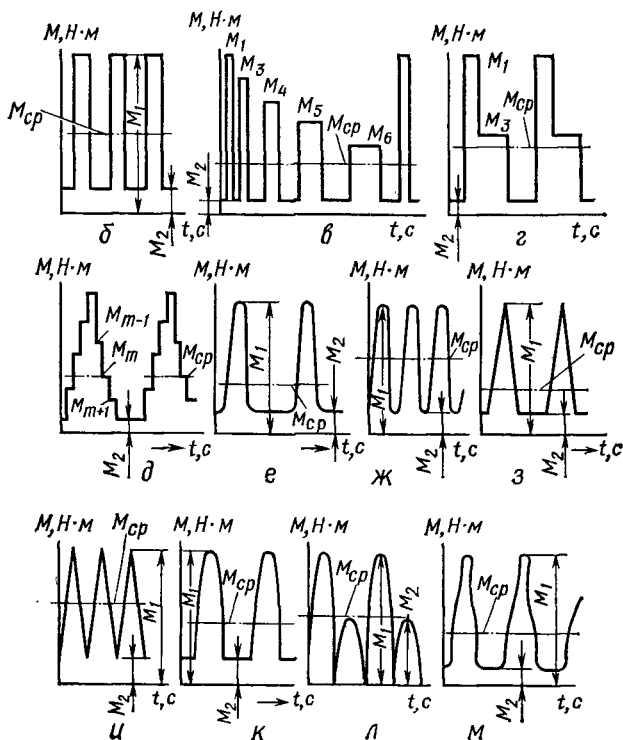


Рис. 1.1. Приводные характеристики рабочих машин:

*a* — механические характеристики; *б...м* — нагрузочные диаграммы рабочих машин с переменной нагрузкой; 1 — комбайновый двигатель; 2 — глиномялка; 3 — льномялка; 4 — отбойный битер; 5 — комбайн в целом; 6 — центробежный насос и вентилятор; 7 — молотковая дробилка; 8 — ротационный вакуум-насос.



производительности и напоре, зерновые элеваторы, когда неизменны подача и угловая скорость, сепараторы. С переменной нагрузкой работают машины, в которые перерабатываемая масса поступает неравномерно (дробилки, молотильные и комбайновые барабаны), а также машины, у которых скорость рабочих органов переменна (например 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 (рис. 1, б. . . д) и пульсирующая с плавным (рис. 1, е. . . м) нарастанием моментов сопротивления. По отношению максимального момента  $M_1$  к среднему  $M_{ср}$  различают слабопеременную ( $M_1/M_{ср} < 1,4$ ), умереннопеременную ( $M_1/M_{ср} = 1,4$  . . . 2) и резкопеременную ( $M_1/M_{ср} > 2$ ) нагрузки. В случае слабопеременной нагрузки вопрос о маховиковом приводе может возникнуть только при повышенных требованиях к степени неравномерности работы. Для умереннопеременной нагрузки вопрос о маховиковом приводе решают каждый раз в зависимости от конкретных условий. При резкопеременной нагрузке выбирают маховиковый электропривод. Нагрузочные диаграммы а. . . е, з, к, м (рис. 1) могут быть отнесены к перемежающемуся режиму работы, если  $M_2$  равен моменту холостого хода машины  $M_{х. м}$ .

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, сеносоломопрессов) момент инерции — величина переменная. Значение и степень изменения момента инерции обычно используют при определении продолжительности пуска и оценке равномерности хода машины при работе.

Постоянный момент инерции рабочей машины  $J_{м. пр}$ , приведенный к валу ротора двигателя с моментом инерции  $J_p$ , увеличивает приведенный момент инерции привода

$$J_{пр} = J_p + J_{м. пр}, \quad (1.2)$$



который характеризуется коэффициентом инерции привода

$$F_J = \frac{J_p + J_{м. пр.}}{J_p} \quad (1.3)$$

Коэффициент инерции изменяется в широких пределах от величины, близкой к единице для приводов машин с  $J_{м. пр.} \ll J_p$ , до 25 у приводов кормодробилок и до  $F_J > 100$  у приводов центрифуг. 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 электропривода.

**Условия работы сельскохозяйственных электроприводов.** Помимо приводных характеристик машин, для выбора рационального электропривода необходимо учитывать условия окружающей среды и электроснабжения. Ряд сельскохозяйственных помещений отличается высоким содержанием химически активных веществ в сочетании с высокой влажностью окружающей среды (животноводческие помещения), запыленностью (мельницы, зернотока, деревообделочные мастерские). Кроме того, электродвигатели часто работают на открытом воздухе, подвергаясь непосредственному воздействию атмосферных влияний.

Наиболее агрессивное включение 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 достигает 90 . . 98%. Сероводород в помещениях находится в малом количестве (0,001 мг/л). Углекислый газ, взаимодействуя с водой, образует слабую неустойчивую кислоту, существенно не влияющую на изоляцию, но усиливающую коррозию металлов. При таких тяжелых условиях окружающей среды и малом числе часов работы в сутки, когда двигатели не успевают «самоосушиться», сопротивление изоляции электрооборудования быстро снижается. Поэтому электрооборудование для животноводческих помещений должно быть рассчитано на работу в среде с относительной влажностью до 90 . . 100% при содержании паров аммиака до 0,2 мг/л.

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.

### 1.3. ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ

Отклонение напряжения на зажимах двигателя при пуске от трансформатора

$$\Delta u_{\phi} = \frac{z_{\Gamma} + z_{\text{л}}}{z_{\Gamma} + z_{\text{л}} + z_{\text{д}}}, \quad (1.4)$$

где  $z_{\Gamma} = \frac{U_{\text{н}} u_{\text{к}}}{I_{\text{н.т}}}$  — полное сопротивление короткого замыкания трансформатора, Ом;  $z_{\text{л}} = z_0 l$  — полное сопротивление соединительной линии, Ом;  $z_{\text{д}} = \frac{U_{\text{н}}}{k_l I_{\text{н.д}}}$  — полное сопротивление короткого замыкания асинхронного двигателя, Ом;  $U_{\text{н}}$  — номинальное фазное напряжение трансформатора, В;  $I_{\text{н.т}}$ ,  $I_{\text{н.д}}$ ,  $I_{\text{н.г}}$  — номинальные фазовые токи трансформатора, двигателя, генератора, А;  $u_{\text{к}}$  — напряжение короткого замыкания трансформатора, о. е.;  $z_0$  — полное сопротивление 1 км линии, Ом/км;  $l$  — длина линии, км;  $k_l$  — кратность пускового тока.

При пуске двигателя от генератора соизмеримой мощности  $z_{\Gamma}$  в формуле (1.4) заменяют на  $z_{\Gamma}$ :

$$z_{\Gamma} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н.г}} \text{ОКЗ}}, \quad (1.5)$$

где ОКЗ — отношение короткого замыкания генератора.

Нагрузка, включенная параллельно электродвигателю, также влияет на потерю напряжения. В этом случае для подсчета отклонения напряжения в формулу (1.4) вме-

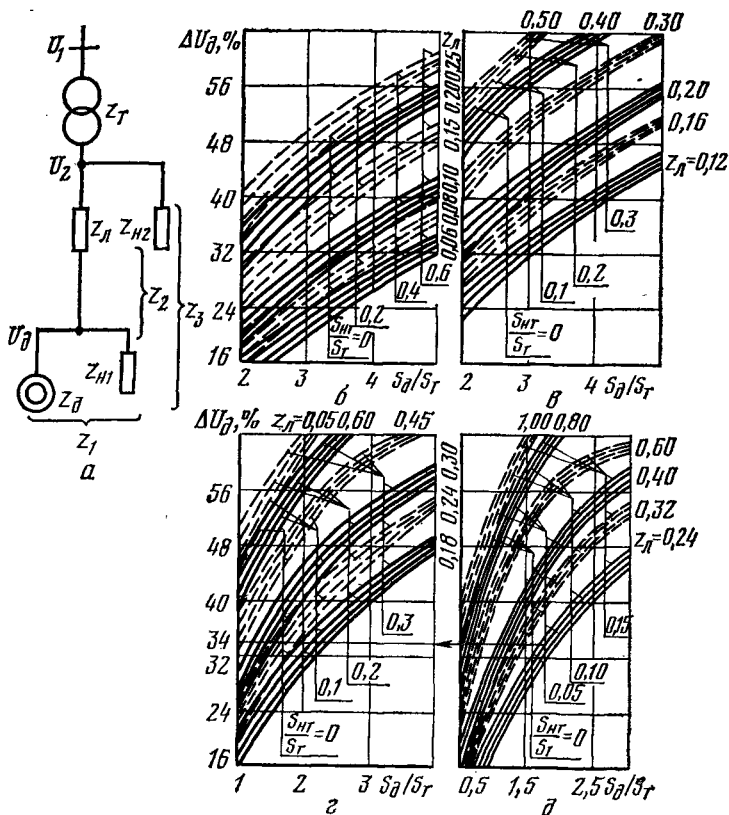


Рис. 1.2. Схемы низковольтной сети (а) и подсчета потери напряжения на зажимах пускаемого электродвигателя по номограммам при одной (б), двух (в), трех (г) и четырех (д) питающих линиях.

сто  $z_d$  следует подставить  $z_{\text{экв}}$  — эквивалентное сопротивление параллельно включенных двигателя и нагрузки:

$$z_{\text{экв}} = \frac{z_d z_H}{z_d + z_H}. \quad (1.6)$$

В формуле (1.4) коэффициент мощности для всех сопротивлений принят одинаковым. Подсчет отклонения напряжения с учетом коэффициента мощности электродвигателя и параллельной нагрузки для одного, двух, трех и четырех фидеров и составление номограмм (рис. 1.2) сделаны кандидатом технических наук В. В. Панькиным при ус-

ловии, что нагрузка между фидерами распределена равномерно. Расчет приведен в относительных единицах, за базовые величины приняты напряжения трансформатора  $u_1 = 1,05$ ,  $u_2 = 1$  и его мощность  $s_T = 1$ .

Сопrotивление параллельно включенных электродвигателя (при пуске) и нагрузки определяется с учетом средних значений  $\cos \varphi_K = 0,5$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,8$  по формуле

$$z_1 = \frac{z_d}{\sqrt{1 + \frac{z_d^2}{z_{H1}^2} + 2 \frac{z_d}{z_{H1}} \cos(\varphi_K - \varphi_{H1})}}, \quad (1.7)$$

где  $z_d = 1/s_d$ ;  $z_{H1} = 1/s_{H1}$  — полные сопротивления пускаемого электродвигателя и нагрузки в относительных единицах.

Пусковая мощность двигателя  $s_d$  и мощность нагрузки  $s_{H1}$

$$s_d = \left(\frac{U_2}{U_d}\right)^2 \frac{S_d}{S_T} = 1,1 \frac{S_d}{S_T}; \quad s_{H1} = 1,1 \frac{S_{H1}}{S_T}$$

приведены к мощности  $S_T$  и напряжению  $U_2$  вторичной стороны трансформатора. Сопротивления  $z_1$  и  $z_n$  последовательно включенных элементов линии суммируют без учета косинусов углов из-за незначительной их разницы:

$$z_2 = z_1 + z_{л. пр}, \quad (1.8)$$

где  $z_{л. пр} = z_l \frac{S_T}{U_T}$  — полное приведенное сопротивление участка линии;

$z_l$  — полное сопротивление линии;  $U_T$  — вторичное напряжение трансформатора.

Эквивалентное сопротивление параллельно включенных приемников

$$z_3 = \frac{z_2 z_{H2}}{z_2 + z_{H2}}. \quad (1.9)$$

Полное суммарное сопротивление трансформатора и подключенных потребителей

$$z_\Sigma = z_3 + z_T. \quad (1.10)$$

Полное сопротивление трансформатора  $z_T$  в относительных единицах равно его напряжению короткого замыкания. Для трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А, напряжением 35/0,4 и 10/0,4 кВ  $z_T = u_K = 0,055$ .

Напряжение на вторичной стороне трансформатора при пуске электродвигателя

$$u_2 = u_1 \frac{z_3}{z_\Sigma}. \quad (1.11)$$

Напряжение на двигателе при пуске, отнесенное к базовому и номинальному,

$$u_d = u_d' \frac{400}{380}; \quad u_d = u_2 \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{400}{380}. \quad (1.12)$$

С учетом изложенного

$$u_d = \frac{400}{380} u_1 \frac{z_1 z_{H2}}{z_T (z_1 + z_d + z_{H2}) + z_{H2} (z_1 + z_d)}. \quad (1.13)$$

Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя при пуске

$$\Delta u_d = 1 - u_d. \quad (1.14)$$

Пуск электродвигателя привода рабочей машины возможен при условии

$$u_d^2 \mu_p \geq \mu_{тр} + \mu_{изб}, \quad (1.15)$$

где  $\mu_p = \frac{M_p}{M_H}$  — кратность пускового момента электродвигателя;

$\mu_{тр} = \frac{M_{тр}}{M_H}$  — кратность момента трогания рабочей машины;  $\mu_{изб} = 0,25$  — избыточный момент (рекомендуется предусматривать для обеспечения устойчивого пуска электропривода машины).

Зная по каталогу значение  $\mu_p$ , по механической характеристике машины  $\mu_{тр}$  определяют допустимое отклонение напряжения на двигателе:

$$\Delta u_{д. доп} = 1 - \sqrt{\frac{\mu_{тр} + 0,25}{\mu_p}}, \quad (1.16)$$

которое необходимо сопоставить с определенным по формуле (1.4) или по номограмме (рис. 1.2). При выполнении условия

$$\Delta u_{\phi} \leq \Delta u_{д. доп} \quad (1.17)$$

пуск обеспечен.

**Пример.** Если кратность момента трогания рабочей машины  $\mu_{тр} \leq 1/3$ , а кратность пускового момента  $\mu_p = 1,2$ , то

$$\Delta u_{д. доп} = 1 - \sqrt{\frac{0,33 + 0,25}{1,2}} = 0,3.$$

Отклонения больше 30% нежелательны, особенно для осветительных установок. Поэтому осуществляют раздельное питание силовой и осветительной нагрузок или применяют принудительный график работы приводов.

Для того чтобы при пуске короткозамкнутого асинхронного электродвигателя, соизмеримого по мощности с ис-

точником электроснабжения, не останавливались включенные ранее электродвигатели, снижение напряжения на их зажимах не должно превосходить значений, при которых максимальный (критический) момент  $M_k$  двигателя уменьшается до максимального момента сопротивления  $M_{c.\max}$  рабочей машины по нагрузочной диаграмме.

Условие устойчивости работы

$$u_d^2 \mu_k \geq \mu_{c.\max}. \quad (1.18)$$

С учетом формулы (1.14) допустимое отклонение напряжения для данного случая

$$\Delta u_{д. доп} = 1 - \sqrt{\frac{M_{c.\max}}{M_k}} \quad (1.19)$$

или

$$\Delta u_{д. доп} = 1 - \sqrt{\frac{\mu_{c.\max}}{\mu_k}}, \quad (1.20)$$

где  $\mu_c = M_{c.\max}/M_n$  — максимальный момент сопротивления в относительных единицах.

При выполнении условия (1.20) устойчивая работа двигателя обеспечена.

**Пример.** Если кратность максимального момента сопротивления  $\mu_{c.\max} = 1,4$ , а кратность момента критического двигателя  $\mu_k = 2,2$ , то

$$\Delta u_{д. доп} = 1 - \sqrt{\frac{1,4}{2,2}} = 0,2. \quad (1.21)$$

Для электродвигателей сельскохозяйственных электроприводов допустимое отклонение напряжения в рабочем режиме равно  $-7,5\%$  и  $+10\%$  номинального, а у остальных электроприемников  $\pm 7,5\%$ .

## Глава 2. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

### 2.1. ВЫБОР ТИПА И МОЩНОСТИ ВОДОСНАБЖАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Современные системы водоснабжения механизированных животноводческих ферм отличает высокая степень автоматизации. Автоматически управляемые электродвигатели приводов водокачек и автопоилки на фермах позволяют подавать воду к потребителю в необходимом количестве без непосредственного участия человека. Для того чтобы выбрать тип и мощность электронасосной установки и их число, необходимо исходя из местных условий решить вопрос о схеме водоснабжения.

Подачу воды на животноводческие фермы осуществляют в основном через водонапорный котел или водонапорный бак с приводом центробежных насосов от асинхронных двигателей. Непосредственная подача воды от насоса в распределительную сеть осуществляется в открытых оросительных системах с приводом от асинхронных или синхронных двигателей. Для непосредственной подачи воды на животноводческих фермах разрабатываются комплекты электрооборудования для автоматизации сельскохозяйственного водоснабжения с саморегулированием подачи воды при питании от статических преобразователей частоты, а также от электропривода с использованием электромагнитных муфт скольжения.

Для принятой схемы водоснабжения выбирают насос (в большинстве случаев надежный и простой в эксплуатации насос центробежного типа). Подачу  $Q_n$  (л/ч) насоса находят из следующего соотношения:

$$Q_n = Q_{\max.ч} = \frac{k_q k_{сут} Q_{ср.сут}}{24\eta}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\max.ч}$  — возможный максимальный часовой расход воды, л/ч;  $k_q$  — коэффициент неравномерности часового расхода (для поселка  $k_q = 1,5 \dots 2,5$ , для фермы с автопоилками  $k_q = 2 \dots 3$ , для фермы без автопоилок  $k_q = 4 \dots 5$ );  $k_{сут}$  — коэффициент неравномерности суточного расхода (1,1...1,3);  $\eta$  — КПД установки, учитывающий потери воды (0,9);  $Q_{ср.сут} = \sum q_i n_i$  — среднесуточный расход воды, л/сут;  $q_i$  — норма воды на одного  $i$ -го потребителя (корова, свинья, птица, технологический процесс, автомобиль), л/сут;  $n_i$  — число потребителей данного вида.

При расчете водоснабжения особо учитывают пожарный расход воды (2,5 . . 10 л/с) в зависимости от размеров хозяйства или населенного пункта, длительность пожара принимается равной 2 . . 3 ч. Этот расход обязаны обеспечить насосный агрегат и водопроводная сеть или на него должна быть рассчитана запасная емкость.

Напор насоса выбирают таким, чтобы он мог подавать воду при необходимом давлении в заданную точку. Требуемый напор насоса  $H_{н.тр}$  определяется высотой всасывания  $H_{вс}$  и высотой нагнетания  $H_{нг}$ , сумма которых определяет статический напор  $H_c$ ; потерями в трубопроводах  $H_n$  и разностью давлений на верхнем  $P_{в.у}$  и нижнем  $P_{н.у}$  уровнях.

Учитывая, что напор

$$H = \frac{P}{\rho g} = \frac{P}{\gamma}, \quad (2.2)$$

где  $P$  — давление, Па;  $\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup> — ускорение свободного падения;  $\gamma$  — удельный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>, получаем:

$$H_{н.тр} = H_c + H_n + \frac{1}{\gamma} (P_{в.у} - P_{н.у}). \quad (2.3)$$

Зная требуемые расход и напор, по каталогу выбирают насос подходящих параметров с учетом возможной частоты вращения приводного двигателя. По универсальной характеристике выбранного насоса уточняют его подачу  $Q_n$ , напор  $H_n$  и определяют коэффициент полезного действия  $\eta_n$  и мощность  $P_n$ . Мощность (кВт) двигателя привода насоса

$$P_{дв} = \frac{k_3 \gamma Q_n H_n}{\eta_n \eta_n}, \quad (2.4)$$

где  $k_3$  — коэффициент запаса, зависящий от мощности:

|                          |             |     |      |      |     |      |                |
|--------------------------|-------------|-----|------|------|-----|------|----------------|
| $P$ , кВт . . . . .      | $\leq 1$    | 2   | 3    | 4    | 5   | 8    | $\geq 10$      |
| $k_3$ , отн. ед. . . . . | 1,7 . . . 2 | 1,5 | 1,33 | 1,25 | 1,2 | 1,12 | 1,05 . . . 1,1 |

$\eta_n$  — КПД передачи (для прямой передачи 1, клиноременной 0,98, зубчатой 0,97, плоскоременной 0,95);  $\eta_n$  — КПД насосов поршневых 0,7 . . 0,9, центробежных 0,4 . . 0,8, вихревых 0,25 . . 0,5.

Для центробежных насосов особенно важен правильный выбор угловой скорости насоса, так как его производительность пропорциональна угловой скорости, напор и момент — квадрату угловой скорости, мощность — ее кубу:

$$Q \equiv \omega; \quad H \equiv \omega^2; \quad M \equiv \omega^2; \quad P \equiv \omega^3. \quad (2.5)$$



Из соотношений (2.5) следует, что при увеличении угловой скорости насоса мощность его возрастает, что может привести к перегреву электродвигателя. При снижении угловой скорости двигателя напор насоса может оказаться недостаточным для расчетной подачи.

Выбирая электронасосный агрегат по каталогу, необходимо учитывать его рабочие характеристики (рис. 2.1) и характеристику магистрали, на которую работает насос, то есть зависимость между подачей и суммарным значением напора, требуемого для подъема воды на заданную высоту, преодоления гидравлических сопротивлений и создания избыточного давления на выходе из нагнетательного трубопровода. Нужно стремиться к тому, чтобы рабочая точка *A* находилась в зоне максимальных значений КПД агрегата.

408672

Тип электродвигателя выбирают, исходя из условий окружающей среды и особенностей монтажа. Например, для привода погружных насосов типа ЭЦВ применяют электродвигатели мощностью 0,7...65 кВт специального исполнения типа ПЭДВ, рассчитанные для работы в буровых скважинах диаметром от 100 до 250 мм с подачей на высоту до 350 м. Обмотка статора двигателя выполнена проводом с полихлорвиниловой влагостойкой изоляцией. В приводе непогружных центробежных типа К и КМ и вихревых насосов используют асинхронные короткозамкнутые двигатели сельскохозяйственного исполнения и двигатели с фазным ротором с влагостойкой изоляцией мощностью 1,5...55 кВт.

Погружные электронасосы в зависимости от уровня залегания водоносного слоя эксплуатируют на глубинах 40...230 м. Срок службы погружных электродвигателей до сдачи в капитальный ремонт относительно небольшой — 1...1,5 г.

Механическая характеристика центробежного насоса

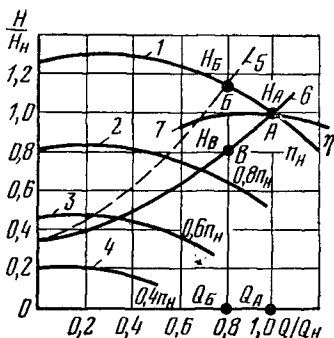


Рис. 2.1. Характеристики насоса при различных частотах вращения (1, 2, 3, 4), магистрали при различных степенях дросселирования (5, 6) и КПД (7) насоса при номинальной частоте вращения.

имеет вентиляторный вид и описывается формулой (1.1) при  $x=2$ . Момент сопротивления трения в подшипниках насоса  $M_0=0,05 M_H$ .

Средний момент поршневого насоса при работе на магистраль, где поддерживается постоянный напор, не зависит от угловой скорости вращения. Пуск поршневого насоса осуществляется при открытой задвижке на напорном трубопроводе. Иначе может произойти авария.

Центробежный насос можно пускать как при открытой, так и при закрытой задвижке на напорном трубопроводе.

## 2.2. РЕЖИМ РАБОТЫ ПРИВОДА И ДОПУСТИМАЯ ЧАСТОТА ВКЛЮЧЕНИЙ

Режим работы привода определяется подачей насоса  $Q_H$ , расходом воды в системе водоснабжения  $Q_P$  и рабочим объемом бака  $V_P$ . График работы электронасосного агрегата показан на рисунке 2.2.

Продолжительность работы агрегата

$$t_p = \frac{V_p}{Q_H - Q_P}. \quad (2.6)$$

Продолжительность паузы в работе агрегата

$$t_0 = \frac{V_p}{Q_P}. \quad (2.7)$$

Длительность одного цикла

$$T_{\text{ц}} = t_p + t_0 = \frac{V_p}{Q_H - Q_P} + \frac{V_p}{Q_P} = \frac{Q_H V_p}{Q_H Q_P - Q_P^2}. \quad (2.8)$$

Частота включений двигателя

$$z = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{Q_P (Q_H - Q_P)}{Q_H V_p}. \quad (2.9)$$

Расход воды при максимальной частоте включений двигателя можно определить из условия

$$\frac{dz}{dQ_P} = \frac{1}{Q_H V_p} (Q_H - 2Q_P) = 0, \quad (2.10)$$

решая которое, получим

$$Q_P = \frac{Q_H}{2}. \quad (2.11)$$

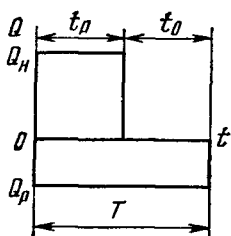


Рис. 2.2. График работы электронасосного агрегата.

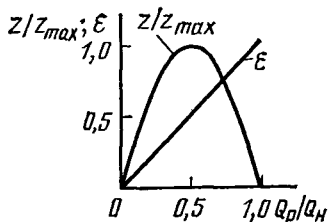


Рис. 2.3. Графики относительной частоты и продолжительности включений.

Относительная продолжительность включения зависит от отношения расхода к подаче насоса (рис. 2.3):

$$\varepsilon = \frac{t_p}{T_{ц}} = \frac{V_p (Q_H Q_p - Q_p^2)}{(Q_H - Q_p) Q_H V_p} = \frac{Q_p}{Q_H}. \quad (2.12)$$

При расходе воды, равном половине производительности насоса, и при относительной продолжительности включения  $\varepsilon = 0,5$  частота включений будет максимальной. С учетом формул (2.9) и (2.11)

$$z_{max} = \frac{\left(\frac{Q_H^2}{2} - \frac{Q_H^2}{4}\right)}{Q_H V_p} = \frac{Q_H}{4V_p}. \quad (2.13)$$

Выражение (2.13) позволяет найти рабочий объем бака или котла:

$$V_p = \frac{Q_H}{4z_{max}}. \quad (2.14)$$

Таким образом, для нормальной работы привода необходимо определенное соотношение рабочего объема регулирующей емкости и подачи насоса. Увеличение максимальной частоты включения ведет к уменьшению рабочего объема. Нормальное допустимое число включений в час равно 6. С целью увеличения срока службы электродвигателя желательно  $z_{max}$  уменьшать, а  $\varepsilon$  увеличивать.

При расходах, меньших  $0,5 Q_H$ , частота и продолжительность включения уменьшаются. В некоторых условиях режим работы может быть кратковременным, а нагрев двигателя — наименьшим за цикл работы. При расходах, больших  $0,5 Q_H$ , частота включений уменьшается, а продолжительность включений увеличивается. Когда  $Q_p = Q_H$ , режим работы двигателя становится продолжительным, а

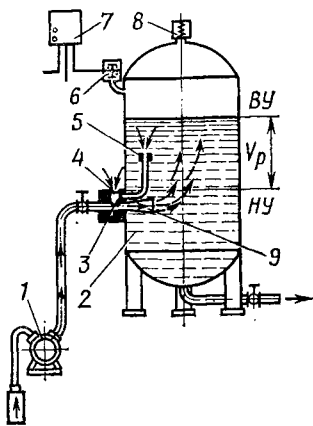


Рис. 2.4. Технологическая схема водоподъемной установки типа ВУ-5-30:

1 — насосный агрегат; 2 — воздушно-водяной котел; 3 — камера смешения; 4 — воздушный клапан; 5 — жиклер; 6 — реле давления; 7 — станция управления; 8 — предохранительный клапан; 9 — диффузор.

нагрев наибольшим. Поэтому двигатель насосной установки выбирают для продолжительного режима работы.

Объем котла определяют в результате анализа технологической схемы заполнения его водой: 1) в котле 2 (рис. 2.4) объемом  $V_0$  действует давление воздуха  $P_0$ , а вода отсутствует; 2) вода в котле находится на нижнем уровне НУ, при котором происходит автоматическое включение электронасоса, объем воздушной подушки  $V_1$ , давление воздуха  $P_1$ ; 3) вода в котле находится на верхнем уровне ВУ, происходит отключение электронасоса, объем воздуха  $V_2$ , давление  $P_2$ .

Регулируемый объем котла

$$V_p = V_1 - V_2. \quad (2.15)$$

Считая, что количество и температура воздуха в процессе работы остаются постоянными, по закону Бойля — Мариотта можно записать:

$$RT = P_0 V_0 = P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad (2.16)$$

где  $R$  — газовая постоянная воздуха;  $T$  — температура воздуха.

С учетом выражения (2.16) регулируемый объем котла

$$V_p = P_0 V_0 \left( \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right), \quad (2.17)$$

полный объем

$$V_0 = V_p \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1}{(1 - P_1/P_2)}. \quad (2.18)$$

Обычно давление  $P_0 = 1$ , а отношение  $P_1/P_2 = 0,65 \dots 0,75$  для небольших установок и  $0,8 \dots 0,85$  для крупных. Полный объем котла можно уменьшить, создав предварительное давление воздуха в нем, для чего требуется дополнительный компрессор с ручным или механическим приводом. Давление  $P_1$  выбирают таким, чтобы обеспечить по-

дачу воды к самому удаленному потребителю, а давление  $P_2$  определяют из отношения  $P_1/P_2=0,65 \dots 0,85$ .

Максимальную частоту включений в час для установок с котлом определяют, исходя из формулы (2.14):

$$z_{\max} = \frac{Q_H}{4V_p} = \frac{Q_H P_1}{4P_0 V_0 (1 - P_1/P_2)}. \quad (2.19)$$

Допустимая частота включений в час насосных установок — это такое число включений, при котором средняя температура двигателя после большого числа рабочих циклов будет равна максимально допустимой. В этих условиях двигатель полностью используется по нагреву. Двигатель используется полностью, если при работе с номинальной скоростью потери энергии, выделяемые в окружающую среду, те же, что и в номинальном режиме.

Ухудшение условий охлаждения неподвижного самовентилируемого двигателя учитывают коэффициентом

$$\beta = T_H/T_0, \quad (2.20)$$

где  $T_H$  и  $T_0$  — соответственно постоянные времени нагрева и охлаждения.

Если пренебречь незначительным изменением температуры, то теплоотдачу во время паузы можно выразить в виде  $\beta \Delta P_H t_0$ . Во время пуска и торможения теплоотдача меняется в пределах от  $\beta \Delta P_H$  до  $\Delta P_H$ , поэтому количество теплоты, отводимое при пуске, определяется как  $\frac{\beta+1}{2} \Delta P_H t_n$ , а при торможении — как  $\frac{\beta+1}{2} \Delta P_H t_T$ .

Обозначая потери энергии, выделяемые при пуске, через  $\Delta A_n$ , а за рабочий период — через  $\Delta P_H t_p$ , составляют уравнение энергетического баланса за цикл:

$$\Delta A_n + \Delta P_H t_p = \frac{1+\beta}{2} \Delta P_H t_n + \Delta P_H t_p + \frac{1+\beta}{2} \Delta P_H t_T + \beta \Delta P_H t_0, \quad (2.21)$$

где  $t_n$ ,  $t_p$ ,  $t_T$  и  $t_0$  — соответственно время пуска, установившейся работы, торможения и паузы.

Время цикла  $t_{ц}$  и частота включений в час  $z$  связаны выражением

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (2.22)$$

поэтому

$$t_p = \frac{3600}{z} \varepsilon - (t_n + t_T) \quad (2.23)$$

и

$$t_0 = \frac{3600}{z} (1 - \varepsilon). \quad (2.24)$$

Решая совместно уравнения (2.21) и (2.24) относительно  $z$ , получают формулу подсчета для допустимого числа включений в час при номинальной загрузке двигателя:

$$z = \frac{3600\beta (1 - \varepsilon) \Delta P_n}{\Delta A_n - \frac{1 + \beta}{2} (t_n + t_T) \Delta P_n}. \quad (2.25)$$

Из выражения (2.25) следует, что допустимая частота включений в час тем больше, чем выше номинальные потери  $\Delta P_n$  (двигатели с более теплостойкой изоляцией), чем совершеннее вентиляция ( $\beta=1$ ) и чем меньше пусковые потери  $\Delta A_n$ .

### 2.3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Подачу этих установок регулируют включением и отключением одного двигателя или части двигателей (когда в установке имеется несколько машин), дросселированием задвижкой, изменением частоты вращения.

Двухпозиционное релейное регулирование применено в большинстве автоматических установок. В этом случае двигатель работает в области номинальных нагрузок с достаточно высокими технико-экономическими показателями. Недостатки подобного способа заключаются в том, что двигатель часть времени не работает, то есть коэффициент использования его установленной мощности меньше единицы и пропорционален относительной продолжительности включения, кроме того, при увеличении частоты включения двигателя его нагрев может превысить допустимый. Поэтому привод должен быть проверен на допустимую частоту включений.

Регулирование дросселированием задвижкой изменяет характеристики магистрали от вида *б* к виду *б* и смещает рабочий режим из точки *А* в точку *Б* (рис. 2.1). Мощность насоса в точке *А*

$$P_A = Q_A H_A \eta^{-1},$$

в точке  $B$

$$P_B = P_B + P_{BB} = Q_B H_B \eta^{-1} + Q_B (H_B - H_B) \eta^{-1}. \quad (2.26)$$

Мощность  $P_B$  необходима для совершения полезной работы — подачи воды к потребителю по магистрали, мощность  $P_{BB}$  — для преодоления дополнительного сопротивления в прикрытой задвижке.

Качество регулирования подачи задвижками оценивается КПД регулирования  $\eta_p$ , учитывающим потери в задвижках:

$$\eta_p = \frac{P_B}{P_B} = \frac{H_B}{H_B}. \quad (2.27)$$

Значение  $\eta$  в точках  $A$ ,  $B$ ,  $B$  приняты одинаковыми. При увеличении глубины регулирования  $\eta_p$  становится меньше, поскольку увеличивается напор  $H_B$  и уменьшается напор  $H_B$ .

Регулирование дросселированием задвижкой применяют на нагнетательной магистрали в установках с асинхронными двигателями мощностью в несколько киловатт при небольшом диапазоне и плавности регулирования, когда применение других методов приводит к значительному росту капитальных затрат и не дает существенной экономии за счет снижения потерь.

Регулирование подачи изменением частоты вращения механизмов с вентиляторной механической характеристикой один из наиболее рациональных способов. Возможность такого регулирования очевидна из сопоставления характеристики  $6$  магистрали, на которую работает насос, с характеристиками  $1, 2, 3, 4$  насоса для различных частот вращения. При данном сочетании характеристик и изменении частоты вращения двигателя от половинной до номинальной подача насоса изменяется от нуля до номинальной.

Частоту вращения асинхронного двигателя можно регулировать изменением подводимого к двигателю напряжения, переключением числа пар полюсов, изменением сопротивления в роторной цепи, частоты тока питающей сети. Частоту вращения насоса можно регулировать также при помощи электромагнитной муфты и клиноременной передачи с вариатором. О некоторых из этих способов регулирования частоты вращения асинхронных двигателей более подробно рассказано в параграфе 3.3.

## 2.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Гидравлическая схема автоматизированной насосной станции с воздушно-водяным котлом показана на рисунке 2.4, а с водонапорным баком — на рисунке 2.5. Для управления автоматизированной насосной станцией с воздушно-водяным котлом применяются электрорезистивные датчики давления с механическими первичными преобразователями: мембранные, сильфонные, с манометрической трубчатой пружиной — электрорезистивные манометры. Автоматические водоподъемные установки с напорным котлом серии ВУ обладают подачей 1,6 . . . 36 м<sup>3</sup>/ч и могут подавать воду из различных источников с полным напором (20 . . . 230) 10<sup>4</sup> Па. Эти установки комплектуют вихревыми или погружными насосами. Обозначение погружных насосов типа ЭЦВ расшифровывается так: Э — с приводом от погружного электродвигателя, Ц — центробежный, В — для воды. Цифры после букв обозначают: первая — диаметр скважины в дюймах, вторая — часовую подачу, третья — полный напор, м вод. ст.

Автоматическая водоподъемная установка типа ВУ-7-65 служит для забора воды из буровых скважин с трубами диаметром 150 мм с рабочим уровнем до 45 м и подачи ее на животноводческие фермы, небольшие производственные и другие отдельно расположенные объекты в хозяйствах с бесперебойным электроснабжением. Ее подача 7 . . . 6,3 м<sup>3</sup>/ч, полный напор (65 . . . 85) · 10<sup>4</sup> Па. Установка ВУ-7-65 (рис. 2.6) состоит из

воздушно-водяного котла 5 вместимостью 800 л, погружного центробежного насоса 1 марки ЭЦНВ 6-7, 2-75 в сборе с электродвигателем типа ПЭДВ 2,8-140 (П — погружной, ЭД — электродвигатель, В — водозаполненный, мощностью 2,8 кВт, максимальный поперечный размер 140 мм), регулирующего клапана в сборе с пружинным клапаном 4, обратного вертикального клапана в сборе с воздушным дисковым клапаном 2, предохранительного клапана 7, реле давления 6, электрической станции управления 9 и комплекта водопроводной сети 3, 8.

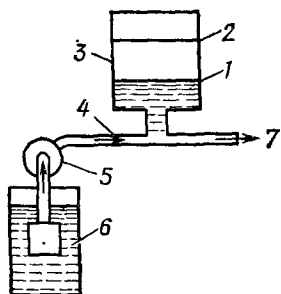


Рис. 2.5. Гидравлическая схема насосной станции с водонапорным баком:

1 — нижний уровень воды в баке; 2 — верхний уровень воды в баке; 3 — водонапорный бак; 4, 7 — водопровод; 5 — насос; 6 — источник воды.



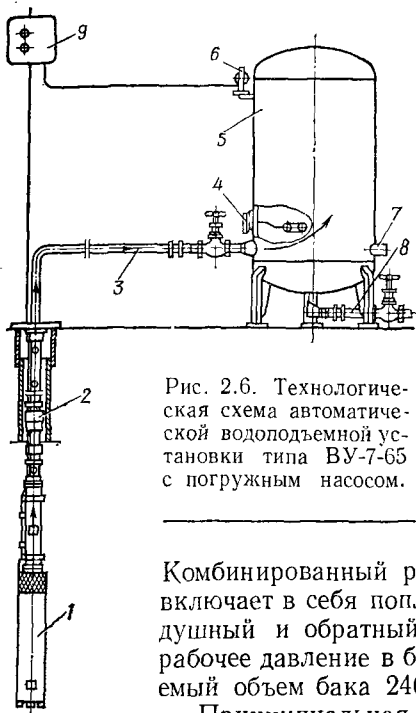


Рис. 2.6. Технологическая схема автоматической водоподъемной установки типа ВУ-7-65 с погружным насосом.

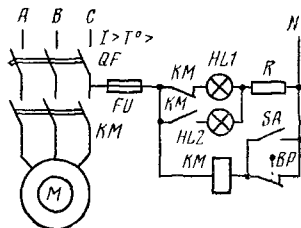


Рис. 2.7. Электрическая схема автоматических насосных станций типов ВУ-7-65, ВУ-5-30 с воздушно-водяным котлом.

Комбинированный регулятор запаса воздуха включает в себя поплавковый регулятор, воздушный и обратный клапаны. Максимальное рабочее давление в баке  $15 \cdot 10^4$  Па. Регулируемый объем бака 246. . .185 л.

Принципиальная электрическая схема автоматизированных насосных станций типов ВУ-7-65 и ВУ-5-30 с воздушно-водяным котлом приведена на рисунке 2.7. Эта станция управления, предназначенная для работы в безбашенных установках по сигналу реле давления, может быть использована и в установках башенного типа в совокупности с реле уровня. В последнем случае необходимо, чтобы при медленном изменении уровня воды в баке датчик уровня быстро размыкал и замыкал свои контакты.

Перед включением автоматической насосной станции необходимо осмотреть ее и убедиться в исправности всех узлов. Для пуска включают автоматический трехполюсный выключатель  $QF$  типа АП50-ЗМТ, в который встроены тепловая защита от перегрузок и от работы на двух фазах и электромагнитная от коротких замыканий. При отсутствии воды в котле контакты реле давления  $BP$  закрыты, катушка магнитного пускателя  $KM$  введена в цепь тока, его контакты закрываются и подают напряжение на

двигатель. Происходит разгон агрегата, насос начинает подавать воду в сеть, а ее избыток — в напорный котел. Уровень воды и давление в котле повышаются. При достижении уровнем отметки ВУ (см. рис. 2.4) давление повышается до максимального заданного  $P_2$ , контакты ВР (рис. 2.7) размыкаются, пускатель отключается, двигатель останавливается. Вода из котла под действием энергии сжатого воздуха подается к потребителю. Запас воды и давление воздуха в котле уменьшаются, и при минимальном заданном давлении  $P_1$  контакты ВР замыкаются, катушка магнитного пускателя оказывается включенной, и цикл работы повторяется.

Во время работы объем воздушной подушки в котле за счет выноса части воздуха водой постепенно уменьшается. Это приводит к снижению объема регулирования и более частым включениям агрегата. Для автоматического поддержания объема воздушной подушки постоянным установка ВУ-5-30 снабжена струйным регулятором запаса воздуха, установка ВУ-7-65 — комбинированным, а в установке ВУ-10-80 между водой и воздушной подушкой имеется разделяющая диафрагма, которая препятствует уменьшению воздушной подушки.

В установке ВУ-5-30 вода от насоса, проходя сопло струйного регулятора с большой скоростью, создает разрежение в камере смещения вокруг конца сопла, воздух под атмосферным давлением открывает воздушный клапан и, смешиваясь с потоком воды, направляется в бак. Пополнение воздуха происходит при условии, если жиклер 5 (рис. 2.4) трубки струйного регулятора перекрыт водой. При пуске или достаточном наполнении бака воздухом жиклер находится в воздухе, который под давлением поступает в камеру смещения, погашая там разрежение. Воздушный клапан закрывается, и подсос воздуха из атмосферы прекращается. При уменьшении воздушной подушки в баке жиклер вновь закрывается водой, в результате чего возобновляется подкачка воздуха из атмосферы через воздушный клапан. Струйный регулятор обеспечивает подкачку воздуха до избыточного давления в баке  $25 \cdot 10^4$  Па.

Комбинированный регулятор установки ВУ-7-65 (рис. 2.6) состоит из обратного и воздушного клапанов, установленных в одном корпусе на напорном трубопроводе в скважине на высоте не менее 5 м над уровнем воды, и регулирующего клапана, в конструкцию которого входят поплавковый и пружинный клапаны, расположенные на

стенке котла. После отключения насоса обратный клапан удерживает воду, находящуюся над ним, а вода из-под клапана уходит в скважину. Ее место занимает воздух, проходящий через воздушный клапан. При каждом пуске насоса воздушный клапан закрывается, а обратный открывается и воздух по напорной трубе поднимается в котел и восполняет потери воздуха, уносимого с водой. Избыточный воздух вытесняет воду, понижая ее уровень в котле, вследствие чего поплавков регулятора опускается. Поплавковый и пружинный клапаны открываются, избыточный воздух вытесняется в атмосферу. Пружинный клапан регулятора можно отрегулировать на избыточное давление  $(5 \dots 25) \cdot 10^4$  Па.

Для управления автоматизированными насосными станциями башенного типа применяются поплавковые и электродные датчики уровня. Электродные датчики работают надежно при положительных температурах и отказывают в работе на морозе, так как электроды покрываются льдом и, кроме того, быстро окисляются. Поплавковые датчики снижают надежность в работе из-за наличия подвижных механических частей. Для электрической связи датчика, расположенного на баке, и станции управления

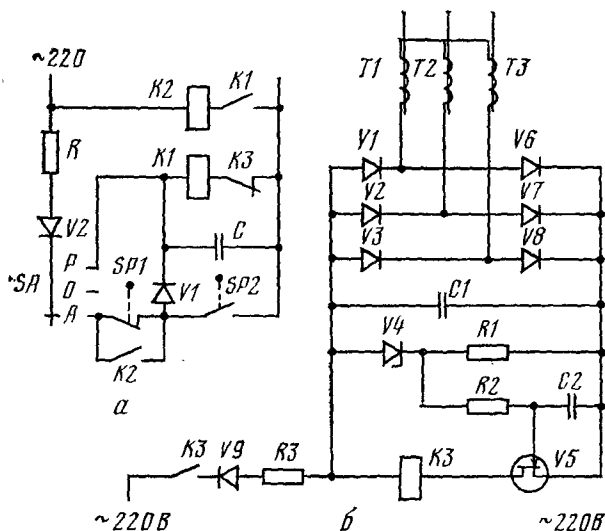


Рис. 2.8. Электрическая схема управления погружным электронасосом: а — управление двигателем электроконтактным манометром; б — токовая защита электродвигателя.

нужны соединительные провода; поэтому на новых станциях управления погружными насосами для контроля за уровнем воды в водонапорных башнях предусматривают электроконтактные манометры, устанавливаемые в помещении насосной. Электроконтактный манометр регистрирует перепад статического давления в системе при изменении уровня воды в баке на 1. . . 2 м.

Управление работой автоматизированной насосной установки с башней может осуществляться автоматически от датчика давления  $SP$  (рис. 2.8, а, схема разработана в БИМСХ) и вручную переключателем  $SA$  или дистанционно (телемеханически) с диспетчерского пункта. Для автоматического управления переключатель  $SA$  ставят в положение  $A$ . Если давление в напорном трубопроводе ниже соответствующего нижнему уровню воды в баке, контакт манометра  $SP1$  замкнут, а  $SP2$  — разомкнут. Реле  $K1$  включается с задержкой за счет конденсатора  $C$ . Эта же емкость предотвращает ложное отключение реле  $K1$  при кратковременном замыкании контакта  $SP2$  во время гидравлического удара в гидропроводе, если манометр подключен без гидрокомпенсатора. Реле  $K1$  подключает магнитный пускатель  $K2$ , и насос начинает работать.

При повышении давления в трубопроводе до значения, соответствующего верхнему уровню в баке, при работе насоса замыкается контакт  $SP2$  и шунтирует реле  $K1$ , которое отключает пускатель  $K2$ . При местном управлении установкой переключатель  $SA$  ставят в положение  $P$  или  $O$ . При дистанционном управлении используют выносную кнопочную станцию или контакты реле телемеханической связи подключают вместо контактов  $SP1$  и  $SP2$ .

Для защиты от перегрузок и неполнофазных режимов электродвигателей погружных насосов применяют быстродействующую защиту с характеристиками, не зависящими от температуры окружающей среды. При перегрузке сигнал поступает на вход  $RC$  — контура от согласующих трансформаторов  $T1. . . T3$  (рис. 2.8, б). Стабилитрон  $V4$  позволяет получить обратно пропорциональную зависимость выдержки времени от тока перегрузки. Ток перегрузки, преобразованный в напряжение постоянного тока, изменяет выдержку на срабатывание реле  $K3$ , включенного в цепь истока полевого транзистора  $V5$ . Возбудившись, реле  $K3$  посредством своего замыкающего контакта встает на самопитание, а размыкающим контактом  $K3$  отключает реле  $K1$ .

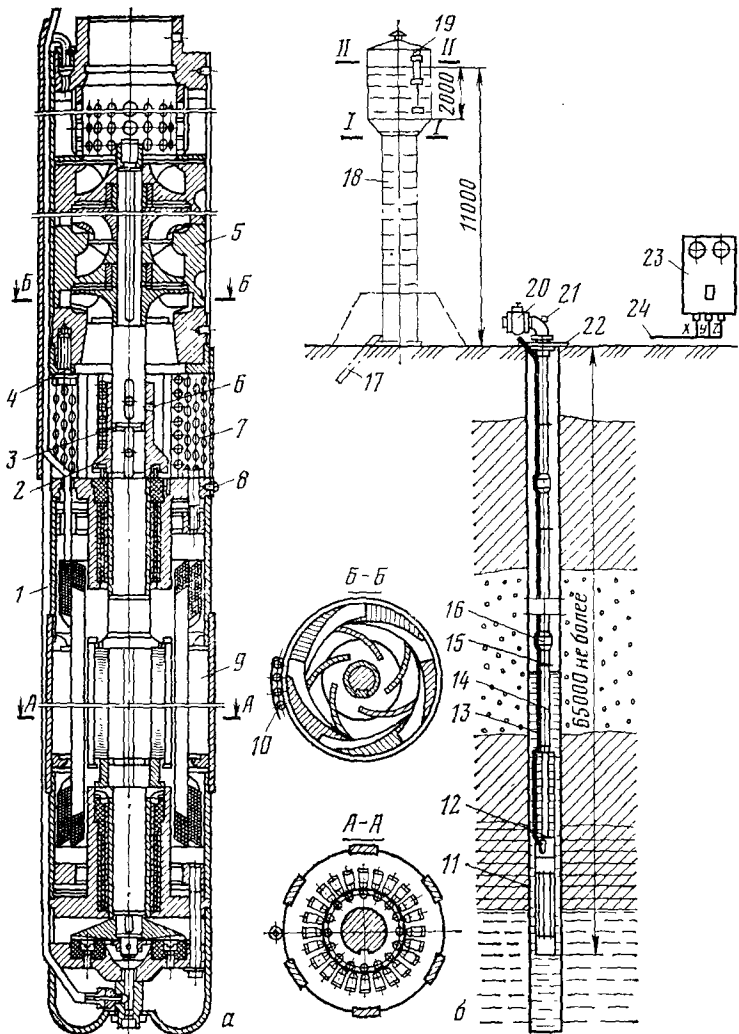


Рис. 2.9. Погружной электронасос типа ЭПЛМ-16-75:

*а* — разрез; *б* — схема установки; 1 — трубопровод к электродвигателю; 2 — соединительная муфта; 3 — регулировочная прокладка; 4 — болт с пружинной шайбой; 5 — центробежный насос; 6 — установочный винт; 7 — защитная сетка; 8 — винт; 9 — статор электродвигателя; 10 — защитный кожух; 11 — колонна обсадных труб; 12 — скоба; 13 — силовой кабель; 14 — колонна водоподъемных труб; 15 — скоба; 16 — соединительная муфта; 17 — отводная труба; 18 — водонапорная башня Рожновского; 19 — датчик уровней; 20 — задвижка; 21 — манометр; 22 — опорная плита; 23 — станция управления; 24 — выходные концы (x — силовой кабель, y — к источнику питания, z — к датчику); I—I — нижний уровень; II—II — верхний уровень.

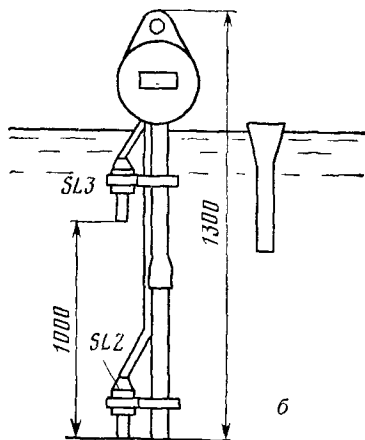
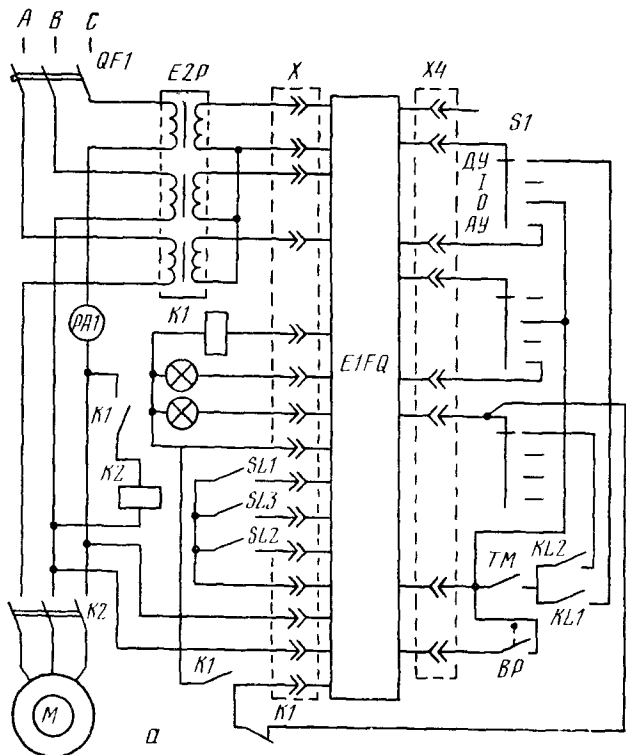


Рис. 2.10. Принципиальная электрическая схема комплектного устройства «Каскад»: а — схема; б — датчик сухого хода.

На рисунке 2.9 показана конструкция погружного электронасоса ЭПЛ6М-16-75, предназначенного для подъема воды из буровых скважин. Центробежный насос выполнен в виде вертикального секционированного агрегата, скрепленного стяжками. Каждая секция состоит из рабочего колеса и пластмассового направляющего аппарата. Всасывающий патрубок насоса соединен с корпусом верхнего подшипника электродвигателя. К патрубку в верхней части насоса прикреплен напорный трубопровод.

В установку ЭПЛ6М-16-75 входит асинхронный трехфазный электродвигатель АПД-23/2 принудительного охлаждения с короткозамкнутым вертикальным ротором. Обмотка статора выполнена проводом в полихлорвиниловой влагостойкой изоляции. Ротор электродвигателя и вал насоса соединены стальной муфтой, которая одновременно защищает электродвигатель от проникновения мелких частиц (песка и др.) вдоль вала. Мощность двигателя 5,5 кВт при частоте вращения 2835 об/мин, номинальный ток 14,5 А, КПД 75%. Насос подает 14. . .18 м<sup>3</sup>/ч при напоре (80. . .60) 10<sup>4</sup> Па. КПД насоса 67,5%.

Насос в скважине подвешивают на водоподъемной колонне 14 из водогазопроводных труб диаметром 63 мм с муфтовым соединением. Скважину обсаживают колонной труб 11 диаметром не менее 150 мм и перекрывают наверху опорной плитой 22. На плите закрепляют колонну труб и колено с бобышкой для манометра 21 и задвижкой 20, которой регулируют подачу насоса. Вдоль труб на скобах 15 к двигателю прокладывают силовую кабель 13 марки ПВВП-6 или ППВП-6.

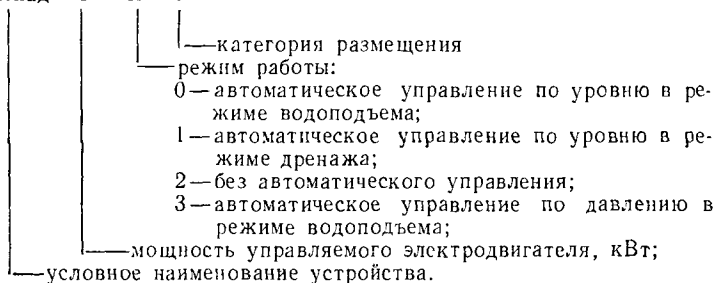
Станции управления погружными электронасосами мощностью более 12 кВт комплектуют датчиком сухого хода для защиты насосных агрегатов от работы на сухом ходу, то есть при отсутствии достаточного уровня воды в скважине. Он состоит из двух концентрически расположенных электродов: внешнего трубчатого и внутреннего стержневой, разделенных изолятором. Датчик монтируют в скважине над электронасосом. Трубчатый электрод соединяют с нулевым проводом. Стержневой электрод включают в цепь катушки контрольного реле.

При аварийном понижении уровня воды в скважине контрольное реле включает сигнал и отключает магнитный пускатель электродвигателя.

Для управления центробежными скважинными насосами водоподъема с погружными электродвигателями мощно-

стью 1. .65 кВт выпускается комплектное устройство «Каскад» (рис. 2.10), которое имеет следующую структуру условного обозначения:

Каскад ХХ — Х — У2



Устройство состоит из ящика управления, датчика сухого хода *SL1* электродного типа и электроконтактного манометра. Внутри ящика управления смонтирована пускозащитная аппаратура (силовая и логическая части схемы в виде блока управления *FIFQ* типа БОН 9200).

Контакт типа «датчик сухого хода» (рис. 2.10, б) выполнен в виде металлического стержня, в котором место подсоединения провода опрессовано полиэтиленом. Датчик уровней состоит из двух датчиков сухого хода. Дистанционное управление обеспечивается при помощи реле включения *KL2* и реле отключения *KL1*.

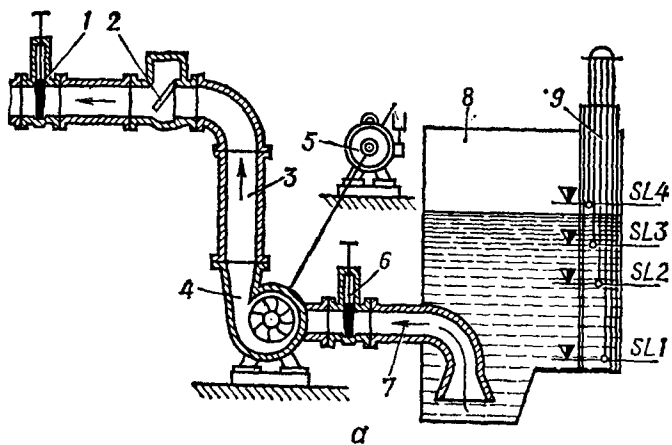
Для автоматического управления по уровню в водонапорной башне переключатель на блоке управления устанавливают в положение «Водоподъем», переключатель *S1* — в положение «Автоматическое управление» *AУ*, автоматический выключатель *QF1* — в положение «Включено».

При отсутствии воды в баке водонапорной башни (контакты *SL3* и *SL2* датчика уровней не омываются водой) включается электронасос. При достижении уровнем воды контакта *SL3* электронасос отключается и включается повторно при опускании уровня ниже контактов *SL2*.

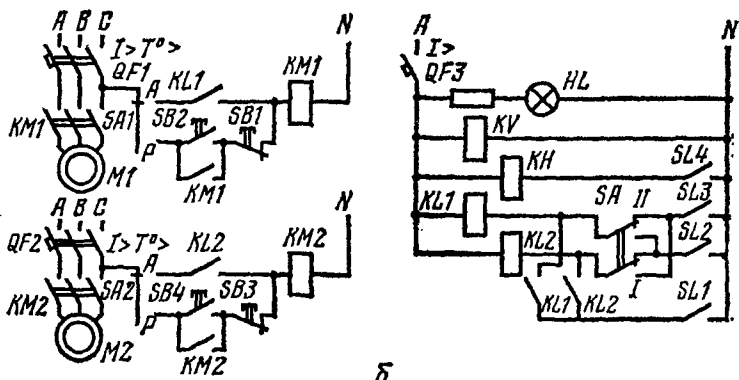
Для автоматического управления в режиме дренажа переключатель блока управления ставят в положение «дренаж», переключатель *S1* — в положение *AУ*, включают выключатель *QF1*. Электронасос включается, если уровень дренажных вод в скважине поднимается до контакта *SL3*, и отключается при понижении уровня дренажных вод ниже контакта *SL2*.

Для автоматического управления по давлению необ-





а



б

Рис. 2.11. Двухагрегатная насосная станция для откачки дренажных вод:  
 а — технологическая схема; б — схема управления; 1, 6 — задвижки; 2 — обратный клапан; 3 — напорный трубопровод; 4 — насос; 5 — электродвигатель; 7 — всасывающий трубопровод; 8 — резервуар; 9 — датчик уровней.

ходимо в ячейке «ЯУД» блока управления на разъеме «время работы насоса» установить переключку в положение, соответствующее времени работы насоса, необходимому для заполнения водонапорного бака водой (до 90 мин). Переключатель *SI* следует установить в положение *AУ*, включить *QF1* и установить подвижный контакт электроконтактного манометра таким образом, чтобы при разборе воды в баке водонапорной башни ниже контролируемого уровня происходило надежное автоматическое включение

электронасоса. По истечении времени уставки электронасос отключается, водонапорный бак при этом должен быть заполнен водой. При понижении статического давления в нагнетательном трубопроводе ниже контролируемого электронасос автоматически включается.

Для дистанционного управления к ящику управления подключают средства телемеханики. Местное управление электронасосом осуществляется переключателем  $SI$  на ящике управления: в положении  $I$  — агрегат включен, в положении  $O$  — отключен.

При аварийных режимах (коротких замыканиях, перегрузках, неполнофазных режимах, сухом ходе —  $P_{уст} = 4,5$  кВт и более) электронасос отключается. Последующее его включение после срабатывания защиты возможно только после устранения неисправности.

Автоматические насосные станции с двумя насосными агрегатами (рис. 2.11, а) обычно используют на откачке дренажных или хозяйственно-фекальных вод.

Задвижки с ручным приводом на трубопроводах закрывают во время ремонта, а в рабочем режиме они открыты. Обратный ток жидкости через неработающий насос предотвращают специальные клапаны. Электродный датчик уровней представляет собой отрезок металлической трубы с расположенными внутри нее электродами  $SL1$  . .  $SL4$ , установленными на четырех разных уровнях. Общим электродом служит труба, которую заземляют. Один из двух агрегатов рабочий, другой — резервный. Режим их работы устанавливают переключателем очередности  $SA$  (рис. 2.11, б). Когда переключатель в положении  $I$ , работает первый насосный агрегат, а второй находится в резерве (в положении  $II$  — наоборот). Автоматический режим работы задают переключателями управления  $SA1$ ,  $SA2$ , ставят их в положение  $A$ . Автоматическими выключателями  $QF1$  . .  $QF3$  подают напряжение на схему.

Повышение уровня воды в резервуаре до отметки электрода  $SL2$  вызывает срабатывание первого реле управления  $KL1$ , включающего первый агрегат в работу (переключатель  $SA$  в положении  $I$ ). Блок-контакты  $KL1$  шунтируют цепь электрода  $SL2$  через электрод  $SL1$ . Если подача насоса больше подтока воды, то уровень ее в резервуаре понижается до отметки  $SL1$ . В этом случае реле  $KL1$  окажется вне цепи тока и остановит первый агрегат. Если же подача насоса меньше подтока воды, то уровень ее в резервуаре повышается до отметки  $SL3$ . При образова-

нии цепи тока через электрод *SL3* реле *KL2* сработает и включит второй агрегат. Блок-контакты *KL2* через электрод *SL1* шунтируют цепь через электрод *SL3*.

Когда подача двух насосов больше подтока воды, уровень ее понижается до отметки *SL1*. Реле *KL1*, *KL2* будут выведены из цепи тока и отключат оба агрегата. Если по какой-либо причине подача двух агрегатов меньше подтока воды, то уровень ее увеличивается до отметки *SL4*. Катушка аварийного реле *KH* оказывается под напряжением и замыкает свои контакты в цепи аварийно-предупредительной сигнализации, подавая звуковой и световой сигналы диспетчеру.

Второй предупредительный сигнал подается при отсутствии напряжения на схеме автоматического управления реле *KV* контроля напряжения, которое при перерыве питания замыкает цепи аварийной сигнализации. Цепи аварийной сигнализации получают питание от отдельного источника с непрерывным контролем за исправным состоянием линий связи.

Главные цепи защищают автоматические выключатели *QF2*, *QF3* с комбинированными расцепителями, а цепи управления — автоматический выключатель *QF1* с электромагнитным расцепителем. Катушки магнитных пускателей электродвигателей мощностью до 10 кВт подключают после выключателей *QF2*, *QF3*, а при мощности больше 10 кВт для цепей катушек магнитных пускателей предусматривается отдельная защита. Наличие напряжения в схеме устанавливают по белой сигнальной лампе *HL*. Для ручного управления насосами (переключатели *SA1*, *SA2* установлены в положение *P*) служат кнопки пуска *S2*, *S4* и останова *S1*, *S3*.

## **2.5. ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВОК ДЛЯ ОРОШЕНИЯ**

Подачу электронасосной установки определяют по оросительной и поливной нормам. Оросительная норма — это количество воды ( $\text{м}^3/\text{га}$ ), вносимое в почву поливами за оросительный вегетационный период. Так как оросительная норма намного превышает полную предельную влагоемкость активного слоя почвы, то подать ее в один прием нельзя. Поэтому ее разбивают на несколько поливных норм, которые вносят в определенные сроки. Значения поливных норм с указанием календарных дней

их подачи составляют схему орошения, определяющую график орошения, в котором срок и длительность полива увязывают с периодами развития растений.

Норму подачи воды [л/(с·га)] называют гидромодулем и вычисляют по формуле

$$q = \frac{\alpha N_{\text{п}} 1000}{t \tau 3600}, \quad (2.28)$$

где  $\alpha = \frac{F_i}{\sum F_i}$  — доля культуры в севообороте;  $F_i$  — площадь, занятая одной культурой;  $N_{\text{п}}$  — поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $t$  — поливной период, сут;  $\tau$  — продолжительность полива в одни сутки, ч/сут.

По результатам подсчетов составляют график водоподачи  $q(t)$ , на который наносят значения водоподач каждого полива, и, если сроки поливов культур совпадают, эти значения суммируют. Для уменьшения пиков нагрузки график делают более равномерным за счет изменения сроков полива в пределах нескольких дней. За расчетное значение нормы водоподачи принимают максимальное ее значение по укомплектованному графику.

Общее количество воды, подаваемой на всю посевную площадь, определяют с учетом потерь:

$$Q_{\text{расч}} = \frac{q_{\text{max}} F}{\eta_{\text{с}}}, \quad (2.29)$$

где  $Q_{\text{расч}}$  — общая водоподача на всю площадь севооборота, л/с;  $q_{\text{max}}$  — максимальная норма водоподачи по графику, л/(с·га);  $F$  — орошаемая площадь севооборота, га;  $\eta_{\text{с}} = 0,74$  — КПД оросительной системы, учитывающий потери в открытых каналах на испарение и фильтрацию.

Расчетный напор насосной установки вычисляют по формуле (2.3), учитывая при этом конкретную схему трассировки водоподачи. Мощность приводного двигателя определяют по формуле (2.4). В связи с тем что при эксплуатации вероятны перегрузки двигателя, возникающие из-за некоторых допущений на стадии проектирования (неточность характеристики насоса и учета гидравлических сопротивлений, возникновение дополнительных потерь при засорении, возможность обрыва напорного трубопровода, когда мощность, потребная для привода насоса, повышается), в формулу (2.4) вводят коэффициент запаса, значения которого в зависимости от мощности двигателя приведены ниже:

|                         |       |         |           |           |            |      |
|-------------------------|-------|---------|-----------|-----------|------------|------|
| Мощность двигателя, кВт | 1...2 | 2...10  | 10...50   | 50...100  | 100...200  | 200  |
| Коэффициент запаса, $K$ | 2     | 2...1,3 | 1,3...1,2 | 1,2...1,1 | 1,1...1,05 | 1,05 |

Основные параметры насоса  $Q_n$ ,  $H_n$ ,  $\eta_n$ ,  $n_n$  выбирают по каталогам с учетом расчетных значений расхода и напора, отдавая предпочтение более быстроходным, позволяющим непосредственно соединять его с двигателем при синхронной частоте вращения 3000, 1500 об/мин.

Если насосная установка за счет колебания уровней воды в источнике и напорном бассейне работает при различных напорах, то выбирать мощность двигателя необходимо с учетом характеристики насоса (рис. 2.12) так, чтобы он работал в зоне максимальных значений КПД (0,9...1)  $\eta_{max}$ , что соответствует рабочей области  $Q_1...Q_2$ .

При этом наибольшая мощность потребуется для центробежного насоса при минимальном напоре  $H_{min}$  и максимальной подаче  $Q_2$ , а для пропеллерного насоса при максимальном напоре  $H_{max}$  и минимальной подаче  $Q_1$ .

При пуске электронасосного агрегата с центробежным насосом наименьшая мощность в начальный период работы получается при закрытой задвижке на напорном патрубке, то есть при нулевых расходах. Момент трогания центробежного насоса составляет 5...30%, а момент сопротивления при номинальной скорости и закрытой задвижке — 40...70% номинального момента.

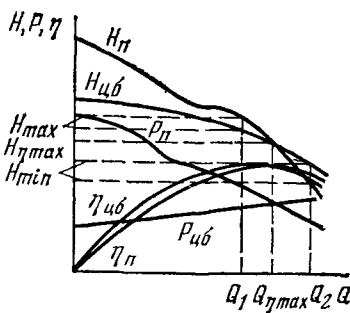


Рис. 2.12. Зависимости напора, мощности и КПД центробежного ( $H_{цб}$ ,  $P_{цб}$ ,  $\eta_{цб}$ ) и пропеллерного ( $H_p$ ,  $P_p$ ,  $\eta_p$ ) насосов от подачи при постоянной частоте вращения и работе с открытой задвижкой.

### 2.1. Зависимость момента холостого хода от быстроходности насоса

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

ми

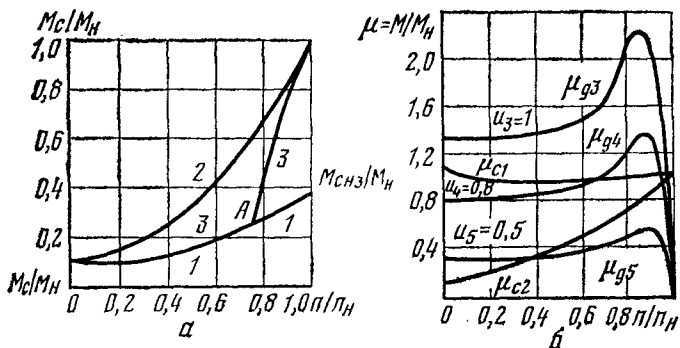


Рис. 2.13. Механические характеристики:

*a* — центробежного насоса; *б* — электронасосного агрегата при различных напряжениях; 1 — при закрытой задвижке на напорном трубопроводе; 2 — при открытой задвижке на напорном трубопроводе и постоянно открытом обратном клапане или при его отсутствии; 3 — при открытой задвижке на напорном трубопроводе и обратном клапане, открывающемся в точке *A*;  $\mu_{с1}$  — характеристика поршневого насоса;  $\mu_{с2}$  — характеристика центробежного насоса;  $\mu_{д3}$ ,  $\mu_{д4}$ ,  $\mu_{д5}$  — характеристики асинхронного двигателя при разных напряжениях ( $U_3=100\%$ ;  $U_4=80\%$ ;  $U_5=50\%$ ).

Механическая характеристика центробежного насоса зависит от степени открытия задвижки на напорном трубопроводе и конструкции обратного клапана (рис. 2.13, *a*). Момент сопротивления центробежного насоса резко увеличивается до номинального после открытия обратного клапана (кривая 3).

Возможность пуска электронасосного агрегата определяется сочетанием его механических характеристик. Механическая характеристика (рис. 2.13, *б*) асинхронного двигателя при номинальном напряжении  $\mu_{д3}$  позволяет выполнить пуск агрегата как с центробежными  $\mu_{с2}$ , так и с поршневыми  $\mu_{с1}$  насосами. Снижение напряжения во время пуска на 20%  $\mu_{д4}$  делает невозможным пуск агрегата с поршневым насосом, в то время как с центробежным насосом пуск еще осуществим. Когда напряжение уменьшится на 50%, невозможен пуск обоих агрегатов. Так как поршневые насосы характеризуются повышенным моментом трогания (0,8...1,1)  $M_n$ , то для уверенного их пуска, особенно при понижении напряжения, рекомендуются к установке асинхронные электродвигатели с повышенным пусковым моментом. Возможность пуска при пониженном напряжении проверяется в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 1.3.

При пуске осевого насоса наименьшая мощность соот-

ветствует работе без задвижки или с открытой задвижкой. Осевой (пропеллерный) насос без поворотных лопастей может иметь момент сопротивления при номинальной скорости и закрытой задвижке, больший номинального. Поэтому пропеллерный насос целесообразно устанавливать с отрицательной высотой всасывания (под заливом) и без задвижки на напорном патрубке. Установка пропеллерного насоса с положительной высотой всасывания (над горизонтом воды нижнего бьефа) и пуск при закрытой задвижке с предварительной заливкой водой требуют увеличения мощности электродвигателя на 30. . .40%.

Выбор исполнения электродвигателя для оросительных насосных станций зависит от условий окружающей среды. В сухих отапливаемых помещениях устанавливают защищенные электродвигатели с нормальной изоляцией, в неотапливаемых помещениях — защищенные с противосыроостной изоляцией, в особо сырых (например, в колодцах) — закрытые электродвигатели.

Для привода насосных станций применяют асинхронные и синхронные двигатели. Синхронные двигатели имеют некоторые преимущества перед асинхронными (постоянство угловой скорости, улучшение энергетических показателей питающей сети). Однако при автоматизации пуска короткозамкнутому асинхронному двигателю присущи определенные достоинства по сравнению с синхронным.

При проектировании насосных станций мощностью до 300 кВт устанавливают асинхронные короткозамкнутые электродвигатели (напряжения 380 В при мощностях до 100 кВт и 6300 В при больших мощностях). Если мощности превышают 300 кВт, устанавливают синхронные двигатели высокого напряжения (6300 и 10 000 В).

## **2.6. ПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИВОДА ОРОСИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Асинхронные и синхронные двигатели пускают в ход по трем основным схемам. Прямой пуск электродвигателей от сети через линейный выключатель наиболее прост, но возможен только при достаточной мощности источника питания и значительной площади поперечного сечения питающих проводов, что приводит к резким колебаниям напряжения в сети и вредно отражается на работе других потребителей.

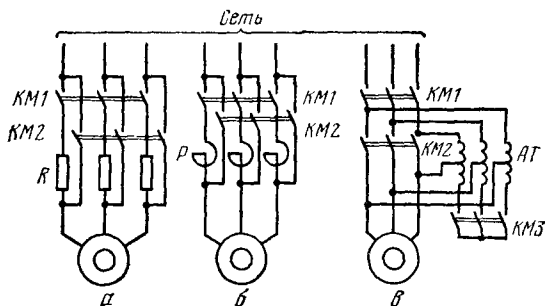


Рис. 2.14. Схемы пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

*а* — через сопротивления; *б* — через реакторы; *в* — через автотрансформаторы.

Пуск электродвигателей через реакторы и сопротивления сопровождается снижением пусковых токов до допустимых значений. Реактор представляет собой катушку индуктивности, провод которой навит на каркас из изолирующего материала. В подобных схемах (рис. 2.14, *а* и *б*) устанавливают два выключателя — линейный *КМ1* и ускорения *КМ2*. Первым электродвигатель подключают к сети через сопротивление или реактор, а вторым при достижении двигателем номинальной частоты вращения шунтируют сопротивления или реакторы, то есть переводят двигатель в нормальный рабочий режим. Останавливают двигатель контактором *КМ1*. Ускоряющий выключатель не рассчитывают на разрывную мощность, поэтому его размеры меньше линейного. Реакторный пуск довольно широко распространен на крупных насосных станциях для водоснабжения.

Расчет пускового реактора или активного сопротивления выполняют так, чтобы пусковой ток на искусственной характеристике составлял часть *a* пускового тока на естественной характеристике:

$$I'_n = a I_n \quad (2.30)$$

или сниженный пусковой момент составлял часть  $\mu$  пускового момента на естественной характеристике:

$$M'_n = \mu M_n \quad (2.31)$$

Так как момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, то

$$\mu = a^2 \quad (2.32)$$



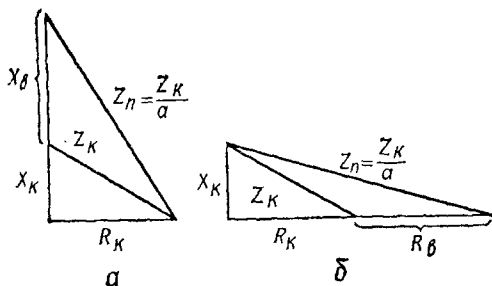


Рис. 2.15. Графический способ расчета внешних пусковых сопротивлений:

а — реактивного; б — активного.

Для получения наперед заданного значения сниженного пускового тока нужно знать полное пусковое сопротивление линии двигателя:

$$Z_n = \frac{Z_k}{a}. \quad (2.33)$$

С учетом графических построений (рис. 2.15) необходимое внешнее реактивное сопротивление реактора

$$X_B = \sqrt{\frac{Z_k^2}{a^2} - R_k^2} - X_k \quad (2.34)$$

или внешнее активное сопротивление

$$R_B = \sqrt{\frac{Z_k^2}{a^2} - X_k^2} - R_k. \quad (2.35)$$

Для получения наперед заданного значения сниженного пускового момента достаточно в формулах (2.34) и (2.35)  $a^2$  заменить на  $\mu$ .

Полное сопротивление короткого замыкания фазы двигателя, соединенного в звезду,

$$Z_k = \frac{U_{н.ф.}}{k_l I_n}. \quad (2.36)$$

Активное сопротивление короткого замыкания

$$R_k = Z_k \cos \varphi_k. \quad (2.37)$$

Реактивное сопротивление короткого замыкания

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}. \quad (2.38)$$

Коэффициент мощности короткого замыкания двигателя находят по формуле

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{2} \cos \varphi_n \left[ \frac{\mu_n}{(1 - S_n) k_i} + \gamma k_i (1 - \eta_n) + \frac{\eta_n (\mu_n + 0,025 k_i^2)}{(1 - S_n) k_i} \right], \quad (2.39)$$

где  $k_i$  — кратность нормального пускового тока;  $\gamma$  — отношение переменных потерь в двигателе к полным;  $\mu_n$  — кратность нормального пускового момента.

Пуск двигателя через автотрансформатор (рис. 2.14, в) применяют при больших кратностях пускового тока. Вначале включается нулевой выключатель  $KМЗ$ , соединяя обмотки автотрансформатора в нулевую точку. Затем линейный выключатель  $KМ1$  пускает двигатель при пониженном напряжении. С выдержкой времени размыкаются контакты  $KМЗ$  и включается контактор ускорения  $KМ2$ , в результате двигатель переводится в нормальный рабочий режим при полном напряжении сети.

Коэффициент трансформации  $k$  автотрансформатора определяют, исходя из поставленных условий. Если требуется ограничить естественный пусковой ток двигателя  $I_n$  до искусственного пускового тока  $I'_n$ , то

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I'_n}{I_n}. \quad (2.40)$$

Когда нужно снизить ток  $I_c$  сети, то с учетом ступени уменьшения тока в автотрансформаторе

$$\frac{I_c}{I_n} = \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = k^2 \quad (2.41)$$

или

$$k = \sqrt{\frac{I_c}{I_n}}. \quad (2.42)$$

Если требуется ограничить естественный пусковой момент двигателя  $M_n$  до пускового момента  $M'_n$ , то, имея в виду, что момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, получим

$$k = \sqrt{\frac{M'_n}{M_n}}. \quad (2.43)$$

При автотрансформаторном пуске, если искусственный пусковой ток двигателя равен 0,5 естественного, ток

из сети составляет 0,25 этого тока. При реакторном пуске ток сети равен току двигателя. Автотрансформаторный пуск дорог и применяется сравнительно редко (в тех случаях, когда требуются значительные пусковые моменты, а питающая сеть не допускает больших пусковых токов).

Иногда пуск через реактор может оказаться предпочтительным перед автотрансформаторным благодаря большому входному моменту при асинхронном пуске синхронного двигателя.

Схема электрических соединений насосной станции зависит от мощности источника и напряжения, под которым электрическая энергия подводится к насосной станции, выбранного напряжения электродвигателей главных и вспомогательных насосов и их мощности.

## 2.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

При разработке схем автоматизации управления насосными установками, кроме системы защиты электродвигателей, надо учитывать следующие процессы и факторы: пуск и остановку двигателей, заливку и пуск насосов, управление задвижками, сигнализацию и защиту оборудования при авариях, предохранение напорных трубопроводов от гидравлического удара, синхронизацию работы зональных насосных установок, контроль и измерение расхода, напора, изменение горизонтов воды, колебания потребляемой мощности.

Автоматическое управление оросительными насосными станциями требует дополнительного электрооборудования для предварительного залива насоса водой. В режиме ручного управления переключатель SA3 (рис. 2.16) ставят в положение *P* и управляют работой отдельных узлов при помощи кнопочных станций.

В режиме автоматического управления переключатели SA1 и SA3 ставят в положение *A*. При понижении уровня воды в напорном бассейне до минимального допустимого замыкаются контакты реле уровня SL1, в цепь тока вводится промежуточное реле KЛ1, которое включает электромагнитный клапан УА, установленный на заливной линии насоса. Через открытый клапан вода поступает во всасывающую линию и насос, вытесняя воздух из них сквозь реле залива SL2. В конце процесса заливки и заполнения насоса водой срабатывает реле залива, замыкая

контакты *SL2* в цепи реле *KL2*, а оно, в свою очередь, контакты в цепи катушки магнитного пускателя *KM1* и реле времени *KT*. Включаются двигатель *M1* привода центробежного насоса *H* и реле времени *KT*. При достижении двигателем номинальной частоты вращения в напорном патрубке создается давление, под действием которого срабатывает реле давления *BP*. Включается катушка магнитного пускателя *KM2*, пускается в ход двигатель *M2* привода задвижки на напорном трубопроводе. При полностью открытой задвижке двигатель *M2* останавливается конечным выключателем *SQ1*. Вода начинает поступать в напорный бассейн. Струйное реле *SV*, установленное на напорном трубопроводе, реагируя на движение воды, срабатывает и размыкает свои контакты в цепи катушки реле времени. Установка подает воду в бассейн до верхнего максимального уровня *BY* (рис. 2.16, б).

На уровне *BY* контакты *SL1* реле уровня размыкаются, оказываются вне цепи тока реле *KL1* и *KL2* и лишают питания катушку магнитного пускателя *KM1*. Главный двигатель останавливается. Давление в напорном трубопроводе уменьшается до статического. Контакты *BP* реле давления возвращаются в исходное положение. Включается магнитный пускатель *KM3*. Вспомогательный двигатель получает сигнал на закрытие задвижки. Когда задвижка полностью закрыта, контакты конечного выключателя *SQ2* размыкают цепь питания катушки *KM3*. Вспомогательный двигатель останавливается.

Если случится, что после пуска основного двигателя вода не будет поступать в напорный бассейн, контакты струйного реле останутся закрытыми. Сработает реле времени *KT*, включив аварийное реле *KH*, которое разомкнет цепь катушки промежуточного реле *KL1* и замкнет цепь аварийной сигнализации. Основной двигатель отключится. Реле *KH* получает питание через свои контакты до тех пор, пока после устранения неполадок не будет нажата кнопка деблокировки *SB6*. Вслед за включением главного электродвигателя электромагнитный клапан *УА* отключается контактами *KL2*. Положение задвижки контролируют по сигнальным лампам *HL1* и *HL2*.

В автоматически управляемой многоагрегатной насосной станции для подачи воды в оросительную систему вода к передвижным крыльям дождевальная установка поступает по закрытым трубопроводам. При пуске станции начинает работать вспомогательный насос, назначение

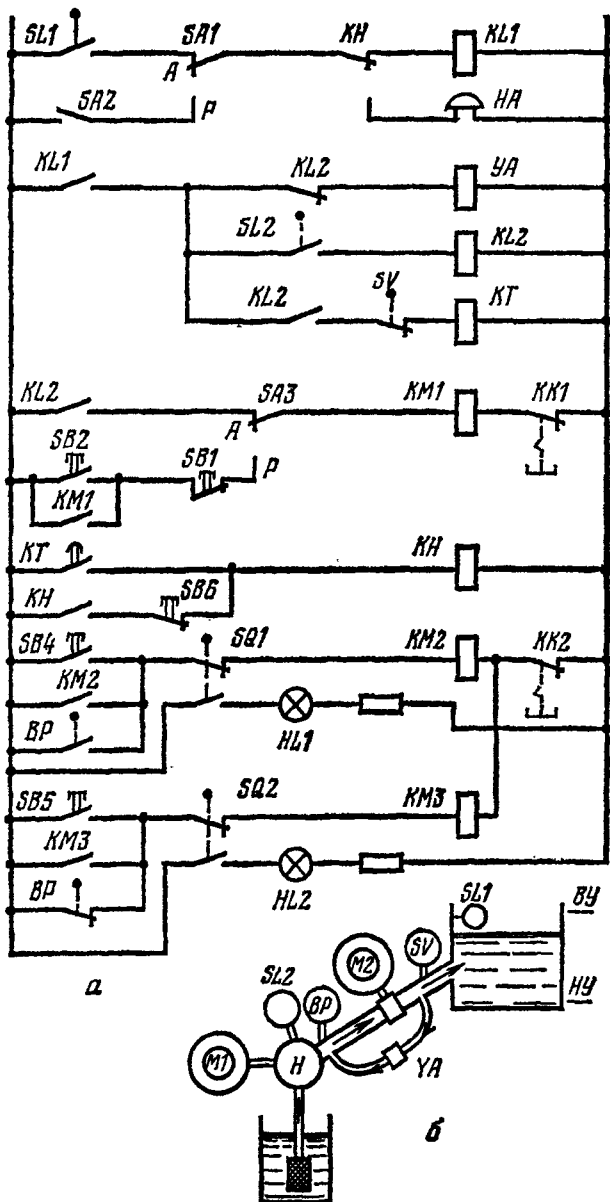


Рис. 2.16. Схема управления автоматической оросительной насосной станцией с предварительной заливкой насоса водой (а) и ее технологическая схема (б).

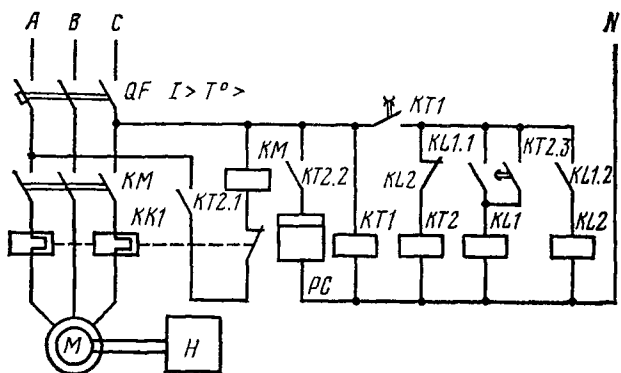


Рис. 2.17. Схема автоматического программного управления при мелкодисперсном дождевании.

которого компенсировать потери воды в неплотностях трубопроводов и поддерживать в них постоянное давление. Автоматическое управление вспомогательным насосом осуществляется по команде реле давления, установленного на воздушно-водяном котле.

В начале полива расход воды быстро возрастает и становится больше подачи вспомогательного насоса, давление в котле снижается и реле давления включает первый главный насос и выключает вспомогательный насос. Если подача первого насоса оказывается недостаточной, то расходомер вводит в работу второй насос. Аналогично включаются третий и четвертый насосы. Если потребление воды снизится, то расходомер отключит ненужный агрегат (при расходе, меньшем на 13...15% расхода включения). Зона нечувствительности расходомера уменьшает частоту включения насосов. Выключение последнего главного насоса происходит при снижении тока двигателя до заданного значения. В работе остается только вспомогательный насос.

Автоматическое управление увлажнением посевов сельскохозяйственных культур при мелкодисперсном дождевании с малыми нормами полива — 0,5...0,8 м<sup>3</sup>/га через каждые 1...1,5 ч может осуществляться от программного устройства Ставропольского НИИ гидротехники и мелиорации (рис. 2.17). При включении автоматического выключателя пускается программное реле времени *KT1* типа 2РВМ. По заданной суточной программе ( $\Delta t_1 = 1...24$  ч)

оно замыкает контакты  $KT1$  и включает оперативное реле времени  $KT2$  с выдержкой импульса на полив  $\Delta t_2 = 1 \dots 20$  с. При этом счетчик импульсов  $PC$  регистрирует число циклов  $z$  работы электронасосного оборудования, а следовательно, и количество подаваемой воды к дождевальным машинам:

$$V_B = Q_n \Delta t_2 z. \quad (2.44)$$

Реле  $KT2$  включает магнитный пускатель  $KM$  и двигатель  $M$  центробежного насоса  $H$ . Идет дождевание. Через время  $\Delta t_2$  реле  $KT2$  включает промежуточное реле  $KL2$ , которое надежно отключает реле  $KT2$  до начала следующего цикла, задаваемого программой реле  $KT1$ .

Для оросительных систем наряду со стационарными выпускаются передвижные насосные электрифицированные станции типа СНПЭ с подачей  $90 \dots 360$  л/с при напоре  $960 \dots 206$  кПа. Насос приводится в действие от асинхронных двигателей мощностью  $45 \dots 160$  кВт при питании от отдельной понизительной подстанции. Вакуум-насосы, предназначенные для заполнения всасывающих трубопроводов водой, приводятся от отдельных двигателей мощностью  $1,5 \dots 1,7$  кВт.

Электродвигатель насоса автоматически отключается при перегрузках, составляющих  $20\%$  нормы, падении напора в напорной линии или срыве вакуума во всасывающей линии, а также по истечении заданного времени работы станции.

## Глава 3. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

### 3.1. РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ТИПЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Для поддержания качественного состава воздуха в производственных помещениях необходима систематическая вентиляция с обменом воздуха во всех слоях. В животноводческих помещениях воздух загрязняют выделяемые животными экскременты, углекислый газ, сероводород, водяные пары, избыточная теплота, образующиеся в помещении аммиак и метан и механические примеси. Неудовлетворительный температурно-влажностный режим и газовый состав воздуха в помещениях приводят к снижению молочной продуктивности коров на 10...15%, уменьшению привеса свиней на 20...30%, снижению яйценоскости кур на 15...20%, а излишняя скорость воздуха вызывает простудные заболевания.

Наибольшее воздействие на физиологическое состояние животного и его продуктивность оказывают температура и влажность воздуха и в ряде случаев его загазованность. Необходимые кратности воздухообмена по отношению к минимально допустимой нормативной кратности  $L_3$  в зависимости от температуры  $\theta$  наружного воздуха для отопительно-вентиляционной системы коровников (по данным ВИЭСХ) показаны на рисунке 3.1. В режиме I при  $\theta < -2^\circ\text{C}$  воздухообмен за счет естественного подпора (кривая  $L_6/L_3$ ) достаточен для поддержания удовлетворительного микроклимата. Однако для подачи необходимого количества теплого воздуха от калориферов нужны электровентиляторы. Этому режиму соответствует наибольшая вентиляционная норма по удалению влаги (кривая  $L_2/L_3$ ). Поэтому и автоматическая вентиляция должна работать в зависимости от влажности воздуха с коррекцией по температуре.

Воздух, поступающий в помещение, следует подогреть.

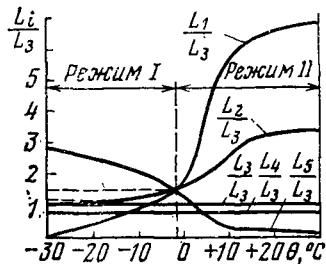
В режиме II при  $\theta > -2^\circ\text{C}$  принудительная вентиляция должна работать в зависимости от температуры внутри помещения с коррекцией по влажности. Воздух, поступающий в помещение, нуждается в увлажнении.

Различают вентиляционные установки с естественной



Рис. 3.1. Режимы работы отопительно-вентиляционной системы в коровниках при изменении внешних метеорологических условий: объемы вентиляционного воздуха:

$L_1$  — необходимый для удаления теплоты;  $L_2$  — необходимый для удаления избытка влаги;  $L_3$  — минимально допустимый по нормам;  $L_4$  — необходимый для удаления углекислого газа;  $L_5$  — обеспечиваемый естественным тепловым напором.



тягой, с механическим побуждением тяги и комбинированного действия. Механические установки подразделяют на приточные, вытяжные и комбинированные, без подогрева и с подогревом воздуха от паровых, водяных и электрических калориферов.

Приточная система вентиляции с естественной тягой действует за счет скоростного напора ветра, а вытяжная система с естественной тягой — за счет разности температур внутри и снаружи помещения.

Площадь поперечного сечения ( $m^2$ ) выходных каналов, по которым из помещения удаляется воздух в объеме  $V$  ( $m^3/ч$ ),

$$S = \frac{V}{3600v}. \quad (3.1)$$

Скорость ( $m/с$ ) движения воздуха в каналах

$$v = 2,2 \sqrt{\frac{h(\Theta_{вн} - \Theta_{нар})}{273}}, \quad (3.2)$$

где  $h$  — высота вытяжных каналов, м;  $\Theta_{вн}$  — температура воздуха внутри помещения, °C;  $\Theta_{нар}$  — температура наружного воздуха, °C; 273 — коэффициент объемного расширения воздуха.

Таким образом, эффективность действия естественной вентиляции тем больше, чем больше разность температур внутреннего и наружного воздуха, которая достигает максимального значения зимой. В теплое же время года, когда разность температур может оказаться равной нулю, действие естественной вентиляции вообще прекращается. Поэтому такая система вентиляции требует постоянного надзора и непрерывной регулировки степени открытия заслонки вытяжной трубы. При  $\Theta_{нар} > -2$  °C и кратности воздухообмена, большей 1,5, естественная вентиляция должна быть дополнена принудительной. Современное интенсивное животноводство с характерной для него по-

вышенной концентрацией поголовья на фермах требует интенсивного воздухообмена, обеспечить который невозможно без применения электровентиляторов.

### 3.2. ВЫБОР ТИПА И МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Схемы установок с механическим побуждением для вентиляции производственных помещений показаны на рисунке 3.2. Установки *а*, *б* и *в* монтируют на кровле зданий, так что они не занимают полезной площади сооружений. Двигатель вертикального исполнения приводит в движение центробежный типа Ц4-70 (рис. 3.2, *а*), осевой типа Ц3-04 (рис. 3.2, *б*) или специальный осевой с двумя рядами лопаток (рис. 3.2, *в*) вентилятор, колеса которого расположены непосредственно на валу двигателя. Клапан осевого вентилятора открывается потоком воздуха, а закрывается под действием силы тяжести (рис. 3.2, *б*). Осевой электровентилятор двухстороннего действия является составной частью приточно-вытяжной установки ПВУ.

Механическая характеристика вентилятора в основном определяется уравнением

$$M_{c. в} = M_0 + (M_{c. н} - M_0) \left( \frac{n}{n_n} \right)^2, \quad (3.3)$$

где  $M_{c. в}$  — момент сопротивления вентилятора при частоте вращения  $n$ ;  $M_{c. н}$  — момент сопротивления вентилятора при номинальной частоте вращения  $n_n$ ;  $M_0$  — момент сопротивления трения в подшипниках вентилятора.

Момент трогания вентилятора  $M_{тр}$  незначительно превышает момент трения, поэтому дополнительной проверки по условиям трогания обычно не проводят. Более того,  $M_0 \ll M_n$ , поэтому в первом приближении можно принять, что  $M_{c. в} \cong n^2$ , а следовательно, мощность вентилятора  $P \cong n^3$ , что обязательно нужно учитывать при выборе мощности электродвигателя. Номинальная частота вращения электродвигателя должна совпадать с частотой вращения выбранного вентилятора. А если, исходя из удобств монтажа, увеличивают частоту вращения вентилятора, то необходимая мощность электродвигателя резко возрастает в соответствии с аэродинамической характеристикой вентилятора (рис. 3.3).

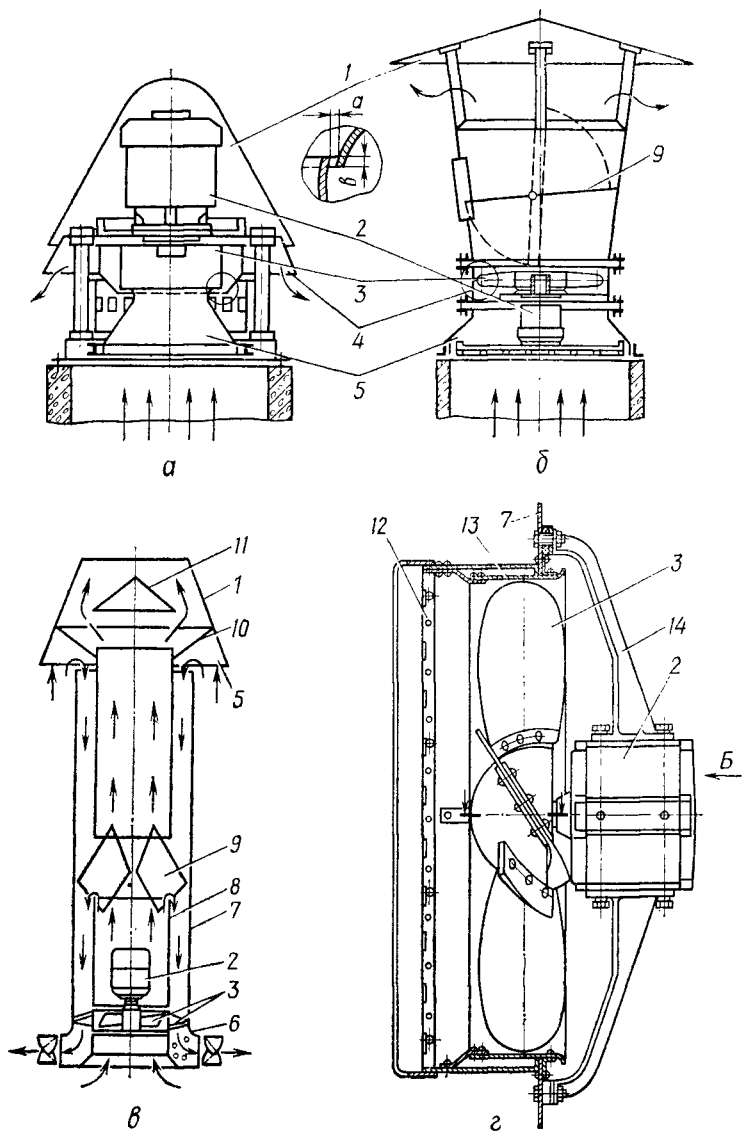


Рис. 3.2. Схемы установки электровентиляторов:

*a* — крышного центробежного; *б* — крышного осевого; *в* — приточно-вытяжной установки ПВУ; *г* — ВО-7; 1 — колпак; 2 — электродвигатель; 3 — вентиляторное колесо; 4 — кожух; 5 — входной патрубок; 6 — сопло; 7 — корпус; 8 — внутренний цилиндр; 9 — заслонки; 10 — конус; 11 — отражатель; 12 — жалюзи; 13 — диффузор; 14 — кронштейн.

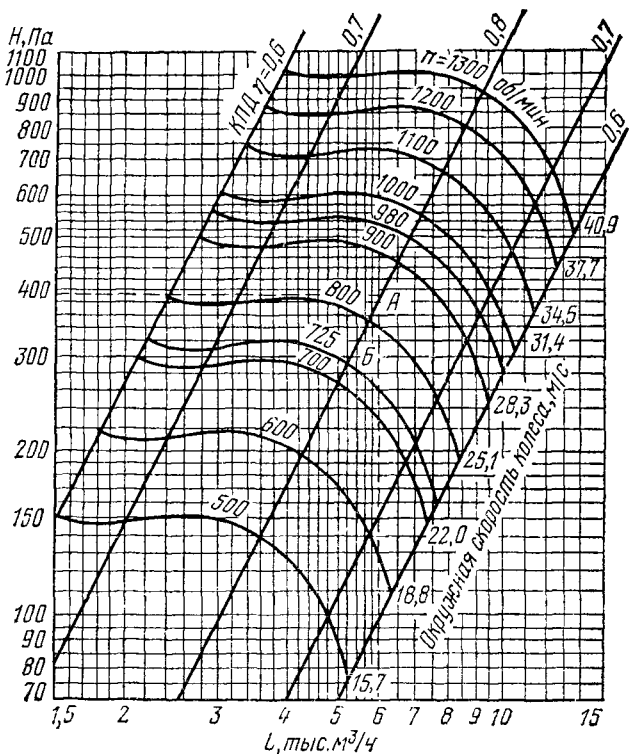


Рис. 3.3. Аэродинамическая характеристика центробежного вентилятора Ц4-70 № 6.

Мощность электродвигателя (кВт) определяется подачей и давлением, развиваемым вентилятором:

$$P = k \frac{Lp}{\eta_v \eta_n}, \quad (3.4)$$

где  $L$  — подача вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $p$  — давление (выбирают из расчета подачи воздуха к самой удаленной точке воздухопровода), Па;  $\eta_v$ ,  $\eta_n$  — коэффициенты полезного действия вентилятора и передачи (для клиноременной передачи 0,9...0,95, для непосредственного соединения 1);  $k$  — коэффициент запаса зависит от мощности:

|                                   |        |           |           |           |           |
|-----------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $P$ , кВт . . . . .               | до 0,5 | 0,5...1,0 | 1,0...2,0 | 2,0...3,0 | 3 и более |
| $k$ для центробежного вентилятора | 1,5    | 1,3       | 1,2       | 1,15      | 1,1       |
| $k$ для осевого вентилятора . . . | 1,2    | 1,15      | 1,1       | 1,05      | 1,05      |

Подачу вентилятора вычисляют по вентиляционной норме  $L_n$  и числу животных  $k_r$  в помещении:

$$L = k_r L_n. \quad (3.5)$$

Вентиляционная норма

$$L_n = L_{ж}/(l_d - l_n), \quad (3.6)$$

где  $L_{ж}$  — количество вредных примесей, выделяемых животными, м<sup>3</sup>/ч;  $l_d$  — допустимое по нормам количество вредных примесей, отн. ед.;  $l_n$  — количество вредных примесей в наружном воздухе, отн. ед.

Вентиляционную норму для конкретных условий определяют несколько раз: 1) по выделению углекислого газа; 2) по выделению аммиака; 3) по выделению воды; 4) по избытку теплоты в помещении. Расчет ведут по наибольшей полученной норме. Допустимые расчетные значения температуры и нормы содержания углекислоты, паров воды, аммиака в животноводческих помещениях приведены в таблице 3.1.

### 3.1. Характеристика среды внутри животноводческих помещений

| Помещения              | Температура, °С |             | Относительная влажность воздуха, % | Содержание, % |         |
|------------------------|-----------------|-------------|------------------------------------|---------------|---------|
|                        | минимальная     | оптимальная |                                    | углекислоты   | аммиака |
| Коровник (мясной скот) | 7               | 10,6        | 75...85                            | 0,3           | 0,25    |
| Телятник:              |                 |             |                                    |               |         |
| телята до 6 недель     | 16              | 18,3        | 70                                 | 0,25          | 0,25    |
| телята 6...12 недель   | 10              | 12,8        | 70                                 | 0,25          | 0,25    |
| Свинарник-откормочник  | 18              | 21,1        | 75                                 | 0,3           | 0,25    |
| Свиноматочник:         |                 |             |                                    |               |         |
| опоросившиеся          | 13              | 18,3        | 70                                 | 0,25          | 0,25    |
| свиньи                 |                 |             |                                    |               |         |
| новорожденные поросята | 24              | 29,4        | 70                                 | 0,25          | 0,25    |
| Конюшня                | 2               | 7           | 80...85                            | 0,3           | 0,3     |
| Овчарня                | 3               | 5           | 75...80                            | 0,3           | 0,3     |
| Птицеферма:            |                 |             |                                    |               |         |
| куры-несушки           | 7               | 14...16     | 75                                 | 0,25          | 0,25    |
| цыплята на мясо        | 16              | 21,1        | 75                                 | 0,25          | 0,25    |

Скорость движения воздуха в помещениях рекомендуется поддерживать в пределах от 0,05 до 0,15 м/с, чтобы избежать чрезмерного охлаждения животных. Скорость воздуха в птичниках допускается до 0,2 м/с.

Для привода вентиляторов выпускают химовластойкие электродвигатели, рассчитанные на продолжительную эксплуатацию при температуре воздуха от  $-20$  до  $+40$  °С, относительной влажности воздуха, близкой к 100%, и содержании в воздухе до  $3,5$  г/м<sup>3</sup> горючей тонкой соломистой или хлопьевидной пыли с диаметром частиц не менее 1 мкм. Охлаждение двигателей внешнее от рабочего вентилятора.

### 3.3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Подачу электровентиляционных установок можно регулировать изменением: 1) числа включенных вентиляторов; 2) площади сечения воздухопровода; 3) частоты вращения двигателя.

Изменение угловой скорости асинхронного двигателя с вентиляторным моментом сопротивления на валу путем регулирования напряжения питания основано на квадратичной зависимости между моментом  $M$  асинхронного двигателя и напряжением  $U_1$  на его зажимах. При постоянных параметрах электродвигателя в области скольжений, меньших критического ( $s < s_R$ ), момент пропорционален квадрату напряжения и скольжению:

$$M \equiv U_1^2 s. \quad (3.7)$$

Следовательно, при постоянном моменте

$$s \equiv \frac{1}{U_1^2}. \quad (3.8)$$

Поэтому, снижая напряжение, можно увеличивать скольжение (уменьшать угловую скорость) в пределах от нуля до критического. Диапазон регулирования обычных двигателей невелик. С целью его расширения применяют короткозамкнутые двигатели с повышенным скольжением или асинхронные двигатели с включенными в цепь ротора регулировочными сопротивлениями. Для механизмов с вентиляторным моментом при одинаковом изменении напряжения диапазон регулирования по условию устойчивой работы несколько меньше.

Со снижением угловой скорости потери в роторе увеличиваются, так как они пропорциональны скольжению:

$$P_s = M \omega_0 s, \quad (3.9)$$

где  $\omega_0$  — угловая скорость вращения магнитного поля.

При вентиляторной характеристике рабочей машины

$$M \cong M_n \frac{\omega^2}{\omega_n^2}, \quad (3.10)$$

где  $\omega$  — угловая скорость вращения вала двигателя;  $\omega_n$  — номинальная угловая скорость вращения вала двигателя.

Тогда

$$P_s = M_n \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \omega_0 \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (3.11)$$

Продифференцировав зависимость (3.11)

$$\frac{dP_s}{d\omega} = M_n \frac{(2\omega_0\omega - 3\omega^2)}{\omega_n^2} = 0 \quad (3.12)$$

и выразив угловую скорость, соответствующую максимальным потерям в роторе  $P_{s \max}$  как

$$\omega_{\max} = \frac{2}{3} \omega_0, \quad (3.13)$$

найдем максимальные потери .

$$P_{s \max} = \frac{M_n}{\omega_n^2} \left( \frac{2}{3} \omega_0 \right)^2 \omega_0 \frac{\omega_0 - \frac{2}{3} \omega_0}{\omega_0} = \frac{4}{27} \frac{M_n \omega_0^2}{\omega_n^2}. \quad (3.14)$$

Потери при номинальной частоте вращения

$$P_{sн} = \frac{M_n}{\omega_n^2} \omega_n^2 \omega_0 \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = M_n (\omega_0 - \omega_n). \quad (3.15)$$

Относительные максимальные потери, определяемые выражением

$$\begin{aligned} p_{s \max} &= \frac{P_{s \max}}{P_{sн}} = \frac{4}{27} \left( \frac{M_n \omega_0^3}{\omega_n^2} \right) : M_n (\omega_0 - \omega_n) = \\ &= \frac{4}{27} \frac{\omega_0^2 \omega_0}{\omega_n^2 (\omega_0 - \omega_n)} = \frac{4}{27} \frac{\omega_0^2}{\omega_n^2} \frac{1}{s_n}, \end{aligned} \quad (3.16)$$

уменьшаются с ростом номинального скольжения, например:

|                        |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|
| $s_n$ . . . . .        | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| $p_{s \max}$ . . . . . | 5,25 | 4,03 | 3,27 |

Поэтому с точки зрения уменьшения относительных максимальных потерь для регулируемого привода механизмов с вентиляторной характеристикой следует отдавать предпочтение двигателям с повышенным номинальным

скольжением. Увеличение потерь при регулировании угловой скорости требует усиления теплосъема с электродвигателя. Этот вопрос удачно решен в конструкциях электровентиляторов, где специально разработанный электродвигатель охлаждается основным воздушным потоком.

С целью регулирования скорости вращения напряжение на зажимах двигателя изменяют при помощи автотрансформатора или тиристорного регулятора напряжения. Этот способ прост и надежен; позволяет плавно регулировать угловую скорость, применим к короткозамкнутым двигателям.

Регулирование угловой скорости вращения  $\omega$  асинхронного короткозамкнутого двигателя переключением числа пар полюсов  $p$  основано на зависимости

$$\omega = \frac{2\pi f}{p} (1 - s), \quad (3.17)$$

где  $f$  — частота тока сети;  $s$  — скольжение двигателя.

Изменяя число пар полюсов обмотки статора в соотношении 1 : 2, получают две ступени угловой скорости. Для получения трех или четырех ступеней скорости на статоре укладывают две независимые обмотки. Однако технико-экономические показатели двухобмоточных двигателей ухудшаются. Для регулирования привода механизмов с вентиляторной характеристикой наиболее рациональной следует считать схему переключения с параллельного треугольника на последовательную звезду. Эта схема дает хорошее, наиболее желательное сочетание механических характеристик двигателя, так как большей скорости соответствует и больший момент (и наоборот).

Оценим загрузку двигателя на низшей частоте вращения. Если  $U_n$  — номинальное линейное напряжение, а  $I_n$  — номинальный ток секции, то мощность, соответствующая высшей угловой скорости,

$$P_{\Delta} = 3U_n 2I_n \cos \varphi_{\Delta} \eta_{\Delta}, \quad (3.18)$$

а мощность, соответствующая низшей угловой скорости,

$$P_Y = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi_Y \eta_Y. \quad (3.19)$$

Предполагая  $\cos \varphi_{\Delta} \approx \cos \varphi_Y$  и  $\eta_{\Delta} \approx \eta_Y$ , получим, что мощность на высшей угловой скорости в  $2\sqrt{3} \approx 3,46$  раза больше, чем на низшей, и, значит, момент больше в 1,73 раза. В то же время момент вентилятора при снижении



угловой скорости в 2 раза уменьшается примерно в 4 раза. Следовательно, двигатель на низшей угловой скорости недогружен по моменту на 43,3%. Для других схем, обеспечивающих при переключениях примерное постоянство момента или мощности, загрузка двигателя на низших угловых скоростях будет еще ниже.

Преимущества этого способа заключаются в отсутствии потерь при регулировании, сохранении жесткости характеристик. К недостаткам его следует отнести ступенчатость регулирования при ограниченном числе ступеней и ухудшение технико-экономических показателей в области малых угловых скоростей (понижаются загрузка и коэффициент мощности, увеличивается необходимое число переключающих аппаратов).

Регулирование угловой скорости асинхронного электродвигателя изменением сопротивления роторной цепи приводит к увеличению потерь в роторе, которые без учета потерь в стали и механических могут быть оценены так:

$$\Delta P_2 = P_{12} - P_2 = P_{2н} \frac{\omega_0}{\omega_н} \left( \frac{\omega}{\omega_н} \right)^2 - P_{2н} \left( \frac{\omega}{\omega_н} \right)^3, \quad (3.20)$$

где  $P_2 = P_{2н} \left( \frac{\omega}{\omega_н} \right)^3$  — мощность на валу приводного двигателя машины с вентиляторной характеристикой;  $P_{12} = P_2 \frac{\omega_0}{\omega_н}$  — электромагнитная мощность;  $P_{2н}$ ,  $\omega_н$  — номинальные мощность и угловая скорость;  $\omega_0$  — синхронная угловая скорость вращения.

Максимальное значение потерь в роторной цепи определяется из следующих условий:

$$\frac{d(\Delta P)}{d\omega} = P_{2н} \frac{\omega_0}{\omega_н^3} 2\omega - P_{2н} \frac{3\omega^2}{\omega_н^3} = 0 \quad (3.21)$$

или

$$\frac{P_{2н}\omega}{\omega_н^3} (2\omega_0 - 3\omega) = 0 \quad \text{и} \quad \omega_{\Delta P \max} = \frac{2}{3} \omega_0, \quad (3.22)$$

поэтому

$$\Delta P_{\max} = \frac{4}{27} P_{2н} \left( \frac{\omega_0}{\omega_н} \right)^3. \quad (3.23)$$

При этом способе регулирования максимальные потери мощности в роторе  $(0,15...0,17)P_{2н}$  наблюдаются при угловой скорости  $0,67\omega_0$ .

### 3.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

#### Комплекты приточно-вытяжных установок

**ПВУ**, включающие 6, 9, 12 шахт, автоматически обеспечивают постоянную циркуляцию воздуха в помещениях, поддерживают температуру в заданных пределах в холодный и переходный периоды года, регулируют воздухообмен в зависимости от наружной и внутренней температуры.

Автоматическая приточно-вытяжная вентиляционная установка с подогревом воздуха в холодный период года ПВУ-6 (рис. 3.2, в и 3.4) состоит из основного двигателя *M1* с вентилятором двухстороннего действия, вспомогательного *M2* для привода заслонок, трубчатых электронагревательных элементов, смонтированных в выходных соплах, магнитных пускателей *KM1*, *KM2*, *KM3*, терморегуляторов *SK1*, *SK2*, *SK3* типа ПТР-2. Терморегулятор *SK1* управляет по температуре внутреннего воздуха работой привода заслонок и первой секции нагревательных элементов. Летом заслонки полностью открыты, в переходный период и зимой частично или полностью закрыты. Терморегулятор *SK2* управляет работой нагревательных элементов второй секции и подает сигнал «холодно». Терморегулятор *SK3* контролирует температуру наружного воздуха.

Переключатели *SA1*, *SA2*, *SA3* служат для настройки схемы на заданный режим и для ручного управления.

**Оборудование «Климат-4»** предназначено для создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях. В оборудование входят специальные низконапорные осевые электровентиляторы с регулируемой в широком диапазоне подачей за счет изменения напряжения. Оборудование «Климат-4» выпускается в трех исполнениях: «Климат-44» с вентиляторами типа ВО-4 (24 шт.), «Климат-45» с вентиляторами типа ВО-5,6 (18 шт.), «Климат-47» с вентиляторами типа ВО-7 (10 шт.).

Ниже приведены основные параметры этих вентиляторов:

|  |        |        |         |
|--|--------|--------|---------|
| Тип электровентилятора . . . . .               | ВО-4   | ВО-5,6 | ВО-7    |
| Диаметр рабочего колеса, мм . . . . .          | 400    | 560    | 700     |
| Подача при давлении 19,6 Па . . . . .          | 3600   | 5500   | 13000   |
| Тип приводного двигателя . . . . .             | Д80А4П | Д80В6П | Д100Л6П |
| Номинальная мощность, кВт . . . . .            | 0,25   | 0,37   | 1,1     |
| Номинальная частота вращения, об/мин . . . . . | 1290   | 870    | 830     |

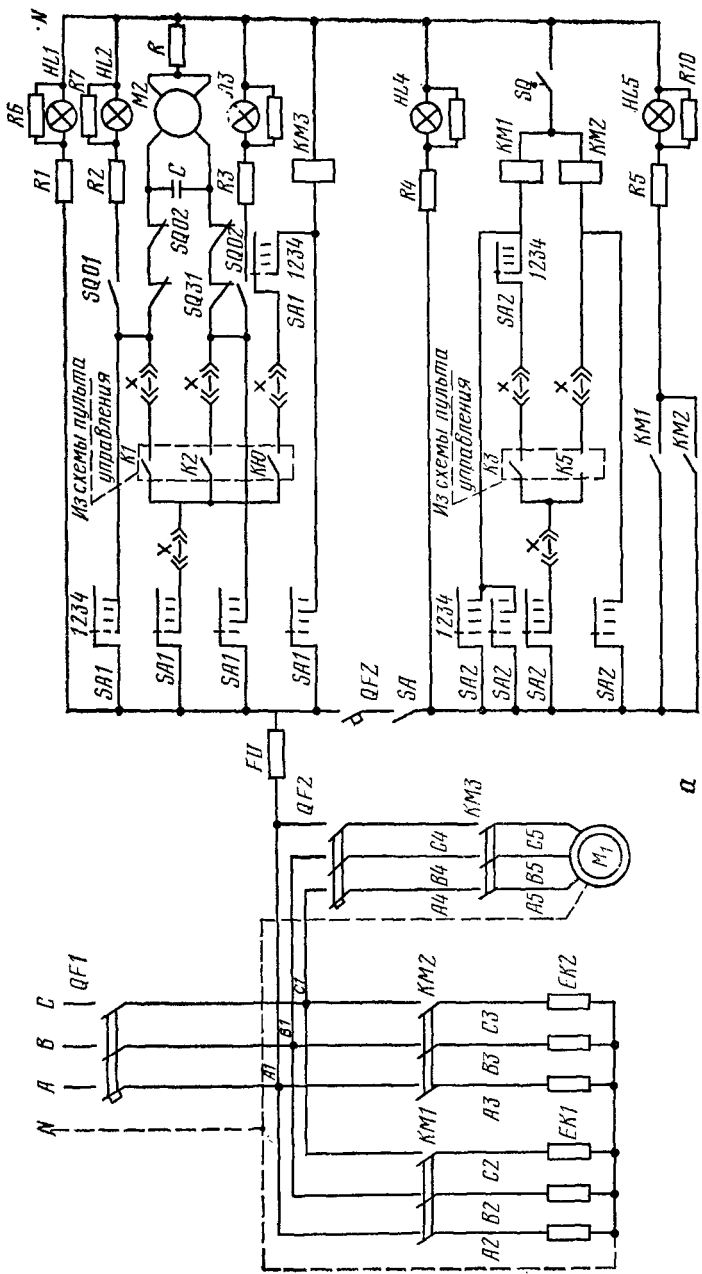
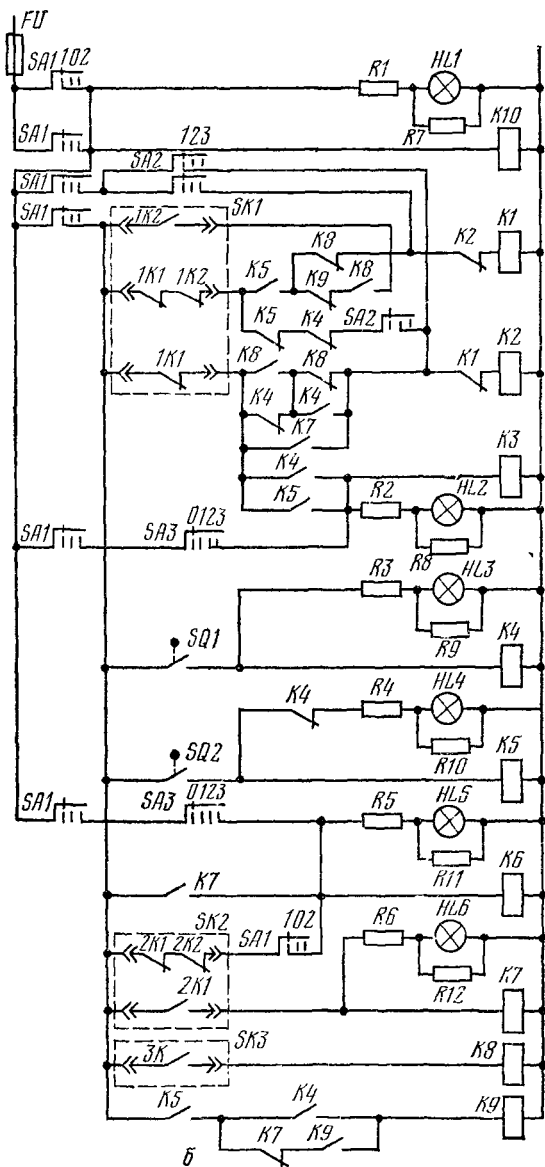


Рис. 3.4. Электрические схемы силового блока (а), пульта управления (б) установки ПВУ-6 и включения терморегуляторов (в).



Продолжение рисунка 3.4

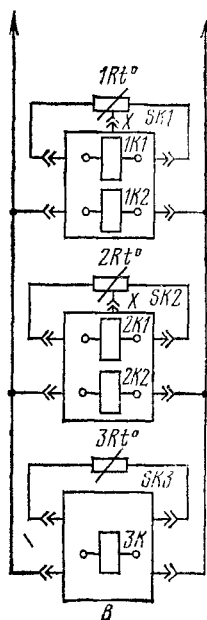
|  |      |      |      |
|--|------|------|------|
| Диапазон регулирования частоты вращения . . . . .                            | 5:1  | 10:1 | 8:1  |
| Номинальный ток при номинальном напряжении 380 В и соединении У, А . . . . . | 0,93 | 1,4  | 3,2  |
| Коэффициент мощности . . . . .   | 0,64 | 0,64 | 0,77 |
| Коэффициент полезного действия, отн. ед. . . . .                             | 0,64 | 0,63 | 0,68 |
| Кратность пускового тока . . . . .   | 4,5  | 3,5  | 4,0  |
| Кратности моментов:  |      |      |      |
| пускового . . . . .  | 4,5  | 3,5  | 2,1  |
| максимального . . . . .  | 4,1  | 3,2  | 2,0  |
| минимального . . . . .   | 4,0  | 3,0  | 2,0  |
| Напряжение трогания в сборе с вентилятором, В . . . . .                      | 65   | 55   | 50   |
| Масса, кг . . . . .  | 12,6 | 15,0 | 32,0 |

Применение группы регулируемых вентиляторов позволяет создать необходимую степень дробления приточно-вытяжных струй, равномерное смешение приточного и внутреннего воздуха, эффективную ассимиляцию вредно действующих газов и влаговывделений, а также однородное температурное поле в помещении.

Вентиляторы серии ВО (рис. 3.2, г) рассчитаны для работы на короткие сети при больших расходах и низких давлениях (рис. 3.5). Большое критическое скольжение

(0,6) позволяет изменением напряжения регулировать в обширном диапазоне частоту вращения и подачу. Напряжение питания в пределах от 70 до 300 В изменяют при помощи автотрансформатора типа АТ-10 с 16 отпайками. Номинальная мощность трехфазной нагрузки колеблется от 10 до 2,5 кВт·А.

Схема управления электровентиляторами (рис. 3.6) может работать в ручном и автоматическом режимах. В ручном режиме переключатель SA ставят в положение P и управляют двигателями пакетно-кулачковым переключателем SA1. Переводом переключателя SA1 в положение 0 отключают электровентиляторы. Установкой переключателя SA1 в положение 1 пускателями KM1 и KM6 включают двигатели на отпайки X1, Y1, Z1 автотрансформатора АТ. Пуск и работа двигателей происходят при пониженном напряжении на первой скорости



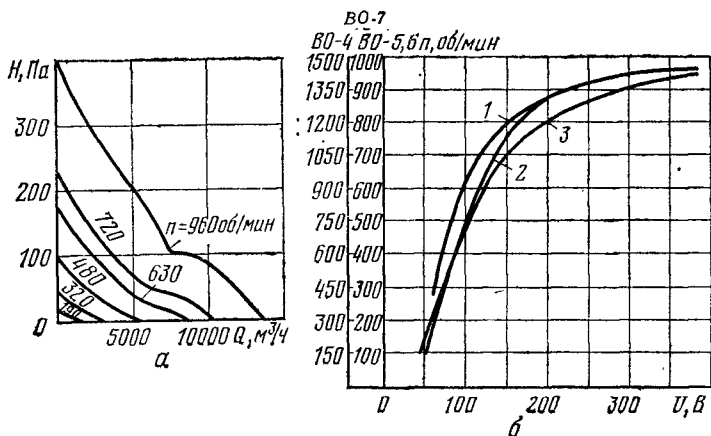


Рис. 3.5. Характеристики электровентиляторов:

$a - Q - H$  для ВО-7;  $b -$  регулировочные для типов ВО-4 (1), ВО-5 (2), ВО-7 (3).

$0,3\omega_n$ . При установке  $SA1$  в положение 2 пускатель  $KM2$  переключает двигатели на отпайки  $X2, Y2, Z2$ , соответствующие работе на второй скорости  $0,6\omega_n$ . При установке переключателя  $SA1$  в положение 3 пускатель  $KM3$  подводит к двигателям напряжение сети. Двигатели работают на высшей скорости  $\omega_n$ . Для предотвращения одновременного включения двух уровней напряжения последовательно с катушкой каждого магнитного пускателя  $KM1, KM2, KM3$  включены две пары размыкающих контактов двух других пускателей.

Диапазон регулирования подачи вентиляционной установки расширен путем деления электровентиляторов на 3 группы:  $M1...M3, M4...M7, M8...M10$ . В нулевом положении  $SA2$  отключает дополнительные группы, в положении 1 пускатель  $KM4$  подключает двигатели  $M8...M10$ , а в положении 2 пускатель  $KM5$  дополнительно вводит в действие двигатели  $M1...M3$ .

В режиме автоматического управления переключатель  $SA$  ставят в положение  $A$ , включая тем самым цепи регуляторов  $SK1, SK2$  и пускателей  $KM1...KM7$ . Полупроводниковые трехпозиционные терморегуляторы  $SK1$  и  $SK2$  типа ПТРЗ-04 поддерживают заданную температуру, которая может находиться в диапазоне от 5 до 35 °С.

Условием правильной работы системы управления является настройка терморегуляторов  $SK1$  и  $SK2$  на разные

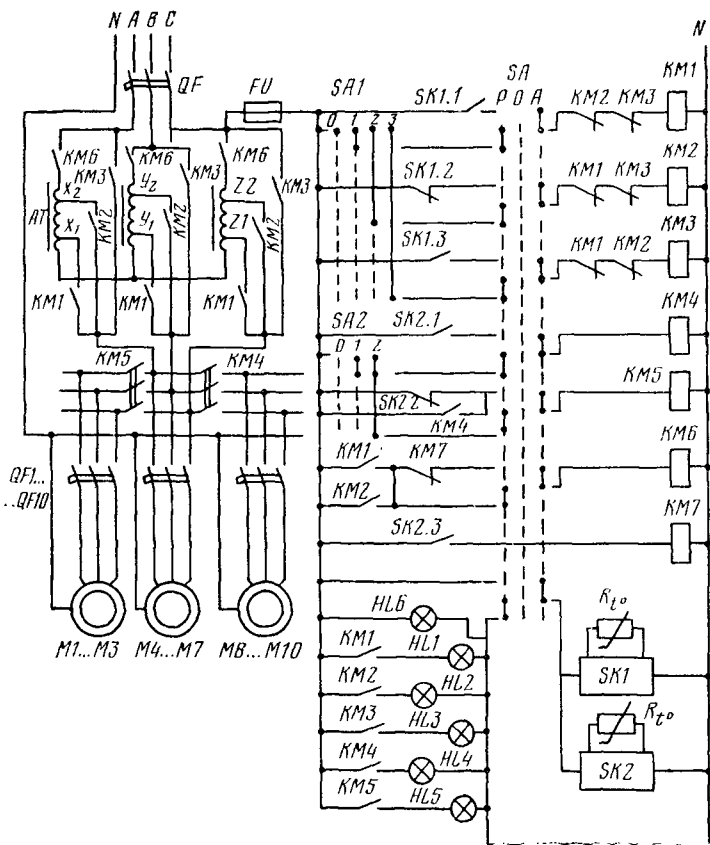


Рис. 3.6. Схема автоматического управления электровентиляторами системы «Климат-4».

температуры срабатывания. Уставка  $SK1$  должна быть больше уставки  $SK2$  на  $2...4^\circ$ .

Если температура воздуха помещения соответствует заданной, то замкнуты контакты  $SK1.2$  и  $SK2.1$  и включены пускатели  $KM2, KM4...KM6$ . Электродвигатели работают на второй частоте вращения. Когда температура повышается на заданное число градусов, замыкаются контакты  $SK1.3$  и  $SK2.1$  и получают питание пускатели  $KM3...KM5$ . Электродвигатели переключаются на третью частоту вращения.

При понижении температуры замыкаются контакты  $SK1.1$  и  $SK2.1$ , в цепь тока вводятся катушки пускателей

*КМ1, КМ4...КМ6* и электродвигатели переключаются на первую частоту вращения. Если температура продолжает снижаться, то размыкаются контакты *SK2.1* и замыкаются *SK2.2*, пускатель *КМ4* отключает группу двигателей *М8...М10*. Если же температура все-таки продолжает снижаться, то замыкаются контакты *SK2.3*, включается пускатель *КМ7* и своими размыкающими контактами лишает питания пускатель *КМ6*, вентиляторы останавливаются.

Датчиками температуры воздуха в помещении служат полупроводниковые терморезисторы  $R_{т}$ . Панель датчиков поставляется в комплекте со станцией управления и монтируется на колоннах помещения в зоне нахождения животных или птицы. Со станцией управления датчики соединяют экранированным проводом с площадью поперечного сечения  $0,35 \text{ мм}^2$ .

Электродвигатели и установка в целом защищены автоматическими выключателями АП50-3МТ с тепловыми и электромагнитными расцепителями, цепи управления — предохранителем типа ПРС-6П. Предусмотрена сигнализация наличия напряжения на станции (*HL6*), включения групп электровентиляторов (*HL4, HL5*), контроля частот вращения (*HL1...HL3*). Станция управления смонтирована в навесном бескаркасном шкафу пылебрызгонепроницаемого исполнения.

Для подогрева наружного воздуха с системой оборудования «Климат» используются электрические, паровые, водяные или огневые калориферы.

**Бесконтактная тиристорная система управления микроклиматом** серии МК-ВАУЗ обеспечивает автоматическое бесконтактное регулирование угловой скорости вытяжных вентиляторов изменением напряжения на двигателях от 80 до 340 В (рис. 3.7). Требуемая температура устанавливается задатчиком *ЗДТ*. Датчик температуры *ВТ* применен типа ТСМ-5071. Для вертикально-фазового управления тиристорами изменяют напряжение смещения блокинг-генераторов, выполненных на двух германиевых триодах. В силовом блоке 6 тиристоров *VS1...VS6* на 160 А шестого класса по обратному напряжению. Тиристоры защищаются быстродействующими предохранителями *FU1...FU3* с плавкими вставками на 63 А. Ребристые радиаторы обеспечивают естественное охлаждение тиристоров.

При увеличении температуры в помещении выше заданной формируется сигнал с нагрузки усилителя-демо-



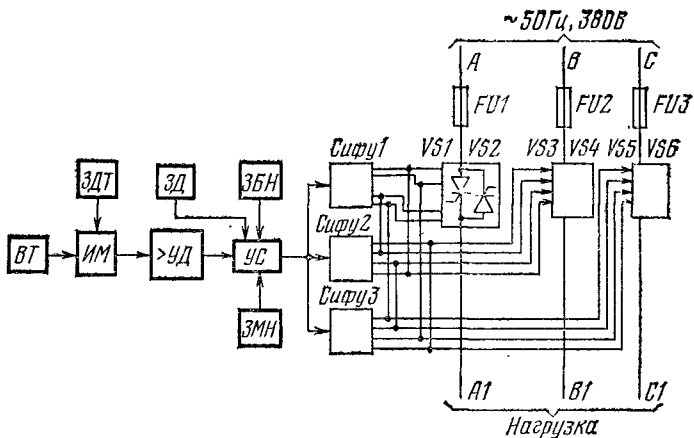


Рис. 3.7. Структурная схема системы управления микроклиматом серии МК-ВАУЗ:

*BT* — датчик температуры; *ИМ* — измерительный мост; *УД* — усилитель-деמודулятор; *УС* — узел смещения; *ЗДТ* — ручной задатчик температуры помещения; *ЗД* — задатчик дифференциала на допустимое снижение температуры; *СИФУ1...СИФУ3* — схема фазо-импульсного управления тиристорами; *FU1...FU2* — предохранители; *VS1... VS6* — тиристоры.

дулятора *УД*, который уменьшает напряжение смещения блокинг-генераторов, вследствие чего возрастают выходное напряжение и угловая скорость вентиляторов. Уменьшение температуры до заданной нормы вызывает сигнал с нагрузки усилителя-деמודулятора, который повышает напряжение

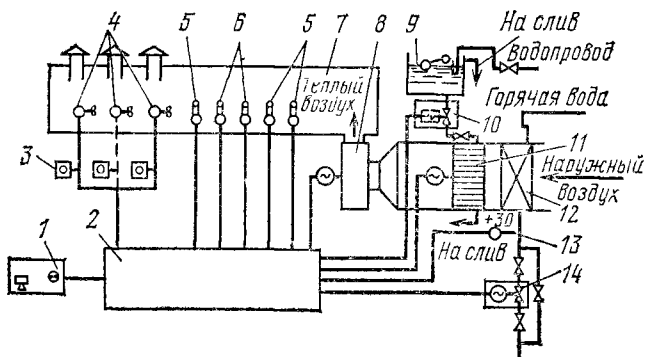


Рис. 3.8. Автоматическая система «Климат-3»:

*1* — пульт управления; *2* — станция управления; *3* — выключатели; *4* — вытяжные вентиляторы; *5* — датчики температуры; *6* — датчики влажности; *7* — жила-водопроводное помещение; *8* — приточный вентилятор; *9* — бак; *10* — электронагревательный клапан; *11* — увлажнитель; *12* — радиатор; *13* — датчик температуры воды; *14* — регулирующий клапан.

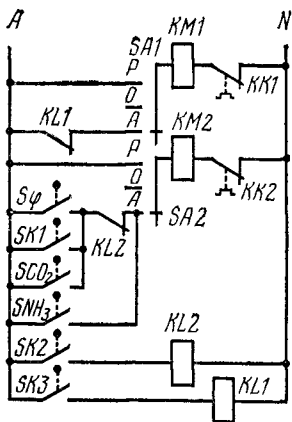


Рис. 3.9. Схема автоматического управления вентиляционными установками по нескольким параметрам микроклимата.

Температуру помещения регулируют изменением теплопроизводительности калорифера при открытом и закрытом клапане 14 горячей воды типа ПР-1М. Чтобы предупредить замораживание калорифера при температуре обратной воды ниже  $+30^{\circ}\text{C}$ , температуру контролируют датчиком 13 типа ТУДЭ-2.

При необходимости увлажнения воздуха вода из бачка 9 через электромагнитный клапан 10 типа СМВ-25 поступает к турбоувлажнителю и разбрызгивается им в потоке подогретого воздуха. Для осушения воздуха в помещении увеличивается воздухообмен при возрастании угловой скорости вентиляторов.

Вытяжные вентиляторы 4 забирают загрязненный воздух равномерно из разных точек помещения.

Для создания оптимального микроклимата в производственных помещениях необходимо автоматическое управление по нескольким параметрам (рис. 3.9), в животноводческих помещениях — по температуре и загазованности. Вентиляторы разделяются на две группы и включаются пускателями *KM1* и *KM2*. Для управления используются датчики температуры *SK1*, *SK2*, *SK3*, влажности *Sφ*, загазованности по углекислому газу *SCO<sub>2</sub>* и по аммиаку *SNH<sub>3</sub>* или соответствующие им регуляторы.

смещения блокинг-генератора, поэтому снижается напряжение и угловая скорость вентиляторов до базовых значений. Дальнейшее снижение температуры приводит к еще меньшей угловой скорости вентиляторов.

В автоматизированной системе вентиляции, отопления и увлажнения животноводческих и птицеводческих помещений «Климат-3» (рис. 3.8) используют оборудование: отопительно-вентиляционный агрегат 8, 11, 12, осевые вентиляторы 4, станцию управления 2, датчики температуры воздуха 5 для визуального, рабочего и аварийного контроля и влажности 6.

Ручное управление осуществляется переключателями *SA1* и *SA2*.

Для автоматического управления переключатели *SA1* и *SA2* ставят в положение *A*. Тогда первая группа вентиляторов (*KM1*) работает непрерывно, а вторая (*KM2*) включается по командам датчиков температуры *SK1*, влажности  $S_{\phi}$ , загазованности по углекислому газу  $SCO_2$  и аммиаку  $SNH_3$ . При снижении температуры до нижнего предела датчик *SK2* включает промежуточное реле *KL2*, которое отключает вторую группу вентиляторов, хотя влажность и загазованность по  $CO_2$  еще не снизились до нормы. А в случае загазованности по аммиаку вторая группа отключается только после снижения концентрации аммиака до нормы.

При аварийном снижении температуры датчик *SK3* включает промежуточное реле *KL1*, которое отключает первую группу вентиляторов. Число датчиков (регуляторов) выбирают в минимально необходимом количестве. Чаще всего выбирают датчик температуры *SK1* и один из датчиков, контролирующей наибольшую загрязненность воздуха:  $S_{\phi}$ ,  $SCO_2$  или  $SNH_3$ .

**Электрооборудование типа ОРМ-1** (рис. 3.10), разработанное главным конструкторским бюро по механизации овощеводства, предназначено для автоматического поддержания оптимального микроклимата в теплицах площадью до 1000 м<sup>2</sup>. Регулирование температуры воздуха в сторону повышения происходит за счет включения дополнительного обогрева, а в сторону понижения — за счет усиления естественной вентиляции через форточки. Влажность регулируют периодическим распылением воды в воздух.

В систему регулирования температуры входят датчики температуры, два калорифера, два электромагнитных вентиля. Датчиками температуры служат электроконтактные термометры типа ТК-6 с регулируемой магнитной головкой. Два из них регулируют температуру днем, два — ночью, а один сигнализирует об аварийном снижении температуры. Один из термометров каждой пары устанавливают на верхний предел задаваемого диапазона температур, другой — на нижний. При получении сигнала от датчика температуры на включение отопления вступают в работу двигатели калориферов и электромагнитные вентиля, открывающие доступ теплоносителя к калориферу.

Система увлажнения воздуха включает в себя датчики

влажности, трубопроводы, распылители, насосную станцию, регулятор температуры воды. Датчиком влажности служит двухпозиционный камерный влагорегулятор ВДК, включенный в электрическую цепь системы увлажнения. Необходимое значение влажности задают, настраивая влагорегулятор.

Пластмассовые трубопроводы подвешивают на растяжках под кровлей вдоль теплицы в три линии с расстоянием 3...3,5 м от кровли теплицы и с шагом в линии 3 м. Распылители 10, прикрепляемые к трубам, представляют собой капроновые насадки с двумя отверстиями (диаметром 0,4 мм каждое), расположенными строго соосно, благодаря чему струйки воды, выходящие из них под давлением, сталкиваясь, разбиваются в мельчайшую пыль, которая образует вокруг распылителей веер, достигающий 2 м в диаметре. Распылители закрепляют на трубопроводах в шахматном порядке с шагом в линии 3 м. Для сбора воды и отвода капель, образующихся на трубах при распылении и от конденсации паров воды из воздуха, под

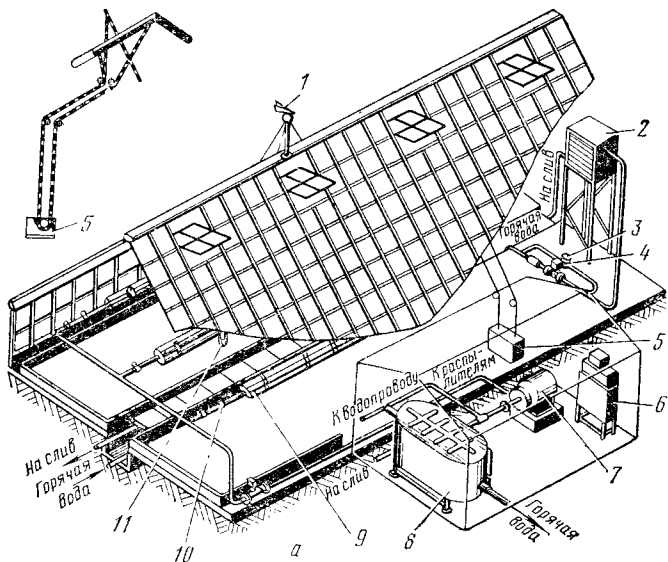
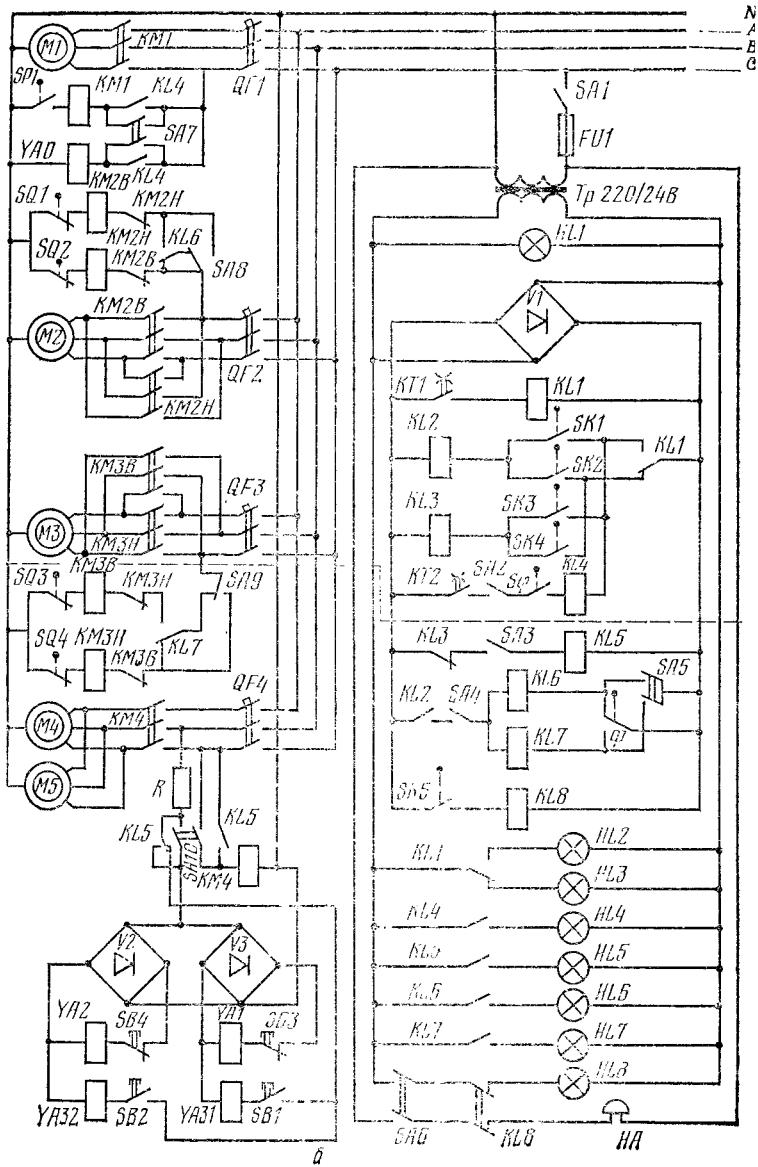


Рис. 3.10. Схемы оборудования ОРМ-1:

*а* — технологическая; *б* — электрическая; 1 — электроконтактный флюгер; 2 — калорифер; 3 — ручной вентиль; 4 — электромагнитный вентиль; 5 — привод открывания форточек; 6 — шкаф управления; 7 — насос; 8 — водоподогреватель; 9 — желоб; 10 — распылители воды; 11 — шкаф с датчиками.



Продолжение рисунка 3.10.

трубами устанавливают желоба 9, по которым вода стекает в канализацию.

Насосная станция, предназначенная для подачи к распылителям теплой воды под постоянным давлением, состоит из бака подогревателя 8 и центробежного насоса 7 типа 2КМ-6 с электродвигателем. Уровень воды в баке поддерживается поплавковым клапаном, а ее температура — автоматическим регулятором прямого действия типа РТ, установленным на входном патрубке змеевика, по которому пропускается подогретая вода.

В узел вентиляции входят фрамуги с приводом 5 от двух электродвигателей через червячные редукторы и четыре барабана с канатной системой и блоками. Форточки могут быть открыты с правой или левой стороны теплицы или с обеих сторон одновременно.

Для подачи команды на открытие форточек с подветренной стороны применен электроконтактный флюгер 1, устанавливаемый на крыше теплицы. В зависимости от направления ветра кулачок вращающейся части флюгера воздействует на микропереключатель и замыкает цепь включения вентиляции левой или правой стороны теплицы. В шкафу управления предусмотрен выключатель SA5, блокирующий контакты флюгера для включения вентиляции с двух сторон. Шкаф управления устанавливают в помещении (вне теплицы), где условия не препятствуют нормальной работе электрооборудования.

Программы работы систем задаются программным реле времени 2РВМ с приставкой, позволяющей получить выдержки в 0,5...3 мин через нужные промежутки. Реле 2РВМ имеет диск настройки с резьбовыми отверстиями под штифты в два ряда (для двух программ). Минимальное время уставки первой программы 15 мин, второй — 20 мин. Через установленное время штифты нажимают на микровыключатели, замыкаются цепи питания реле, которые включают цепи соответствующих программ. Первая программа задает дневной или ночной режим работы, вторая периодически (через каждые 60 мин) включает систему увлажнения с заданной длительностью впрыска (до 2 мин).

В дневном режиме работы замыкаются контакты реле времени КТ1, срабатывает реле КЛ1 и включает цепи датчиков температуры дня SK1, SK3 и влажности воздуха Sφ. Термометр SK1 устанавливается на верхний предел регулируемой температуры (например, 28 °С), а SK3 — на нижний (например, 25 °С). Если температура станет ниже

25 °С, контакты датчика *SK3* размыкаются, реле *KL3* лишается питания, контакты *KL3* в цепи реле *KL5* замыкаются. Реле *KL5* через пускатель *KM4* включает электродвигатели *M4* и *M5* калориферов вентиляторов и электромагниты вентиляей *УА1*, *УА2*, открывающих доступ теплоносителю в калориферы.

Электромагниты вентиляей после срабатывания теряют питание, однако вентили, удерживаемые механическими защелками, остаются открытыми, а контакты в цепи электромагнитов защелок закрываются (вентили подготавливаются к закрытию). Когда температура достигает 25 °С, контакты *SK3* замыкают цепь реле *KL3*, которое разрывает цепь питания реле *KL5*, катушка пускателя *KM4* исключается из цепи тока, одновременно подается импульс на электромагниты защелок *УАЗ1*, *УАЗ2* и вентили закрываются, а катушки защелок оказываются отключенными.

Если температура в теплице превысит 28 °С, замкнутся контакты термометра *SK1*, оживится реле *KL2* и замкнет цепь питания обмотки реле *KL6* или *KL7* в зависимости от положения флюгера  $\Phi$  (при установке двухсторонней вентиляции — одновременно оба реле), а реле замкнет цепь питания катушек пускателей *KM2B* или *KM3B*, которые включают электродвигатели приводов, открывающих форточки. Шайбы на тросах форточек нажмут на концевой выключатель *SQ1* или *SQ3* и остановят двигатели, оставляя форточки открытыми.

Когда температура понизится до 28 °С, цепь питания реле *KL2* разорвется, контакты его в цепи реле *KL6* и *KL7* откроются, реле *KL6* или *KL7* потеряет питание и его контакты замкнут цепь пускателя *KM2H* или *KM3H*, двигатели реверсируются, форточки закроются. После этого выключатель *SQ2* или *SQ4* отключит двигатель. При понижении температуры до аварийно низкой разомкнутся контакты датчика *SK5*; выводя из цепи тока реле *KL8*, включатся звуковой и световой сигналы.

Когда закрываются контакты реле времени *KT2* по второй программе и в случае уменьшения относительной влажности воздуха в теплице по отношению к заданной, замыкаются контакты датчика влажности *Sφ*. Реле *KL4* включает пускатель *KM1* двигателя привода насоса бака водоподогревателя и электромагнитный вентиль *УАО* системы увлажнения, и вода поступает к распылителям. Через заданное время контакты реле времени *KT2* размыкаются, реле *KL4* лишает питания пускатель и электро-

магнит вентиля УАО. Впрыск прекращается. О работе системы сигнализируют лампы *HL1...HL7*.

В ночном режиме работы контакты *KT1* разомкнуты, поэтому цепи реле *KL1* и *KL4* открыты, система увлажнения не работает, системой обогрева управляют датчики *SK2* и *SK4*. Автоматические выключатели *QF1...QF4* служат для включения и защиты двигателей.

**Оборудование типа ОРТХ** предназначено для регулирования температурного режима в хранилищах до 1000 т с активной вентиляцией и числом вентиляционных камер до двух. Технологический процесс хранения картофеля и овощей разделяется на периоды: лечебный, охлаждения, зимнего и весенне-летнего хранения.

В лечебный период (10...15 дней) залечиваются механические повреждения на поверхности клубней и корнеплодов. Вентиляция проводится 4...6 раз в сутки рециркуляционным воздухом. Температура продукции поддерживается в пределах  $15 \pm 5$  °С, а относительная влажность воздуха на уровне 85...95%.

В период охлаждения (20...40 дней) температуру продукта снижают до оптимальной ( $-1...+3$  °С), в зависимости от продукта). Вентиляция действует 4...6 раз в сутки по 15...30 мин, когда температура наружного воздуха ниже температуры продукта. В хранилищах с искусственным охлаждением вентиляция работает непрерывно, а при температуре наружного воздуха, большей температуры продукции или равной ей, включаются холодильные машины.

В зимний период вентиляция включается по программе 4...6 раз в сутки. При увеличении температуры продукта сверх нормы ее снижают, подавая смесь внутреннего и наружного воздуха. Температуру поддерживают с точностью до  $\pm 1^\circ$ . Воздухом удаляется и излишняя влага.

В весенне-летний период активное вентилирование ведут наружным воздухом в наиболее холодное время суток или воздухом, охлажденным холодильными машинами.

Автоматическое управление активной вентиляцией обеспечивает более высокую сохранность овощей и снижает их потери на 15...20% по сравнению с хранением при ручном управлении.

В технологическую схему системы автоматического управления температурой в хранилище (рис. 3.11) входят смесительный клапан 1, его подогреватель 2 и исполнительный механизм 3, приточная 4 и вытяжная 5 шахты,



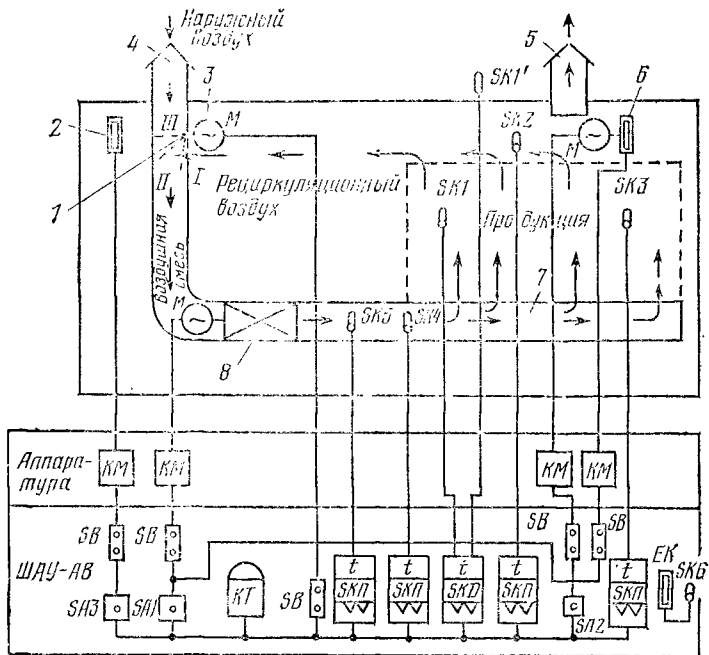


Рис. 3.11. Технологическая схема автоматического управления температурным режимом в картофеле- и овощехранилищах:

1 — смесительный клапан; 2 — подогреватель смесительного клапана; 3 — исполнительный механизм смесительного клапана; 4 — приточная шахта; 5 — вытяжная шахта; 6 — рециркуляционно-отопительный вентиляционный агрегат; 7 — вентиляционный распределительный канал; 8 — вентилятор приточной системы; ШАУ-АВ — шкаф управления; SA1...SA3 — универсальные переключатели; SB — пусковые кнопки; SK1, SK1' — датчики дифференциального терморегулятора; датчики терморегуляторов: верхней зоны SK2, массы продукта SK3, аварийной защиты SK4, пропорционального SK5, биметаллический датчик SK6 подогрева шкафа; полупроводниковые регуляторы температуры: пропорциональный SKП, дифференциальный SKД; KT — двухпрограммное реле времени; KM — магнитные пускатели; M — двигатели; EK — электронагреватель.

рециркуляционно-отопительный вентиляционный агрегат 6, вентиляционно-распределительный канал 7, вентилятор 8 приточной системы. К электрооборудованию относят шкаф управления ШАУ-АВ, универсальные переключатели SA1...SA3, кнопки управления SB, датчики дифференциального терморегулятора SK1, SK1', терморегуляторы верхней зоны SK2, массы продукта SK3, аварийной защиты SK4, пропорционального терморегулятора SK5, подогрева шкафа SK6, полупроводниковые регуляторы температуры — пропорциональный SKП, дифференциаль-

ный *SAD*, двухпрограммное реле времени *КТ*, магнитные пускатели *КМ*, двигатели *М*, электронагреватель *ЕК*.

Смесительный клапан может занимать следующие положения: 1) вертикальное — система работает на наружном воздухе; 2) промежуточное — на смеси наружного и рециркуляционного воздуха; 3) горизонтальное — на рециркуляционном воздухе. Приборы системы автоматики расположены в уплотненном шкафу, в котором терморегулятором ДТКМ-39 и электроподогревателем поддерживается положительная температура.

Управление вентиляцией может быть ручное, дистанционное и автоматическое (рис. 3.12). При ручном управлении переключатель *SA1* ставят в положение *P*, все приборы, кроме *SK4*, отключены. Приточным вентилятором, рециркуляционным отопительным агрегатом и обогревом смесительного клапана управляют при помощи кнопок *SB*. Регулятор *SK4* при снижении температуры вентиляционного воздуха в подающем воздуховоде ниже нормы отключает приточный вентилятор, чтобы не заморозить продукцию. Ручным управлением пользуются для проверки и настройки работы отдельных агрегатов и при неисправности терморегуляторов.

При автоматическом управлении в лечебный период переключатели устанавливают в следующие положения: *SA1* приточного вентилятора — *Автоматика*, *SA2* режимов хранения — *Лечебный*, *SA3* подогревателя клапана — *Нулевое*. Приточный вентилятор работает по первой программе от реле времени *КТ*. Рециркуляционно-отопительный агрегат и обогрев смесительного клапана выключены. Смесительный клапан нормально закрыт. Если необходимо просушить продукцию, смесительным клапаном и приточным вентилятором управляют вручную.

В период охлаждения переключатели устанавливают в следующие положения: *SA1* — *Автоматика*, *SA2* — *Охлаждение*. В работу вступает дифференциальный терморегулятор *SK1* типа ПТРД-2. Если температура наружного воздуха меньше, чем в массе продукта, на значение установленного дифференциала, то срабатывает *SK1* и включает промежуточное реле *KL1*. Реле *KL1* вводит в схему терморегулятор *SK3*, который, если температура в массе продукта выше нормы, включает магнитный пускатель *КМ4* и двигатель приточного вентилятора. Этот вентилятор подает воздух в массу продукта до тех пор, пока температура наружного воздуха ниже температуры массы про-

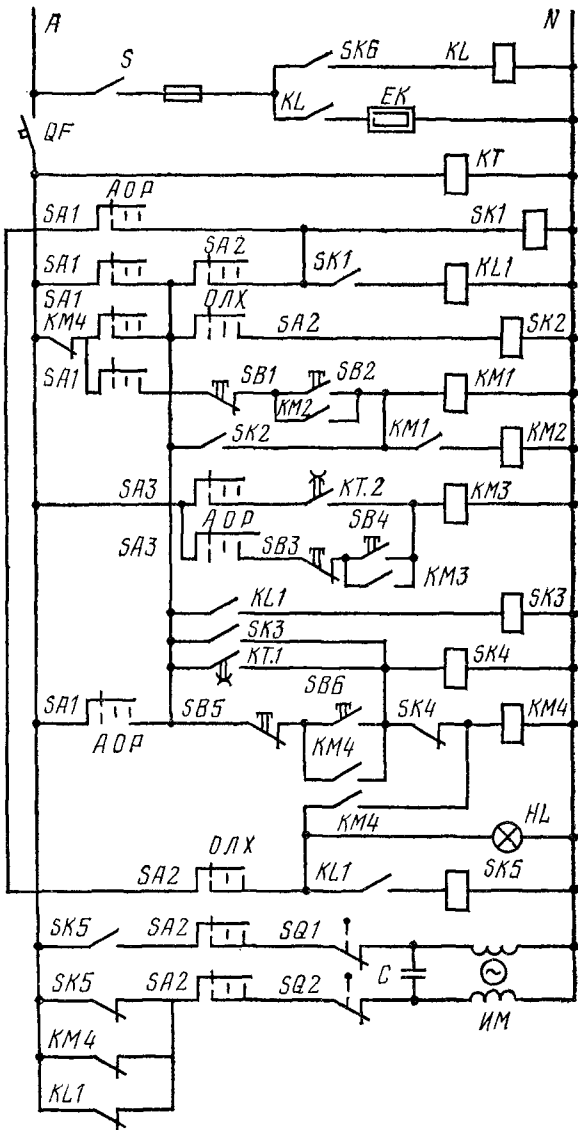


Рис. 3.12. Принципиальная электрическая схема автоматического управления температурным режимом в картофеле- и овощехранилищах.

дукта (срабатывает *SK1*) или пока не установится в продукте заданная температура. Вентилятор отключают разомкнувшиеся контакты *SK3*. При срабатывании *KM4* замыкающие блок-контакты *KM4* включают сигнальную лампу *HL* «Вентилятор включен» и через замыкающие контакты *KL1* — терморегулятор *SK5*. Одновременно расходятся размыкающие контакты *KL1* и *KM4*, дающие команду исполнительному механизму *ИМ* смесительного клапана на его закрытие при неработающем вентиляторе и отсутствии дифференциала.

Температура вентиляционного воздуха автоматически регулируется пропорциональным терморегулятором *SK5*, который подает сигнал на исполнительный механизм, поворачивающий заслонку смесительного клапана, в результате чего происходит смешение наружного и рециркуляционного воздуха. При длительном повышении наружной температуры (отсутствии дифференциала на *SK1*) вентилятор периодически включается по первой программе от реле времени через контакты *KT1*. При этом смесительный клапан закрыт и вентиляция проводится рециркуляционным воздухом, а более теплый наружный воздух в хранилище не подается. В период охлаждения используются благодаря дифференциальному терморегулятору любые кратковременные снижения температуры наружного воздуха для охлаждения продукта.

Период хранения начинается после установления в массе хранимого продукта заданной температуры. Переключатели ставят в следующие положения: *SA1* — *Автоматика*, *SA2* — *Хранение*, *SA3* — *Автоматика* (при снижении наружной температуры до минус 15 °С; при более высоких температурах включать *SA3* нецелесообразно, так как заслонка не примерзает и нет необходимости ее обогревать).

Приточный вентилятор включается 4...6 раз в сутки контактами *KT1* программного реле *KT* для снятия температурных перепадов в массе продукта. Магнитный пускатель *KM4* своими замыкающими блок-контактами *KM4* через *SA2* включает терморегулятор *SK1*, а дальше работа системы полностью аналогична работе в режиме охлаждения. Если температура в массе превысила заданную и за время, установленное программой, не снизилась до нормы, то работа вентилятора будет продолжаться (контакты *SK3* шунтируют контакты *KT1*) до установления в массе нормальной температуры и соответственно размы-

кания контактов *SK3*. При отключении вентилятора смесительный клапан автоматически закрывается.

Если температура в надзакромном пространстве станет меньше заданной, терморегулятор *SK2* включит рециркуляционно-отопительные агрегаты. С целью снижения одновременно потребляемой мощности рециркуляционно-отопительные агрегаты работают только при выключенном приточном вентиляторе, так как цепи управления агрегатов заблокированы через размыкающие контакты *KM4*. При повышении температуры до нормы отопительные агрегаты отключаются терморегулятором *SK2*. Значения температур и дифференциалов на шкале терморегуляторов устанавливаются в соответствии с рекомендациями технологов.

Интервалы между включениями вентиляционной системы могут колебаться при четырехразовой работе в пределах от 160 до 210 мин, при шестиразовой — от 160 до 180 мин. Время работы второй программы *KT2* сдвигается относительно первой на 20 мин в сторону опережения.

**Оборудование ОРТХ-М** предназначено для хранилищ вместимостью свыше 1000 т. В нем используется принцип поочередного синхронного подключения к одному терморегулятору нескольких датчиков и исполнительных органов вентиляционных установок одинакового назначения в различных отсеках хранилища (рис. 3.13). Переключающие устройства *ПУ1* и *ПУ2* на шаговых искателях поочередно синхронно на заданное время подключают датчики температуры *SK1...SK6* и исполнительные органы *ИО1...ИО6* к терморегулятору *SK*. Если в объекте управления *ОУ1...ОУ6* температура отклонилась от заданной, срабатывает терморегулятор *SK* и управляет температурой в течение времени его подключения к данному объекту. Такая схема дешевле и надежнее предыдущей.

**Автоматизированный электропривод бункеров активного вентилирования зерна** применяется в поточных линиях послеуборочной обработки. При поступлении на пункт зерна влажностью более 16%, когда сушильные установки не обеспечивают необходимой производительности, сушка зерна в бункерах целесообразнее. Воздух, направляемый в бункера, подогревают электрокалориферами на 1,5...5°. Этого достаточно, чтобы снизить относительную влажность воздуха до значения, соответствующего влажности зерна в состоянии гигроскопического равновесия (14%). В зависимости от влажности наружного воздуха включается

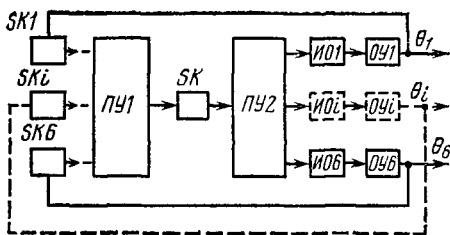


Рис. 3.13. Функциональная схема автоматического многоканального управления температурным режимом хранилищ.

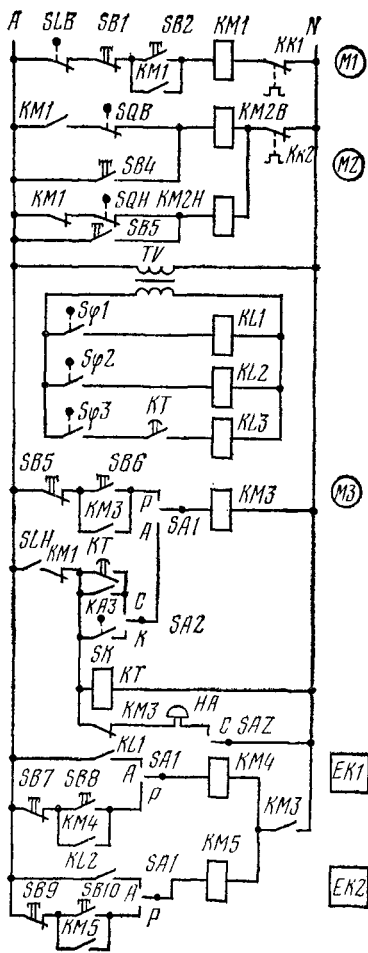
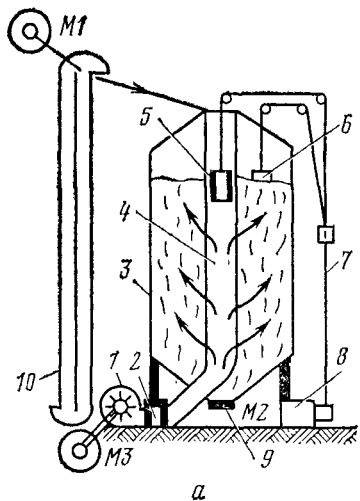


Рис. 3.14. Электропривод бункера активного вентилирования:

а — кинематическая схема; б — электрическая схема управления электроприводом; 1 — вентилятор; 2 — электрокалорифер; 3 — бункер; 4 — воздухораспределительная труба; 5 — клапан; 6 — датчик уровня зерна; 7 — трос; 8 — электропривод клапана; 9 — люк; 10 — норья.

одна или две секции воздухонагревателей *ЕК1*, *ЕК2* (рис. 3.14). Относительная влажность воздуха снижается до 65%, и сушка ведется при мягких режимах.

Вентилируемый бункер *БВ-25* вместимостью 37 м<sup>3</sup> предназначен для сушки семян зерновых и зернобобовых культур любой влажности путем вентилирования наружным или подогретым воздухом, а также для временной консервации сырого зерна перед сушкой. Очищенное сырое зерно подают в бункер вертикальной норией *10* (рис. 3.14, а). Пуск привода нории (*КМ1*, *М1*) вручную осуществляется кнопкой *SB2* (рис. 3.14, б). Одновременно блок-контакты *КМ1* включают привод (*КМ2В*, *М2*) клапана на подъем. При крайнем верхнем положении клапана конечный выключатель *SQB* отключает пускатель *КМ2В* и двигатель *М2*.

Двигатель *М1* останавливается при заполнении бункера до верхнего уровня датчиком верхнего уровня *SLB* или кнопкой *SB1*. При этом размыкающие блок-контакты *КМ1* включают привод клапана (*КМ2Н*, *М2*) на опускание. Когда клапан окажется на уровне зерна, датчик уровня зерна *SQH* отключит пускатель *КМ2Н* и двигатель *М2*.

Для автоматического пуска электрокалорифера (*М3*, *ЕК1*, *ЕК2*) переключатель *SA1* ставят в положение *А* — *Автоматика*, а переключатель *SA2* — в положение *С* — *Сушка*. Если в бункере есть зерно (закрит контакт нижнего датчика уровня *SLH*), не работает привод нории (закрит блок-контакт *КМ1*), влажность  $\varphi_3$  в зоне выхода воздуха из бункера больше 65%, тогда датчик влажности *S $\varphi$ 3* с выдержкой времени, определяемой реле времени *КТ*, подает напряжение на катушку пускателя *КМ3*, который включает привод вентилятора *М3* мощностью 5,5 кВт. Привод *М3* отключается при снижении влажности выходящего воздуха до 65%, что соответствует влажности зерна 14%. Подача воздуха должна быть не менее 440 м<sup>3</sup>/ (ч·т зерна).

В автоматическом режиме сушки относительная влажность воздуха, подаваемого в зерновой слой, не превышает 65...70%, что обеспечивает сушку зерна до состояния равновесной влажности. Снижение влажности воздуха при неблагоприятных погодных условиях с 95...98 до 65...70% достигается его подогревом в электрокалорифере мощностью 24 кВт (нагрев воздуха на 1° снижает влажность его на 5%). Относительная влажность воздуха поддерживается автоматическим включением и выключением двух

секций электрокалорифера по командам двух датчиков типа Г-2. Один из них  $S\phi 1$  включает первую секцию электрокалорифера, когда относительная влажность атмосферного воздуха больше 70%, и отключает ее, когда она станет меньше этого предела. Другой датчик  $S\phi 2$ , настроенный на 85%, управляет второй секцией. Таким образом, обе секции электрокалорифера включаются лишь при влажности воздуха, превышающей 85%.

Влажность вентилируемого зерна контролируется через каждые 24 ч сушки. В течение всего периода вентилирования практически нет необходимости в постоянном присутствии персонала (четыре бункера обслуживает один рабочий). Установки активного вентилирования позволяют свести до минимума механические воздействия на зерно и высококачественно сушить его при режимах, аналогичных естественным условиям сушки. Сушка риса, зернобобовых и бобовых культур в бункерах активного вентилирования значительно экономичнее, чем в топливных сушилках, а совместная работа этих бункеров с сушилками повышает производительность последних на 30...40%.



## Глава 4. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ И МЕХАНИЗМОВ

### 4.1. ВЫБОР ТИПА И МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ

Транспортные работы на животноводческих фермах (подвоз кормов, подстилки, вывоз молока, уборка и удаление навоза и др.) по затратам труда составляют 30...40% всех работ.

Грузопоток фермы — это количество грузов  $G_i$  (т), подлежащих перемещению в единицу времени (сутки). Производство грузопотока на расстояние  $L_i$  (км) его перемещения характеризует объем выполненной работы и определяет грузооборот (т·км):

$$\Gamma_0 = \sum G_i L_i. \quad (4.1)$$

По объему потребного грузопотока или грузооборота и по условиям работы выбирают тип, производительность и количество транспортных средств и строят графики их эксплуатации, которые определяют режим работы привода.

Суточный грузооборот транспорта

$$\Gamma_{от} = G_r L T_c m K_{п}, \quad (4.2)$$

где  $G_r$  — грузоподъемность транспортной единицы, т;  $L$  — длина пути возки, км;  $T_c$  — длительность работы транспорта, ч;  $m$  — число ездов за 1 ч;  $K_{п}$  — коэффициент простоев.

Производительность транспортных средств должна обеспечивать требуемый грузооборот фермы с учетом распорядка рабочего дня в наиболее напряженный период года. Примерный объем перевозок для крупного рогатого скота составляет 60...80, а для свиней 30...40 кг/сут на голову.

Электрифицированные транспортные средства подразделяются на стационарные и мобильные. Стационарные транспортеры — ковшовые, скребковые, ленточные, шнековые, тросошайбовые, пневматические, гидравлические — перемещают грузы в животноводческих помещениях, кормоцехах, молочных, складах. Мобильные средства — электрифицированные тележки, штабелеры, погрузчики, тракторы, вагонетки, мостовые краны, тельферы — применяются в производственных цехах, складах, хранилищах.

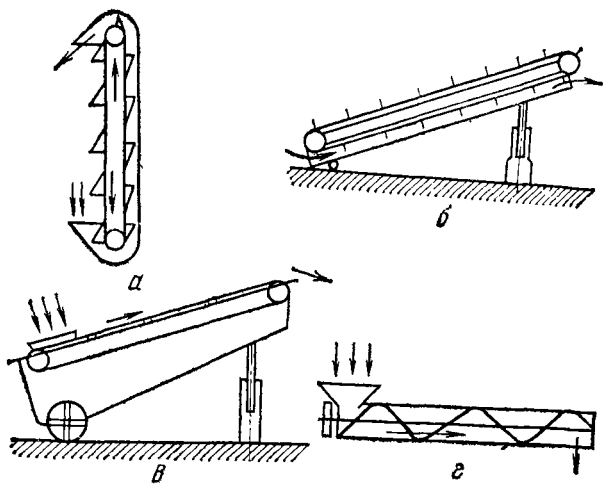


Рис. 4.1. Кинематические схемы стационарных транспортеров: а — ковшового; б — скребкового; в — ленточного; г — шнекового.

Кинематические схемы стационарных транспортеров (рис. 4.1) показывают траекторию движения сыпучих и кусковых материалов.

**Нории** (ковшовые элеваторы, рис. 4.1, а) предназначены для подъема сыпучих материалов в вертикальном направлении или с небольшими отклонениями от него. Основные узлы нории: тяговая кольцевая лента или цепи с ковшами, ведомый нижний и ведущий верхний барабаны (звездочки), кожух, направляющие, ограждающие, поддерживающие, натяжные, загрузочные устройства. Барабан приводится в движение от электродвигателя через зубчатую передачу, ременную или редуктор.

Производительность нории (кг/с)

$$Q = \varphi \frac{i}{T} v \gamma, \quad (4.3)$$

где  $\varphi$  — коэффициент наполнения ковшей (для зерна 0,75...0,90, продуктов помола 0,33; у наклонных норий коэффициент заполнения больше на 10...20%);  $i$  — вместимость одного ковша, м<sup>3</sup>;  $l$  — расстояние между ковшами, м;  $v$  — скорость движения ковшей (для зерна 2...4, для муки 1...1,5, для корнеклубнеплодов 0,3...0,5 м/с);  $\gamma$  — насыпная плотность транспортируемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

Мощность (Вт) электродвигателя для привода норий в

длительном режиме

$$P = \frac{9,81QH}{\eta_n \eta_{п}}, \quad (4.4)$$

где  $H$  — высота подъема материала, м;  $\eta_n$  — КПД норрии (для вертикального перемещения 0,5...0,7, для наклонного 0,3...0,4);  $\eta_{п}$  — КПД передачи от двигателя к норрии.

Производительность норрии возрастает с увеличением частоты вращения приводного вала до определенного предела, после чего за счет уменьшения коэффициента заполнения ковшей остается постоянной или даже несколько снижается. Момент холостого хода 1 (рис. 4.2) с повышением частоты вращения увеличивается незначительно, а момент сопротивления под нагрузкой 3 даже снижается за счет уменьшения коэффициента заполнения. Мощность холостого хода 2 непрерывно растет, а мощность при нагрузке 4 с увеличением частоты вращения повышается вначале быстро, а затем медленнее. Момент трогания холостого хода для норрии НЗ-20 составляет примерно 10% номинального момента сопротивления. Момент трогания под нагрузкой может превышать номинальный момент на 30...35%. Для облегчения пуска перед остановкой норрии закрывают заслонку загрузочного окна, а затем с выдержкой времени, необходимой для схода продукта, останавливают привод.

**Скребковые транспортеры** (рис. 4.1, б) используются для перемещения зерна, корнеклубнеплодов, силосной массы, грубых кормов, навоза. Груз по желобу перемещают скребки, укрепленные на одной или двух кольцевых цепях, движущихся со скоростью 0,25...2,2 м/с.

Производительность (кг/с) скребкового транспортера

$$Q = K_{\alpha} \varphi \gamma B H v, \quad (4.5)$$

где  $K_{\alpha}$  — коэффициент, учитывающий степень заполнения скребков в зависимости от угла наклона транспортера  $\alpha$  (град) к горизонту: для легкосыпучих грузов  $K_{\alpha} = 1 - 0,0175\alpha$ , для плохо сыпучих грузов  $K_{\alpha} = 1,05 - 0,01\alpha$ ;  $\varphi$  — коэффициент заполнения — 0,6...0,8;  $\gamma$  — насыпная плотность груза (кг/м<sup>3</sup>): корнеклубнеплодов 450, зерна 450...750,

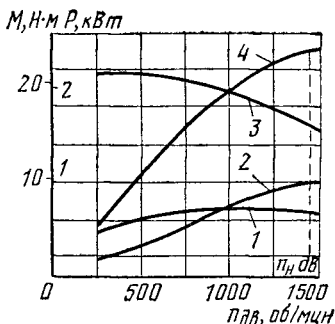


Рис. 4.2. Механические характеристики зерновой норрии НЗ-20:

1 — момент холостого хода; 2 — мощность холостого хода; 3 — нагрузочный момент; 4 — мощность при нагрузке.

силоса 270, зерновой дерти 370...630, навоза 1000;  $B$  — ширина скребков, м;  $H$  — высота скребков, м;  $v$  — скорость движения скребков (м/с): для корнеклубнеплодов 0,25...0,5, для мучных кормов и навоза 0,5...1, для зерна 1...2,2 м.

Мощность (Вт), необходимая для привода скребкового транспортера,

$$P = 9,81Q (H + f_c L \cos \alpha) \eta_{\text{п}}^{-1}, \quad (4.6)$$

где  $H$  — высота подъема продукта, м;  $f_c$  — коэффициент сопротивления движению (табл. 4.1);  $L$  — длина транспортера, м.

#### 4.1. Значения коэффициента сопротивления движению

| Тип цепи транспортера | Производительность, кг/с        |     |      |     |      |
|-----------------------|---------------------------------|-----|------|-----|------|
|                       | 1,25                            | 2,5 | 5    | 7,5 | 10   |
|                       | Коэффициент сопротивления $f_c$ |     |      |     |      |
| Втулочно-роликовая    | 2,25                            | 1,7 | 1,3  | 1,1 | 1,05 |
| Крючковая             | 4,2                             | 3,0 | 2,25 | 1,9 | 1,6  |

**Ленточные транспортеры** (рис. 4.1, б) используют для перемещения сыпучих, кусковых, штучных грузов, различных видов кормов в горизонтальном или наклонном направлении. Максимально допустимый угол подъема составляет  $20^\circ$  для зерна ржи, пшеницы, овса, ячменя, до  $12^\circ$  для гороха, кукурузы, до  $24^\circ$  для муки, отрубей, до  $22^\circ$  для корнеплодов, до  $20^\circ$  для силоса и других кормов.

Приводная станция ленточного транспортера состоит из электродвигателя, редуктора ведущего барабана, а натяжная станция — из барабана и натяжного устройства. Лента поддерживается равномерно расположенными по длине транспортера роликами. Выбор типа передачи (редуктор, ременная, клиноременная, зубчатая) определяется передаточным числом и условиями монтажа.

Производительность транспортера (кг/с)

$$Q = \gamma v F, \quad (4.7)$$

где  $\gamma$  — насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  — скорость движения ленты, м/с;  $F$  — площадь поперечного сечения слоя материала на ленте, м<sup>2</sup>.

Скорость движения ленты выбирают в зависимости от вида перемещаемого материала: для пшеницы, ржи, кукурузы 3...4 м/с, овса, ячменя, подсолнечника 2...3, дробленого зерна 1,2...1,5, муки 1...1,3, отрубей 1,5...2, корнеплодов 0,3...0,4 м/с.

Мощность двигателя (Вт), необходимая для привода ленточного транспортера, определяется суммарным сопротивлением движению  $W$  (Н) ленты со скоростью  $v$  (м/с):

$$P = Wv\eta_{\Pi}^{-1}, \quad (4.8)$$

где

$$W = W_{\Pi} + W_{\zeta} + W_{\text{заг}} + W_{\text{разг}}. \quad (4.9)$$

Сопротивление движению на прямолинейном участке транспортера по настилу

$$W_{\Pi. \Pi} = g(q + q_{\text{л}}) L (\omega_{\Pi} \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (4.10)$$

где  $g$  — 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $q$  — масса груза, приходящаяся на 1 м длины  $L$  (м) транспортера, кг/м;  $q_{\text{л}}$  — погонная масса ленты, кг/м;  $\alpha$  — угол подъема.

Коэффициент сопротивления движению по настилу  $\omega_{\Pi}$  равен коэффициенту трения  $f$  между лентой и стальным настилом (0,35...0,6) и деревянным (0,4...0,7). При определении сопротивления холостой ветви  $q=0$ .

Сопротивление движению на прямолинейном участке транспортера по роликовым опорам

$$W_{\Pi. \text{р}} = [g(q + q_{\text{л}} + q_{\text{р}}) \omega_{\text{р}} \cos \alpha + g(q + q_{\text{л}}) \sin \alpha] L, \quad (4.11)$$

где  $q_{\text{р}}$  — погонная масса роликов грузовой ветви, кг/м;  $\omega_{\text{р}}$  — коэффициент сопротивления движению ленты по роликам определяют экспериментальным путем: при плоской ленте 0,018...0,035 и желобчатой 0,02...0,04. Большие значения для худших условий работы.

Сопротивление движению при огибании барабанов

$$W_{\zeta} = \varepsilon S_{\text{наб}} k_{\zeta}, \quad (4.12)$$

где  $\varepsilon=0,06...0,09$  — коэффициент местного сопротивления;  $S_{\text{наб}}$  — тяжение набегающей ветви ленты, Н;  $k_{\zeta}$  — число барабанов.

Сопротивление от загрузки материала на ленту определяется производительностью  $\Pi$  (т/ч), скоростью ленты  $v_{\text{л}}$  и начальной скоростью  $v_{\text{н}}$  груза:

$$W_{\text{заг}} = 0,278\Pi (v_{\text{л}}^2 - v_{\text{н}}^2)/v_{\text{л}}. \quad (4.13)$$

Сопротивление от плужкового сбрасывателя пропорционально ширине  $B$  ленты:

$$W_{\text{разг}} = 2,7gqB.$$

**Шнеки** (рис. 4.1, г) применяют для транспортирования зерна, зернофуражных продуктов, корнеплодов, навоза и смешивания продуктов размола, комбикормовых смесей, сырого и запаренного картофеля, влажных кормов, силоса,

сена в горизонтальном, наклонном и вертикальном направлениях. Внутри кожуха шнека в подшипниках вращается вал с винтообразной лентой, приводимый в действие от электродвигателя через плоско- или клиноременную передачу. Винт перемещает массу от загрузочного окна до выгрузного люка. Благодаря простоте устройства и эксплуатации, высокой производительности и надежности шнеки нашли широкое применение в кормоцехах, кормохранилищах, кормораздатчиках.

Производительность шнека (кг/с)

$$Q = 0,25\pi (D^2 - d^2) sn_{ш} \gamma k_v \psi C, \quad (4.14)$$

где  $D$  — наружный диаметр винта, м;  $d$  — диаметр вала винта, м;  $s$  — шаг винта, м;  $n_{ш}$  — частота вращения вала шнека, об/с;  $\gamma$  — насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $k_v = v_m/v_{ш}$  — коэффициент отставания осевой скорости  $v_m$  материала от осевой скорости  $v_{ш}$  образующей шнека, зависит от рода грузов и от быстроходности.  $k_v = 0,9 \dots 0,6$ , большие значения выбирают для быстроходных шнеков;  $\psi$  — коэффициент заполнения винта, в расчетах для зерна принимается  $0,25 \dots 0,35$ , для муки —  $0,25 \dots 0,30$ , для корнеплодов —  $0,4$ , для полужидких кормов-смесей —  $0,9 \dots 1,0$ , для навоза —  $0,6 \dots 0,8$ ;  $C$  — коэффициент снижения производительности с увеличением угла  $\alpha$  наклона шнека к горизонту:

|                |    |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|----------------|----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $\alpha^\circ$ | —0 | 5   | 10  | 15   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90  |
| $C$            | —1 | 0,9 | 0,8 | 0,71 | 0,65 | 0,58 | 0,52 | 0,48 | 0,44 | 0,39 | 0,34 | 0,3 |

Производительность шнека увеличивается с ростом частоты вращения до максимума (рис. 4.3), после которого уменьшается благодаря снижению коэффициента наполнения шнека. Наибольшая производительность характерна для значительных частот вращения шнеков с меньшими диаметрами. Требованиям высокой частоты вращения отвечает привод с одноступенчатой клиноременной передачей и с непосредственным соединением.

Мощность электродвигателя привода шнека, Вт

$$P = 9,81 kQ (f_c L + H) \eta_{п}^{-1}, \quad (4.15)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий угол наклона транспортера:

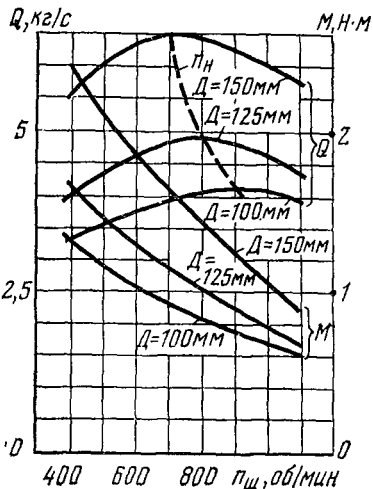
|                |    |      |      |     |      |     |     |
|----------------|----|------|------|-----|------|-----|-----|
| $\alpha^\circ$ | 20 | 25   | 30   | 35  | 40   | 45  | 90  |
| $k$            | 1  | 1,05 | 1,13 | 1,2 | 1,32 | 1,4 | 2,5 |

$f_c$  — коэффициент сопротивления перемещению материала по кожуху: для зерна, продуктов помола, кормов  $1,2$ , для навоза  $2,5 \dots 4$ ;  $L$  — длина транспортера, м;  $\eta_{п}$  — КПД передачи от вала двигателя к шнеку.

**Тросошайбовые транспортеры** применяются как составная часть раздатчика сухих сыпучих комбикормов птицам, свиньям, крупному рогатому скоту. Тросошайбовый кор-

Рис. 4.3. Характеристики зернового ленточного шнека:

$Q$  — производительность;  $M$  — момент сопротивления;  $n_n$  — номинальная частота вращения



мороздатчик состоит из бункера дозатора, электропривода, трубчатого транспортера с тросошайбовым рабочим органом и набора кормушек. Трубчатый транспортер позволяет делать повороты в любом направлении на любой угол, может транспортировать корм на десятки метров, на любом уровне без занятия полезной площади пола.

Производительность тросошайбового транспортера (кг/с)

$$Q = \gamma F v k_1 k_2, \quad (4.16)$$

где  $\gamma$  — плотность транспортируемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $F = 0,25\pi(D^2 - d^2)$  — площадь поперечного сечения транспортируемого груза, м<sup>2</sup>;  $D$  — внутренний диаметр трубопровода — 0,025...0,030 м;  $d$  — диаметр троса, м;  $v$  — скорость транспортирования 0,1...0,4 м/с;  $k_1$  — коэффициент заполнения желоба — 0,8...0,9;  $k_2$  — коэффициент, учитывающий уплотнение груза — 1,05...1,1.

Мощность привода тросошайбового транспортера (Вт)

$$P = 9,81Q(H + f_B L_B + f_T L_T) \eta_{п}^{-1}, \quad (4.17)$$

где  $H$  — высота подъема продукта, м;  $f_B, f_T$  — коэффициенты сопротивления передвижению по вертикали и горизонтали, зависят от коэффициента трения корма при движении вдоль трубы;  $L_B, L_T$  — суммарная длина труб участков вертикального и горизонтального перемещения, м;  $\eta_{п}$  — КПД передачи.

## 4.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ

Тросошайбовые транспортеры применяются в линиях транспортировки и раздачи сухих кормов на промышленных комплексах по откорму свиней, крупного рогатого скота, птицы. Технологические схемы различных тросошайбовых транспортеров имеют много общих узлов и

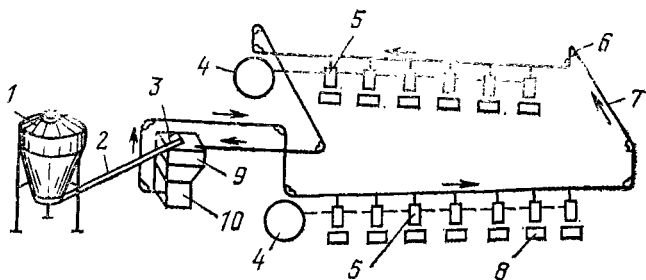


Рис. 4.4. Технологическая схема тросошайбового кормораздатчика:  
 1 — бункер; 2 — шнек; 3 — привод шнека; 4 — привод дозаторов; 5 — дозаторы; 6 — поворотный узел; 7 — кормопровод; 8 — кормушки; 9 — промежуточный бункер приводной установки; 10 — приводная установка.

отличаются лишь отдельными деталями: длиной и формой контура, числом дозаторов, самокормушек, наружных бункеров, электродвигателей, конструктивным исполнением отдельных узлов.

Кормораздатчики КШ-0,5 с индивидуальными или групповыми дозаторами работают по следующей технологической схеме (рис. 4.4). Комбикорм из наружного бункера 1 транспортируется в промежуточный бункер 9 с приводной установкой 10 шнеком 2 с приводом 3. В некоторых установках в качестве питателя используется тросошайбовый транспортер ТШ-2.000. Из бункера 9 корм шайбовым тросом перемещается по кормопроводу 7 и через отверстия в нем последовательно заполняет индивидуальные или групповые дозаторы 5. После заполнения последнего дозатора его сигнализатор уровня выключает тросошайбовый кормораздатчик и включает приводы 14 дозаторов, которые высыплют корм в кормушки 8. После опорожнения дозаторов они закрываются реверсивным приводом 4. При опорожнении бункера 9 приводной установки привод 3 шнека 2 автоматически включается, а при заполнении отключается. В бункере 1 должен быть запас корма. В кормораздатчиках КШ-0,5 предусмотрено устройство для увлажнения комбикорма в кормушках, состоящее из водопровода и запорного вентиля с электромагнитным приводом, который открывается после заполнения дозаторов комбикормом и закрывается при срабатывании привода дозаторов. Дозировка воды регулируется продолжительностью открытого состояния вентиля.

Управление тросошайбовыми кормораздатчиками КШ-



0,5 и КШ-0,5-0,9 (рис. 4.5) может быть осуществлено в ручном, автоматическом и наладочном режимах. При подаче напряжения на схему управления автоматическим выключателем *QF* включается программное реле времени *КТП*, обеспечивающее включение и отключение кормораздатчика в заданное время. Для осуществления автоматического режима управления переключатель *SA1* ставят в положение 3 («Автоматика»), переключатель *SA2* — в положение 2 («Автоматика»), включается цепь реле времени *КТ2*, дозирующее увлажнение. Программное реле времени *КТП* подает сигналы на включение установки. При отсутствии комбикорма в промежуточном бункере 9 (рис. 4.4) контакты датчиков нижнего *SLH2* и верхнего *SLB2* уровней замкнуты, магнитные пускатели *KM1* и *KM3* включают электродвигатели загрузочного шнека *M1* и вибратора бункера-накопителя *M3*, которые работают до тех пор, пока бункер 9 не заполнится до верхнего уровня *SLB*. При заполнении последнего дозатора 5 срабатывает его сигнализатор уровня *SL*. Реле времени *КТ1* получает питание и размыкающим контактом *КТ1* с выдержкой времени, необходимой для освобождения кормопровода от корма, при замкнутом контакте *КТП.2* отключает электродвигатель *M2* кормораздатчика и вибратора приводной установки *M6*, а замыкающим контактом включает привод дозаторов *M4* и *M5* на открытие. При полном открытии дозаторов срабатывают конечные выключатели *SQ3.1* и *SQ5.1*, отключая привод дозаторов. Одновременно замыкаются контакты *SQ3.2* и *SQ5.2*, включая реле *KL1* и *KL2*, которые включают привод дозаторов *KM4H* и *KM5H* на закрытие. При полном закрытии дозаторов привод отключается конечными выключателями *SQ1.1* и *SQ6.1*.

При замыкании контактов программного реле времени *КТП.2* получает питание реле времени *КТ2* и своим замыкающим контактом включает электромагнит *УА*, который открывает вентиль. Вода поступает в кормушки. Через 4...7 мин размыкающий контакт *КТ2* разрывает цепь питания электромагнита *УА*. Вентиль закрывается.

При обрыве, ослаблении или чрезмерном нажатии троса отключается электродвигатель *M2* кормораздатчика размыкающими контактами конечного выключателя, приводимого в действие датчиком натяжения троса *SQ2.1*. Одновременно замыкается контакт *SQ2.2*, срабатывает реле *KL3* и включаются сигнальная лампа *HL4* и звонок *HA2*.

Для управления в ручном режиме переключатели *SA1*

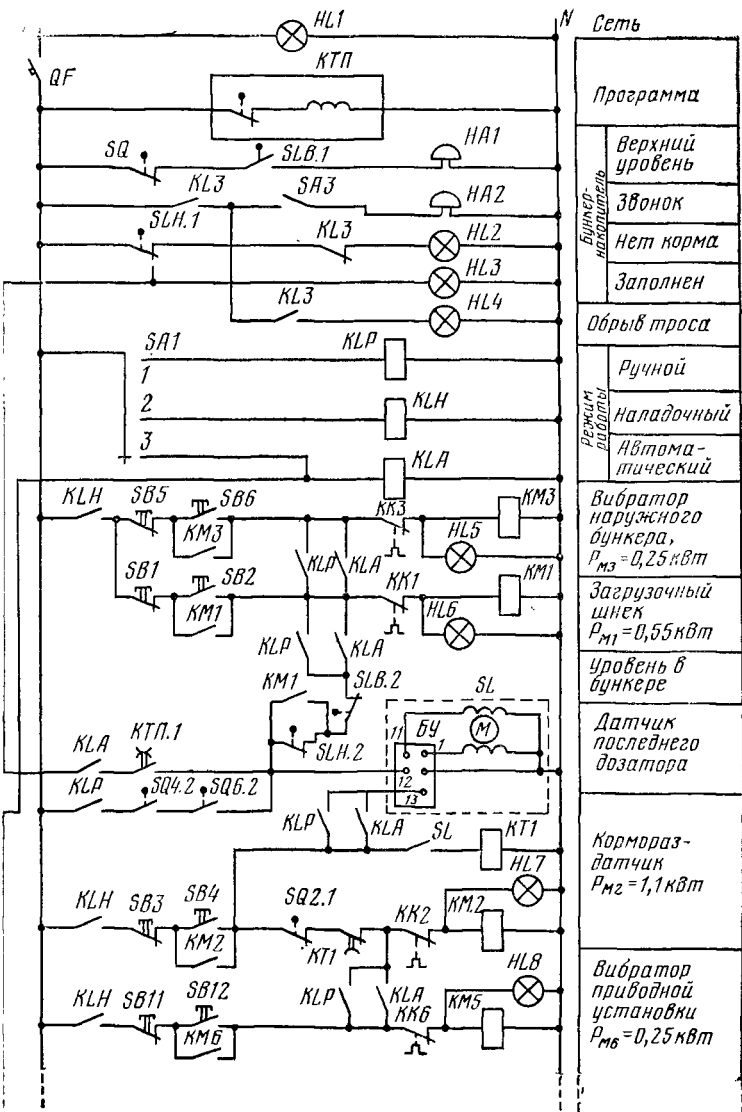
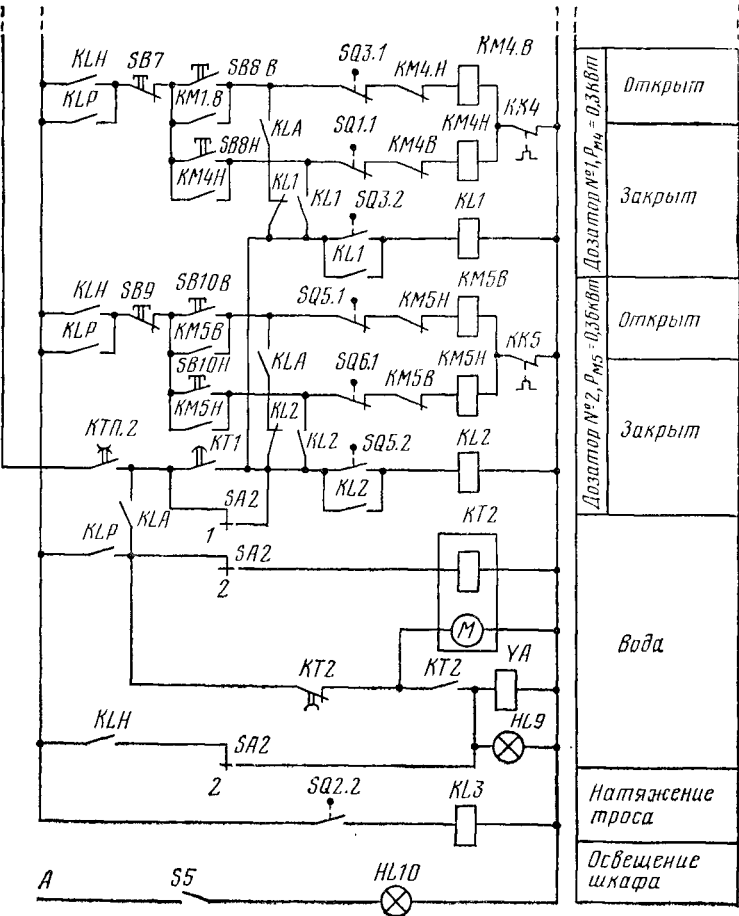


Рис. 4.5. Принципиальная схема управления тросошайбовыми транспортерами КШ-0,5, КШ-0,5-0,9.



|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Dозатор №1, P <sub>н4</sub> = 0,3кВт  | Открыт |
|                                       | Закрыт |
| Dозатор №2, P <sub>н5</sub> = 0,35кВт | Открыт |
|                                       | Закрыт |
| Вода                                  |        |
| Натяжение троса                       |        |
| Освещение шкафа                       |        |

Продолжение рисунка 4.5

и SA2 устанавливают в положение 1. Включение электродвигателей кормораздатчика M2, шнека M1, вибраторов приводной установки M6 и бункера M3 осуществляется через замкнутые контакты KLP, SQ4.2, SQ6.2. Контакты SQ4.2 и SQ6.2 замкнуты при полностью закрытых дозаторах, что обеспечивает блокировку от включения привода кормораздатчика и загрузочного шнека при открытых дозаторах. Включение приводов дозаторов в ручном режи-

ме осуществляется нажатием кнопок *SB8B*, *SB8H*, *SB10B*, *SB10H*.

В наладочном режиме работы переключатели *SA1* и *SA2* устанавливаются в положение 2.

**Канатно-скреперные установки** на животноводческих фермах используют для удаления навоза. Их основные узлы: двигатель, понижающий редуктор, кольцевой канат, ведущий барабан, натяжные ролики и скреперы, прикрепленные к канату и перемещающиеся в навозоприемных каналах.

Приводной двигатель включается реверсивным магнитным пускателем *КМВ*, *КМН* (рис. 4.6). Напряжение на схему подается автоматическим выключателем *QF* и выключателем *SA*. Установка на ход «Вперед» пускается автоматически программным реле времени *КТП*, а вручную кнопкой пуск вперед *SB2B*. При этом в цепь тока вводится катушка магнитного пускателя *КМВ*, блок-контакты которого шунтируют кнопку *SB2B* и контакты *КТП.2*, а главные контакты подают напряжение на двигатель. Трос наматывается на барабан и тянет первый скребок вдоль навозного канала по направлению к выгрузному окну, а второй скребок по другой канавке передвигается от второго выгрузного окна в исходное положение. Так как у скрепера задняя стенка качающаяся, то навоз при обратном ходе не сгребается. Как только первый скребок выгружает навоз в окно, упор на тросе нажимает на конечный выключатель *SQ1*, размыкающие контакты которого открываются и останавливают двигатель, а замыкающие создают цепь тока реле времени *КТ*.

По истечении времени, необходимого для остановки двигателя, закрываются замыкающие контакты *КТ*, после чего ток поступает в катушку пускателя *КМН*. Блок-контакты *КМН* шунтируют контакты *КТ*, а главные контакты подключают к сети двигатель на реверсивный ход. Теперь уже второй скребок транспортирует навоз ко второму выгрузному окну, и когда он проваливается в окно, второй упор нажимает на конечный выключатель *SQ2*, размыкающие контакты которого останавливают двигатель, а замыкающие создают цепь тока реле времени. Реле *КТ* с выдержкой времени закрывает свои контакты, и поскольку размыкающие контакты *SQ1* закрыты, а размыкающие контакты *SQ2* открыты, вводит в цепь тока катушку *КМВ* магнитного пускателя. Далее цикл работы скреперной установки повторяется. Остановка двигателя происходит автоматически

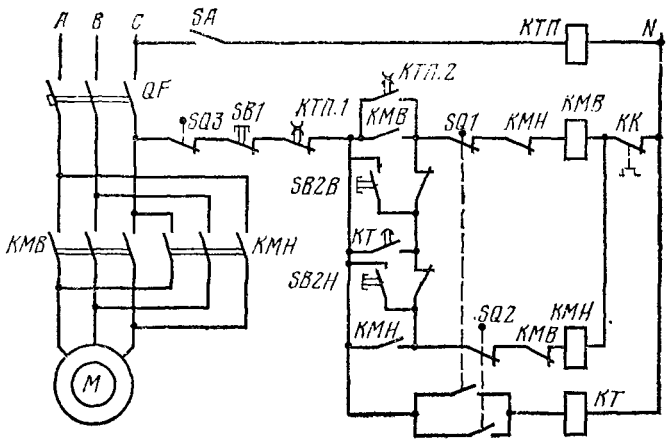


Рис. 4.6. Схема автоматического управления канатно-скреперной установкой.

при размыкании контактов *КТП.1*, вручную—при нажатии кнопки *SB1*.

При излишнем натяжении каната двигатель останавливает конечный выключатель *SQ3*. От перегрузок двигатель защищен тепловыми реле, при коротких замыканиях двигатель отключается автоматическим выключателем *QF* по команде электромагнитного расцепителя. Размыкающие контакты *КМВ* и *КМН* осуществляют взаимную блокировку пускателей *КМВ* и *КМН*.

### 4.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Кормораздатчик *КЭС-1,7* (рис. 4.7) конструкции ЦНИПТИМЭЖ с массой 800 кг, вместимостью бункера 1,7 м<sup>3</sup>, скоростью передвижения 0,5 м/с предназначен для раздачи готовых полнорационных кормовых смесей влажностью 60...70% из концентрированных кормов, измельченной зеленой массы, корнеклубнеплодов и различных отходов растениеводства на свинофермах, откармливающих до 24 000 голов в год. Производительность (т/ч) кормораздатчика на сухих кормах 16...37, на влажных кормосмесях 31...62.

Автоматизированная линия с кормораздатчиком *КЭС-1,7* имеет минимум ручных операций. Оператор лишь включает и выключает механизмы загрузки корма в бункер кор-

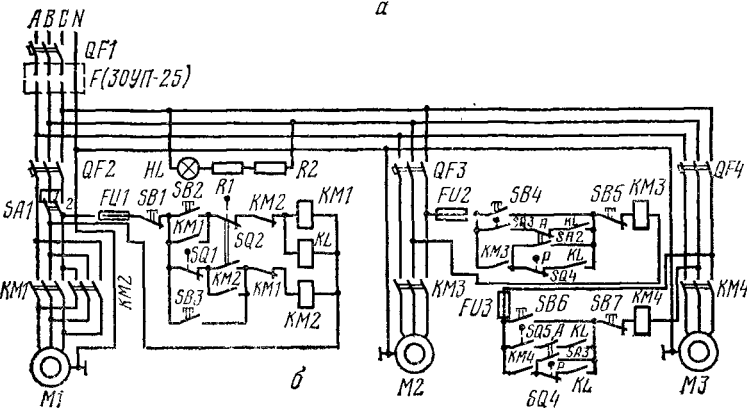
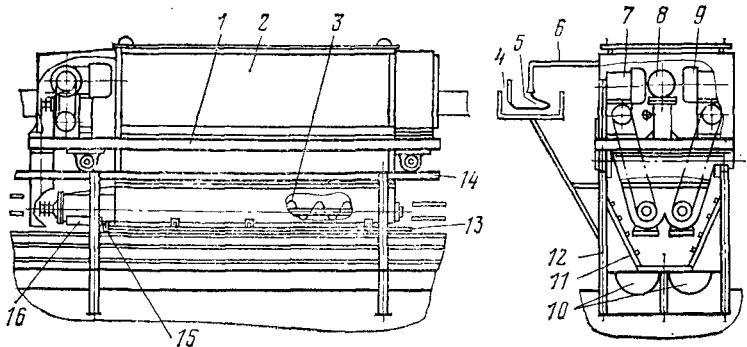


Рис. 4.7. Электропривод кормораздатчика КЭС-1,7:  
 а — кинематическая схема; б — электрическая схема управления приводом;  
 1 — тележка; 2 — бункер; 3 — шнек; 4 — кабельный лоток; 5 — кабель; 6 — псевдоток; 7 и 9 — электродвигатели механизмов раздачи кормов; 8 — электродвигатель механизма передвижения; 10 — кормушки; 11 — ограждение; 12 — стойка эстакады; 13 — тяга; 14 — уголок; 15 — заслонка; 16 — выгрузное окно.

мораздатчика и включает электропривод передвижения. Последующая раздача идет автоматически, и оператор может выполнять сопутствующие работы или управлять второй линией раздачи. При поломке кормораздатчика его легко заменить резервным, что затруднено при использовании стационарных кормораздатчиков РКС-3000М.

Автоматизированная линия включает средства доставки и загрузки кормов и электромобильный кормораздатчик с кабельным лотковым питанием, передвигающийся по рельсам эстакады. В зависимости от конкретных условий можно кормосмеси доставлять в бункер КЭС-1,7 одним из следую-

щих способов: автосамосвалом по вспомогательной эстакаде с выгрузкой непосредственно в бункер КЭС-1,7 через направляющую воронку, автосамосвалом без эстакады в приемный бункер, из которого транспортерами загружать КЭС-1,7, кормораздатчиком КУТ-3,0А и шнеком в КЭС-1,7, установкой пневмоподачи кормов, установкой гидроподачи кормов винтовыми насосами. Первый вариант имеет минимальные приведенные затраты — 0,12 р/т. Последующие варианты используют в случае, если нельзя использовать первый или в хозяйстве уже имеется другая установка пневмо- или гидроподачи.

Кормораздатчик КЭС-1,7 предназначен для раздачи в две рядом расположенные кормушки при движении над кормушками. Корм из бункера 2 (рис. 4.7, а) подается двумя шнеками 3 к выгрузным окнам 16 с заслонками 15. На раме тележки 1 установлены три электропривода: один 8 для передвижения с двигателем 4А71А2СХЛ1 мощностью 0,75 кВт, два 7 и 9 для шнеков с двигателями 4А90Л4СХЛ1 мощностью 2,2 кВт.

Установка индивидуальных электроприводов позволяет использовать простую и надежную кинематическую схему передачи мощности. Норму выдачи корма регулируют частотой вращения шнеков (33,5; 41,3; 50,3; 59,6; 73,5; 89,4 об/мин).

Напряжение сети 380/220 В подается к электродвигателям по лотковой системе 4 и 5 кабельного питания. Используется кабель КРПТ-3×1,5+1×1 длиной 80 м. Поводок 6 кабеля изготавливают из дюймовой трубы с раструбовым выходом с достаточным радиусом закругления, исключая излом медных жил кабеля. Управление осуществляется полуавтоматически с пульта управления на кормораздатчике.

Для пуска электропривода передвижения «Вперед» включают автоматические выключатели  $QF1$ ,  $QF2$ ,  $QF3$ ,  $QF4$ . Переключатель  $SA1$  ставят в положение 1 или 2, в зависимости от того, в какую сторону необходимо раздавать корм от загрузочного устройства, расположенного в средней части свинарника.  $SA2$  и  $SA3$  ставят в положение А. Нажимают кнопку  $SB2$ , включается привод передвижения  $KM1$ ,  $M1$ . Одновременно оживляется промежуточное реле  $KL$ , которое подготавливает к действию цепи питания катушек пускателей  $KM3$  и  $KM4$ . При подходе тележки к началу фронта кормления упоры приводят в действие конечные выключатели  $SQ3$  и  $SQ5$ , включаются приводы  $M2$

и МЗ. Шнеки раздают корм в два ряда кормушек. В конце фронта кормления упор воздействует на конечный выключатель SQ2. Привод передвижения М1 реверсируется, приводы шнеков М2 и МЗ останавливаются. У места погрузки упор, действуя на конечный выключатель SQ1, останавливает привод передвижения КМ2, М1. Цикл раздачи закончен.

Мощность двигателя (Вт) для передвижения вагонетки

$$P_{\text{дв}} = F_{\text{т}} v \eta_{\text{п}}^{-1}, \quad (4.18)$$

где  $F_{\text{т}} = F_0 + F_{\text{кр}} + F_i$  — тяговое сопротивление транспортной единицы, Н;  $F_0$  — сопротивление на прямолинейном горизонтальном пути, Н;  $F_{\text{кр}}$  — дополнительное сопротивление на закруглениях пути, Н;  $F_i$  — дополнительное сопротивление на подъеме, Н;  $v$  — скорость движения транспортной единицы, м/с;  $\eta_{\text{п}}$  — коэффициент полезного действия передачи.

Основное сопротивление зависит от трения качения в точке соприкосновения колес с поверхностью рельса дороги, трения реборд колес о рельс, трения в осях колес, от конструкции ходовых колес и скорости движения. Оно определяется по формуле

$$F_0 = f_0 m, \quad (4.19)$$

где  $f_0$  — коэффициент сопротивления передвижению транспорта на прямолинейном горизонтальном участке пути, Н/кг;  $m$  — масса транспортной единицы с грузом, кг.

Значения коэффициента  $f_0$  для условий внутриусадбного транспорта находятся в пределах от 0,12 до 0,20 Н/кг, а для условий дорог приведены ниже.

| Вид и состояние дороги                              | $f_0$ , Н/кг |
|---|--------------|
| Асфальтированная и бетонированная . . .             | 0,10...0,20  |
| Деревянная брусчатая или из досок ледяная . . . . . | 0,15...0,20  |
| Шоссе в хорошем состоянии . . . . .                 | 0,18...0,20  |
| Булыжная мостовая . . . . .                         | 0,20...0,25  |
| Загрязненное шоссе . . . . .                        | 0,25...0,30  |
| Снежная дорога . . . . .                            | 0,35...0,40  |
| Грунтовая . . . . .                                 | 0,45...0,80  |

Основное сопротивление для лебедок транспортных средств можно найти исходя из схемы движения перемещаемого предмета. Например, у лебедки тельфера, работающей на подъем груза, основное сопротивление определяется массой груза, то есть  $F_0 = 9,81 m_{\text{гр}}$ , а мощность двигателя — массой и скоростью подъема груза. Когда лебедка работает



на волочение груза, основное сопротивление определяется массой груза и коэффициентом трения материала груза или его тары по полу.

Дополнительное сопротивление движению  $F_{кр}$  на криволинейном участке пути возникает из-за трения реборд колес о рельсы. Это относится к вагонеткам узкоколейных дорог с колесными парами, имеющими жесткую базу, и к грузовым тележкам подвесных дорог с жесткой базой. Значения  $F_{кр}$  тем больше, чем больше база тележки, выше скорость и меньше радиус кривизны участка пути:

$$F_{кр} = f_k m, \quad (4.20)$$

где  $f_k$  — коэффициент дополнительного сопротивления на закруглении пути, Н/кг.

Для подвесных дорог с симметричной конструкцией ходовых частей вагонеток и диаметром колес 100 мм

$$f_k = 0,25/R, \quad (4.21)$$

а для несимметричных

$$f_k = 0,35/R, \quad (4.22)$$

где  $R$  — радиус закругления дороги, м.

Дополнительное сопротивление на подъеме находят из диаграммы сил, действующих на тележку:

$$F_i = 9,81m \sin \alpha, \quad (4.23)$$

где  $\alpha$  — угол подъема дороги.

При движении под уклон составляющая  $F_i$  направлена в сторону движения и будет не сопротивлением, а тяговой силой. Поэтому в формулу расчета значение  $F_i$  в этом случае войдет со знаком минус.

При выборе мощности асинхронного двигателя во внимание принимается прежде всего основное сопротивление  $F_0$ ; последующую проверку двигателя на перегрузку ведут с учетом большего дополнительного сопротивления ( $F_i$  или  $F_{кр}$ ) или обоих сопротивлений, если закругление выполнено на подъеме. В случае длительной работы двигателя на подъеме мощность асинхронного двигателя выбирают по сумме сопротивлений  $F_0 + F_i$  и делают проверку на перегрузку с учетом  $F_{кр}$ . Опыт показывает, что при симметричной конструкции ходовой части вагонеток создается лучшее распределение давления на ходовые колеса и требуется приводной двигатель меньшей мощности.

Скорость передвижения транспортной единицы в зависимости от условий работы выбирают в пределах от 0,3 до 1,5 м/с.

Выбранный асинхронный двигатель проверяют по условиям разбега, с тем чтобы пусковой момент двигателя был на  $0,25 M_n$  больше момента трогания транспортной единицы. Момент трогания  $M_{тр}$  и тяговое усилие при трогании вагонетки  $F_{тр}$  (Н) зависят от коэффициента удельного сопротивления при трогании ( $f_{тр}=0,17...0,35$  Н/кг), коэффициента дополнительного сопротивления на закруглении пути  $f_k$ , дополнительного сопротивления  $F_i$  на подъеме и массы  $m$  транспортной единицы с грузом:

$$M_{тр} = \frac{F_{тр}r}{i\eta_n} = \frac{[(f_{тр} + f_k) m + F_i] r}{i\eta_n}, \quad (4.24)$$

где  $M_{тр}$  — момент трогания, приведенный к валу двигателя, Н·м;  $r$  — радиус тягового барабана или ведущего колеса электровоза, м;  $i = n_{дв}/n_6$  — передаточное число от вала двигателя к валу барабана или оси ведущего колеса.

При трогании и движении вагонетки на прямолинейном горизонтальном пути  $f_k=0$ ,  $F_{кр}=0$ ,  $F_i=0$ .

В случае применения электровоза или самоходной тележки с электроприводом необходимо проверить привод на буксование ведущих колес. Буксование стальных колес начинается при тяговом усилии, равном примерно 25% сцепного веса электровоза; поэтому должно соблюдаться условие

$$F_{т. \text{букс}} = 0,25 \cdot 9,81 m_{эл} \cos \alpha > F_{т. \text{max}}, \quad (4.25)$$

где  $F_{т. \text{букс}}$  — тяговое усилие, при котором возможно буксование, Н;  $m_{эл}$  — масса электровоза, приходящаяся на ведущие колеса, кг;  $\alpha$  — угол подъема дороги;  $F_{т. \text{max}} = M_{\text{max}} i \eta_n / r$  — максимальное тяговое усилие электровоза, Н;  $M_{\text{max}}$  — максимальный момент, развиваемый двигателем, Н·м.

**Электротележку ЭК-2МА** (масса 1368 кг, грузоподъемность 2000 кг, скорость передвижения 10...14 км/ч) используют для перевозки грузов внутри цехов, складов и между цехами по асфальтированным, булыжным и ровным грунтовыми дорогам. Все узлы электротележки смонтированы на стальной сварной раме. Сверху рама выстлана листовым рифленным железом, а снизу к ней подвешена аккумуляторная батарея *GB* (рис. 4.8) с независимой амортизацией. Передние колеса электротележки управляемые, задние ведущие. Приводная кинематическая цепь включает в себя электродвигатель, карданный вал, червячный редуктор, дифференциал и полуоси заднего моста, ведущие колеса.

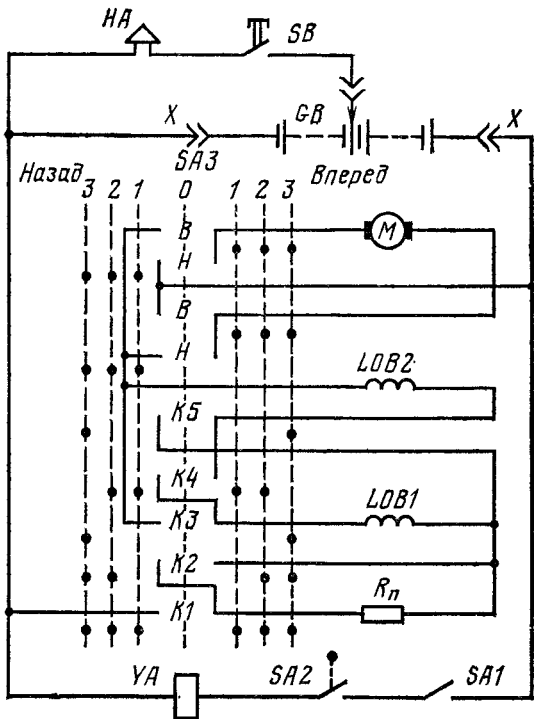


Рис. 4.8. Электрическая схема управления электро-  
тележкой ЭК-2МА.

Червячная передача, дифференциал и полуоси заключены в литой корпус заднего моста.

На электротележке установлен реверсивный закрытый двигатель постоянного тока типа МТ-4 (мощность 1,5 кВт,  $I_n=75$  А, номинальная и максимальная частоты вращения соответственно 1200 и 2500 об/мин, КПД 73%).

Потребители энергии подсоединяются к аккумуляторной батарее GB штепсельным разъемом X. Пуск, реверс и регулирование скорости выполняют при помощи кулачкового контроллера SA3. Для пуска ключом управления SA1 подают напряжение в цепь управления, выжимают тормозную педаль (при этом включается выключатель SA2 и оживляется блокировочный электромагнит YA), рычаг контроллера SA3 выводят из нейтрального положения и в зависимости от направления движения (вперед или назад)

поворачивают его вверх или вниз с последующим переводом из одного положения в другое, осуществляют ступенчатый пуск электродвигателя.

В положении 1 замкнуты контакты контроллера В (или Н), К1 и К4. Двигатель включен через пусковое сопротивление с последовательно соединенными обмотками возбуждения  $ЛОВ1$  и  $ЛОВ2$ . Электротележка начинает движение. В положении 2 контакты К2 шунтируют пусковой резистор  $R_{II}$  и скорость электротележки нарастает.

В положении 3 замыкаются контакты К3 и К5 и размыкаются К4. При этом обмотки возбуждения соединяются параллельно и магнитный поток двигателя уменьшается в два раза. Электротележка движется с максимальной скоростью. При повороте рычага в положение 0 электродвигатель выключается, движение замедляется. Электротележка снабжена электрическим и механическим тормозами и оборудована звуковой НА сигнализацией.

Электротележка обладает хорошей маневренностью на ограниченных площадках и в узких проездах скотных дворов. Бесшумность хода и отсутствие дыма и газа — особенно ценные ее качества при эксплуатации на животноводческих фермах. Эксплуатационные недостатки электрокары связаны с необходимостью применения аккумуляторных батарей.

Емкость батареи рассчитывают на непрерывную работу двигателя в течение 5 ч, что практически достаточно для обслуживания фермы в продолжение полного рабочего дня. В конце рабочего дня аккумуляторную батарею ставят на подзарядку. Емкость батареи определяют, исходя из потребляемой энергии  $A$  (Вт·ч), необходимой для перевозки грузов в течение рабочей смены:

$$A = \frac{f \sum (m_{i \text{ гр}} + m_t) L_i}{3600 \eta_{II}}, \quad (4.26)$$

где  $f$  — коэффициент перекачивания, учитывающий сопротивление передвижению электротележки по дороге,  $\text{Н/т}$ ;  $m_{i \text{ гр}}$  — масса перевозимых грузов, т;  $m_t$  — масса электротележки, т;  $L_i$  — расстояние перевозки, м;  $\eta_{II} = 0,6$  — КПД передачи энергии от батарей к ведущим колесам.

Необходимая емкость ( $A \cdot \text{ч}$ ) батарей

$$C = A / U_6, \quad (4.27)$$

где  $U_6$  — напряжение батарей, В.

На базе серийной тележки ЭК-2 разработан аккумуляторный кормораздатчик КСА-5Б, предназначенный для

внутрифермской транспортировки и раздачи в помещениях измельченных листостебельных масс, корнеплодов и концентрированных кормов. Он состоит из кузова вместимостью 4,5 м<sup>3</sup>, электрокара, продольного и поперечного транспортеров, бункера концентрированных кормов, блока битеров, площадки водителя, пульта управления, привода разлающего устройства и приводов других мобильных узлов. Выпускается с боковой или задней выгрузкой. Рабочая скорость 2 км/ч, транспортная 7 км/ч. Грузоподъемность 1,5 т, масса 2,55 т, размеры 4,22×1,55×2,02 м. Норму выдачи регулируют изменением частоты вращения электродвигателя рабочих органов и скорости передвижения кормораздатчика. Управление ручное с места водителя.

**Электропогрузчики ЭП-103 и ЭП-106** (масса 2100 кг, грузоподъемность 2 т, высота подъема 1,8...4,5 м, скорость подъема 9 м/мин, скорость передвижения 9 км/ч) предназначены для разгрузки и загрузки вагонов, автофургонов, для внутризаводского транспортирования тарно-штучных грузов на расстояние до 10 м с выполнением внутрицеховых и внутрискладских перегрузочных операций. Рассчитаны на передвижение по дорогам с твердым и гладким покрытием. Наименьший радиус поворота 1,6 м. Тип шин: массивные у ЭП-103, пневматические у ЭП-106. Тормоза: рабочий — гидравлический, стояночный — механический. Рама шасси несущая. К передней ее части прикреплен ведущий мост, задняя часть через две полуэллиптические рессоры опирается на балку заднего управляемого моста.

Электрооборудование погрузчиков получает питание от двухсекционной аккумуляторной батареи GB1 и GB2 типа 34ТЖН-300ВМ (емкость 300 А·ч, напряжение 40 В) через разъемы X1 и X2 (рис. 4.9). Максимальная защита осуществлена плавкими предохранителями FU. Номинальное напряжение цепей управления 20 В, сигнализации 12 В.

Органы управления: выключатель SA1, переключатель SA2 тягового двигателя M1, командоконтроллер SA3 с ножной педалью, кнопка сигнала SB, выключатель освещения SA4. Пуск электродвигателя M1 происходит в такой последовательности: водитель, заняв рабочее место, ключом переводит выключатель SA1 в рабочее положение, устанавливает переключатель SA2 в положение «Вперед» или «Назад», отпускает ручной стояночный тормоз SQ1, плавным нажатием на педаль контроллера приводит погрузчик в движение.

В положении 1 командоконтроллера SA3 включаются

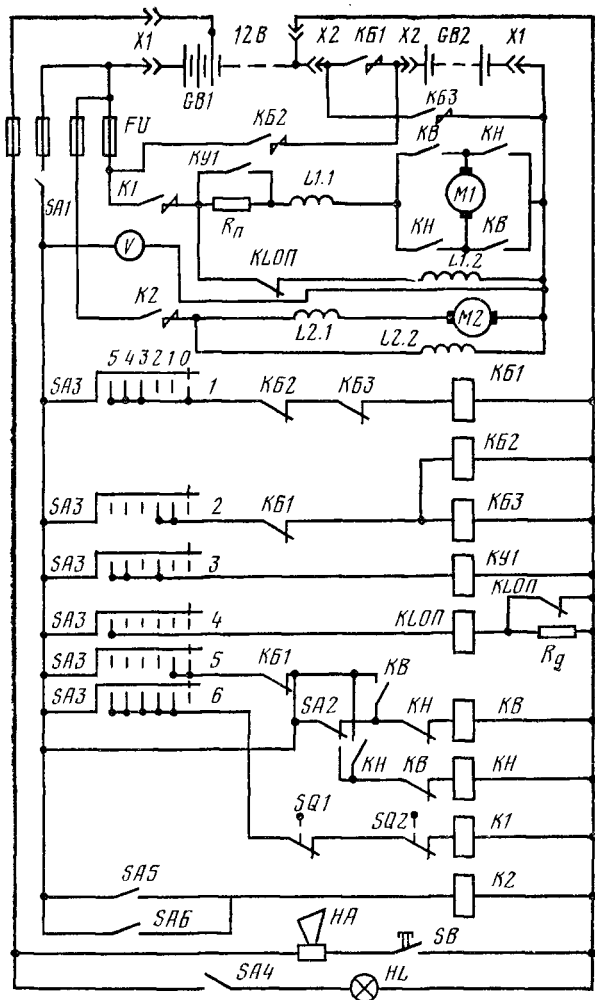


Рис. 4.9. Электрическая схема управления электропогрузчиком.

контакты  $KB2$ ,  $KB3$ ,  $K1$  и  $KB$  или  $KH$ . Двигатель включается на половинное напряжение через пусковой резистор  $R_n$  при полном возбуждении и развивает минимальную маневровую скорость. В положении 2 командоконтроллера дополнительно получает питание контактор  $KY1$  и шунтирует пусковой резистор  $R_n$ ; погрузчик движется на первой

скорости. В положении 3 выключаются контакторы  $КБ2$  и  $КБ3$  и включается контактор  $КБ1$ . На двигатель подается полное напряжение через пусковой резистор (промежуточная скорость). В положении 4 в цепь тока вводится контактор  $КУ1$ , шунтирующий пусковой резистор (вторая скорость). В положении 5 действует реле обрыва поля  $КЛОП$ , отключающее параллельную обмотку возбуждения (максимальная скорость).

При отпуске педали командоконтроллер возвращается в нулевое положение. Двигатель  $М1$  выключается. Электропогрузчик замедляет движение. При воздействии на тормоз размыкаются контакты блокировочных выключателей  $SQ1$  и  $SQ2$  в цепи контактора  $К1$ . Пуск двигателя подъема  $М2$  безреостатный осуществляется контактором  $К2$  и выключателем подъема  $SA5$  или выключателем навесного оборудования  $SA6$ . В схеме предусмотрены блокировки: исключено одновременное включение контакторов  $КБ1$  и  $КБ2$ ,  $КБ3$ ; повторный пуск двигателя  $М1$  допускается только из положения 1 командоконтроллера; нельзя пустить  $М1$  при включенных тормозах (действуют блокировки ножного  $SQ1$  и ручного  $SQ2$  тормозов); исключено реверсирование двигателя  $М1$  на ходу; переключение контакторов  $КВ$  и  $КН$  происходит при отключенном контакторе  $К1$ .

На погрузчиках используются электродвигатели постоянного тока смешанного возбуждения мощностью 3 кВт, напряжением 40 В с одним свободным концом вала типа РТ-13АБ для ПВ-40%, 1200 об/мин и РТ-14А для ПВ=25%, 1700 об/мин.

#### 4.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

**Общие требования к электроприводу крановых механизмов.** Электрооборудование кранов должно обеспечивать надежную высокопроизводительную и безопасную работу. Электропривод кранов работает в повторно-кратковременном режиме с большой частотой включений в запыленных и влажных помещениях, на открытом воздухе и в условиях резких изменений температур. Напряжение питания кранов не должно превышать 500 В.

Поэтому электрооборудование здесь рассчитано на напряжение 220, 380, 500 В переменного и 220, 440 В постоянного тока. На вновь строящихся предприятиях напряжение 500 В не применяется, а напряжение 440 В использует-

ся главным образом в силовых цепях кранов большой грузоподъемности.

Механизмы подъема и передвижения снабжены конечными выключателями, которые, будучи введены в цепь управления, ограничивают ход захватывающего устройства вверх и передвижение моста и тележки в обе стороны. Электрические цепи и двигатели защищены от коротких замыканий и перегрузок, больших 200%, максимальными токовыми реле. Тепловая защита двигателей крановых установок не предусматривается, поскольку двигатели работают в повторно-кратковременных режимах со значительными перегрузками, при которых возможно ложное срабатывание тепловых реле. Электрическая схема крана должна иметь нулевую защиту.

Все крановые механизмы должны быть снабжены тормозами, а подъемные механизмы — автоматическими тормозами закрытого типа, действующими при отключении питания. Все нетоковедущие металлические части электрооборудования должны быть электрически соединены с металлической фермой крана, а та, в свою очередь, — с заземляющим контуром цеха через подкрановые рельсы.

Режимы работы механического и электрического оборудования кранов стандартизованы (Л — легкий, С — средний, Т — тяжелый, ВТ — весьма тяжелый) и характеризуются коэффициентами:  $k_{гр}$  — использования механизма по грузоподъемности,  $k_r$  и  $k_c$  — годового и суточного использования механизмов, ПВ% — продолжительностью включения двигателя механизма (табл. 4.2):

$$k_{гр} = Q_c / Q_n; k_r = A / 365; k_c = B / 24; ПВ\% = \frac{t_p}{t_p + t_n} 100, \quad (4.28)$$

где  $Q_c$  — средний вес поднимаемого за смену груза;  $Q_n$  — номинальная грузоподъемность;  $A$  — число дней работы механизма в году;  $B$  — число часов работы механизма в сутки;  $t_p$  — время работы двигателя;  $t_n$  — время паузы.

Для электрооборудования кранов ПВ% подсчитывают, исходя из того, что время цикла не более 10 мин, а для механизмов не более 1 ч.

Наиболее точно режим работы крана может быть оценен по коэффициентам использования и продолжительности включения, подсчитанным для конкретных условий.

Механические характеристики электроприводов крановых механизмов (рис. 4.10) должны соответствовать требо-



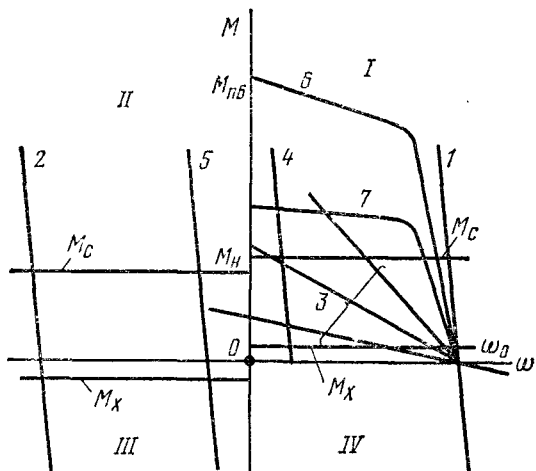


Рис. 4.10. Механические характеристики электроприводов кранов.

ваниям, предъявляемым со стороны технологических операций, выполняемых краном. Высокая точность монтажных операций обуславливает применение электроприводов с большей жесткостью характеристик при значительном диапазоне регулирования. Электроприводы с жесткими характеристиками используются для подъема 1 и опускания 2 грузов с высокой скоростью, с мягкими характеристиками 3 — для плавного пуска двигателя при реостатном управлении и для получения промежуточных скоростей грузов, с жесткими характеристиками 4 — для доводки грузов до определенного уровня при их подъеме (квадрант I), а с характеристикой 5 — для спуска с малой скоростью в тормозном режиме (квадрант II), а также для спуска груза крюка и легких грузов в двигательном режиме (квадрант III), с экскаваторной характеристикой 6 — для привода механизмов, работающих с резкой перегрузкой (например, грейферов).

В ряде случаев для механизмов передвижения основным требованием к механическим характеристикам электропривода является поддержание постоянства ускорения при разгоне, что обеспечивается приводом с характеристиками вида 7.

Рассмотренные графики помогают выбрать тип привода для обеспечения заданного набора характеристик. Набор

1, 2, 3 обеспечивается асинхронным двигателем с контактными кольцами при реостатном регулировании со стороны ротора, а набор 1, 2, 3, 5 — более сложным приводом, например асинхронным двигателем с контактными кольцами и дросселями насыщения в цепи статора или электроприводом постоянного тока.

Для полной оценки электропривода, кроме механических характеристик, необходимо знать минимальную скорость при номинальной нагрузке и жесткость характеристик или диапазон регулирования и необходимый перегрузочный момент при минимальной скорости передвижения. Для снижения ударных нагрузок при выборе слабины каната или троса заслуживают внимания электроприводы с характеристиками вида 3 и 7. При мягких характеристиках по мере натягивания тросов момент двигателя растет, а скорость его падает. Поэтому в начале движения груза динамические нагрузки на механическое оборудование значительно снижаются.

**Выбор электропривода.** Выбор электропривода крановых механизмов предполагает знание необходимой грузоподъемности и скорости движения, конструктивных данных и массы механического оборудования, диапазона регулирования скорости и нужной жесткости механических характеристик при работе (особенно при посадке грузов), числа включений в час, продолжительности включения, использования по грузоподъемности и времени, а также по условиям окружающей среды, в которой находится электрооборудование.

#### 4.2. Характеристика режимов работы электрооборудования кранов

| Режим работы электрооборудования | Коэффициенты использования |            |            | Продолжительность включения, ПВ% | Среднее число включений в час | Температура окружающей среды, °С |
|----------------------------------|----------------------------|------------|------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|                                  | $k_{Гр}$                   | $k_{Г}$    | $k_{с}$    |                                  |                               |                                  |
| Легкий                           | 0,1...1,0                  | 0,25...1,0 | 0,33...1,0 | 15...20                          | 60                            | 25                               |
| Средний                          | 0,1...1,0                  | 0,5...1,0  | 0,33...1,0 | 15...60                          | 120                           | 25                               |
| Тяжелый                          | 0,25...1,0                 | 0,75...1,0 | 0,33...1,0 | 25...60                          | 240                           | 25                               |
| Весьма тяжелый                   | 0,25...1,0                 | 1,0        | 1,0        | 40...60                          | 300...600                     | 25...40                          |

Момент  $M$  ( $H \cdot m$ ) и мощность  $P$  (кВт) на валу двигателя подъемной лебедки в статическом режиме работы при подъеме

ме груза определяют по следующим формулам:

$$M = \frac{9,81 (m + m_0) D}{2i\eta}; \quad (4.29)$$

$$P = \frac{9,81 (m + m_0) v}{1000\eta}, \quad (4.30)$$

где  $m$  — масса груза (при холостом ходе механизма равна нулю), кг;  $m_0$  — масса захватывающего приспособления, кг;  $i$  — передаточное отношение редуктора и полиспаста;  $\eta$  — КПД подъемного механизма, зависит от нагрузки (рис. 4.11);  $v$  — скорость подъема груза, м/с.

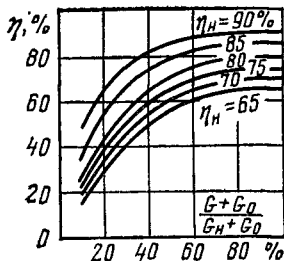


Рис. 4.11. Зависимость КПД механизма от нагрузки.

В статическом режиме спуска мощность двигателя равна разности мощностей трения  $P_{тр}$  и  $P_{гр}$ , развиваемой силой тяжести груза:

$$P = P_{тр} - P_{гр} = P_{тр} - 9,81 (m + m_0) v 10^{-3}. \quad (4.31)$$

При  $P_{гр} > P_{тр}$  двигатель работает в тормозном режиме и

$$P = 9,81 (m + m_0) v \eta 10^{-3}. \quad (4.32)$$

Для горизонтального перемещения в статическом режиме работы

$$M = \frac{9,81 k (m + m_1) (\mu r + f)}{i\eta}; \quad (4.33)$$

$$P = \frac{9,81 k (m + m_1) (\mu r + f) v}{1000 R \eta}, \quad (4.34)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы;  $m_1$  — масса передвигающегося механизма (включая  $m_0$ ), кг;  $\mu$  — коэффициент трения скольжения;  $r$  — радиус шейки оси колеса, м;  $f$  — коэффициент трения качения, м;  $i$  — передаточное отношение редуктора механизма передвижения;  $\eta$  — КПД механизма передвижения;  $v$  — скорость движения, м/с;  $R$  — радиус колеса, м.

После выбора двигателя по статической нагрузке и выбора электрической схемы управления электропривод проверяют по допустимым значениям ускорений, которые приведены ниже.

| Механизмы  | Допустимое ускорение, м/с <sup>2</sup> |
|--|--|
| Подъемные механизмы для жидких металлов, хрупких предметов, продуктов, монтажных работ . . . . . | 0,1                                    |

|  |           |
|--|-----------|
| Подъемные механизмы кранов сборочных и металлургических цехов . . . . .  | 0,2...0,5 |
| Подъемные механизмы грейферных кранов . . . . .  | 0,8       |
| Механизмы передвижения кранов для транспортировки жидких металлов, хрупких предметов, точных монтажных работ . . . . . | 0,1...0,2 |
| Механизмы передвижения со сцепной силой тяжести, равной 0,25...0,5 полной . . . . .                                    | 0,2...0,7 |
| Механизмы передвижения кранов с полной сцепной силой тяжести . . . . .   | 0,8...1,4 |
| Механизмы поворота кранов . . . . .  | 0,5...1,2 |

Фактическое ускорение груза определяют из уравнения движения привода

$$F_{\text{дв. п}} - F_c = m_e \frac{dv}{dt} = m_e \varepsilon, \quad (4.35)$$

откуда

$$\varepsilon = \frac{F_{\text{дв. п}} - F_c}{m_e}, \quad (4.36)$$

где  $F_{\text{дв. п}}$  — максимальное усилие двигателя, развиваемое при пуске, Н;  $F_c$  — сила тягового сопротивления, Н; при подъеме  $F_c = 9,81(m + m_0)$ , а при горизонтальном перемещении  $F_c = 9,81k(m + m_1)(\mu r + f) \frac{1}{R}$ ;  $m_e$  — ускоряемая масса, при подъеме  $m_e = m + m_0$ , а при горизонтальном перемещении  $m_e = m + m_1$ , кг.

Если подъемно-транспортный механизм передвигается по наклонному пути и испытывает действие ветровой нагрузки, мощность

$$P = \left[ \frac{9,81k(m + m_1)(\mu r + f)v \cos \alpha}{R\eta} + \frac{9,81(m + m_1)v \sin \alpha}{\eta} + \frac{Fsv}{\eta} \right] 10^{-3}, \quad (4.37)$$

где  $\alpha$  — угол наклона путей к горизонту;  $F$  — удельная ветровая нагрузка, Н/м<sup>2</sup>;  $s$  — площадь, подверженная действию ветра под углом 90°, м<sup>2</sup>.

Первое слагаемое учитывает мощность, необходимую для горизонтального передвижения, второе соответствует мощности подъема, третье — мощности от ветровой нагрузки.

Мощность электродвигателя для подъемного механизма выбирают в каталоге с учетом эквивалентной мощности  $P_{\text{экр}}$ , определяемой по нагрузочной диаграмме (рис. 4.12), режима работы по продолжительности включения ПВ% и требуемой перегрузочной способности  $\mu_R$  двигателя.

## Эквивалентная мощность

$$P_{\text{эkv}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{0,75 t_1 + t_2}}, \quad (4.38)$$

где  $P_1$  — максимальная мощность при пуске двигателя (принимается постоянной для учета действия пусковых токов);  $P_2$  — мощность подъема;  $t_1$  и  $t_2$  — продолжительность пуска и работы.

### Продолжительность включения

$$\text{ПВ} \% = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_2 + t_0} 100, \quad (4.39)$$

где  $t_0$  — продолжительность паузы.

Так как обычно действительная продолжительность включения не совпадает со стандартной, то эквивалентную мощность приводят к стандартной продолжительности включения по формуле

$$P_{\text{эkv. ст}} = P_{\text{эkv}} \sqrt{\frac{\text{ПВ} \%}{\text{ПВ} \%_{\text{ст}}}}. \quad (4.40)$$

Исходя из условия  $P_{\text{эkv. ст}} \leq P_{\text{кат. ст}}$  по каталогу выбирают мощность двигателя и проверяют его перегрузочную способность:

$$u^2 \mu_{\text{к}} > \frac{M_{\text{с. max}}}{M_{\text{н. дв}}}, \quad (4.41)$$

где  $u$  — напряжение на двигателе при пуске в относительных единицах;  $\mu_{\text{к}}$  — кратность максимального момента двигателя;  $M_{\text{с. max}}$  — максимальный момент сопротивления по нагрузочной диаграмме;  $M_{\text{н. дв}}$  — номинальный момент двигателя.

**Электропривод талей и кран-балок.** Электрифицированные тали и кран-балки применяют для подъема и перемещения грузов и деталей машин при монтажных и ремонтных работах внутри производственных помещений.

Электроталь ТЭП-1 (грузоподъемность 1 т, напряжение 380 В) состоит из механизмов подъема и передвижения с индивидуальными электроприводами. Рабочий барабан 2 (рис. 4.13) приводится двигателем 20 через планетарный редуктор, образованный из сателлитов 5, 7, 8, блочных

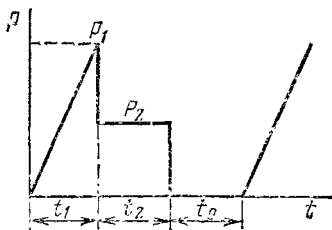
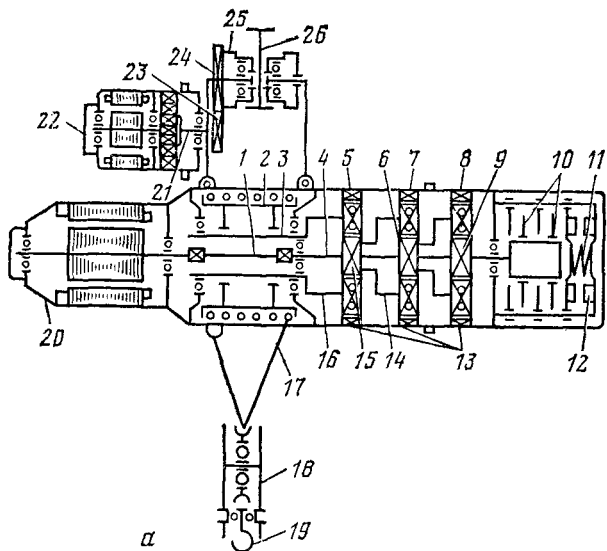
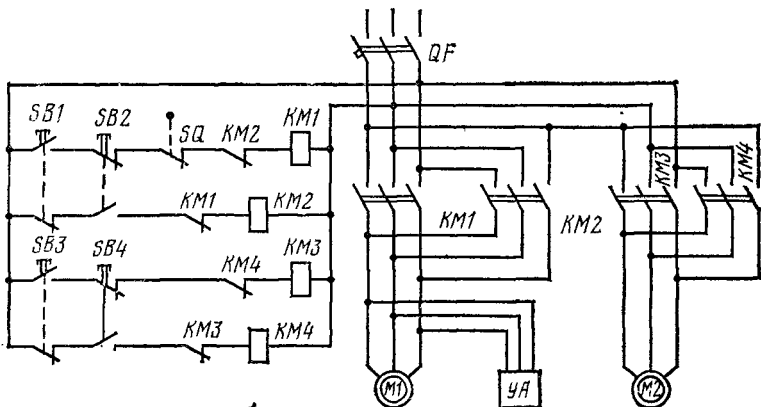


Рис. 4.12. Нагрузочная диаграмма подъемного механизма.



*a*



*б*

Рис. 4.13. Электропривод тали ТЭП-1:

*a* — кинематическая схема; *б* — электрическая схема управления; 1 — промежуточный шлицевой вал; 2 — рабочий барабан; 3 — полый вал; 4 — рабочий вал; 5, 7, 8 — сателлиты; 6, 9, 15 — солнечные шестерни; 10 — тормозные диски; 11 — тормозная пружина; 12 — электромагниты; 13 — блочные шестерни; 14, 16, 21 — водила; 17 — трос; 18 — подвеска; 19 — крюк; 20 — электродвигатель подъема груза; 22 — электродвигатель тележки; 23, 24 — шестерни; 25 — каток; 26 — монорельс.

шестерен 13, солнечных шестерен 6, 9, 15, водил 14, 16. Главный приводной вал 4 при отключенном двигателе затормаживается дисками 10 под действием пружины 11. Для привода механизма подъема груза со скоростью 6,5...6,9 м/с применяется асинхронный двигатель с повышенным скольжением типа АОС-32-4М (мощность 1,4 кВт при 1320 об/мин и ПВ = 25%).

На рисунке 4.14 показаны рабочие характеристики тали. КПД 3 электротали возрастает до 0,58 с увеличением массы поднимаемого груза до 1000 кг. Интересен режим работы двигателя 4 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 привода ходовой тележки электротали применен асинхронный электродвигатель 22 (рис. 4.13) типа ТЭМ-0,25 (мощность 0,25 кВт при 1410 об/мин и ПВ = 25%) со встроенным планетарным одноступенчатым редуктором и шестеренчатой передачей 23, 24, передающей вращение на катки 25. На механизмах передвижения простейших талей тормозные устройства не устанавливаются. Передвижение тали по балке в обе стороны ограничивают механические упоры.

Кран-балка отличается от тали тем, что балка, по которой передвигается таль, может перемещаться вдоль производственного помещения, приводимая в движение электродвигателем с короткозамкнутым или фазным ротором.

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. 4.13), спуска КМ2, передвижения вперед КМ3 и назад КМ4 подводится через автоматический выключатель QF и кабель или контактные провода. Движение подъемного устройства вверх ограничивает конечный выключа-

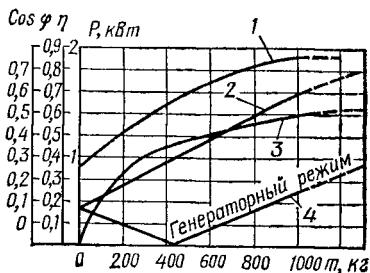


Рис. 4.14. Рабочие характеристики тали:

1 —  $\cos \varphi$  электродвигателя; 2 — мощность электродвигателя при подъеме груза; 3 — КПД; 4 — мощность электродвигателя при опускании груза.

тель  $SQ$ . Блокировка реверсивных контакторов двигателя от одновременного включения осуществляется двухцепными кнопками и механической блокировкой самих контакторов (или размыкающими блок-контактами контакторов). На электроталих не применяют шунтирование пусковых кнопок соответствующими замыкающими блокировочными контактами контакторов, предотвращая вероятность продолжения работы тали после отпущения оператором подвесной кнопочной станции. Одновременно с двигателем подъема включается электромагнит  $УА$ , размыкающий тормоз.

Для надежного разгона привода кранового механизма должно быть выполнено следующее условие:

$$u^2 \mu_{п. ср} = (\mu_1 + \mu_2) / 2 \geq 1,5 \mu_{с. max}, \quad (4.42)$$

где  $\mu_{п. ср}$  — кратность среднего пускового момента двигателя, определяемая по каталожным данным;  $\mu_1$  и  $\mu_2$  — максимальная и минимальная кратность момента двигателя при пуске, причем необходимо, чтобы  $u^2 \mu_2 \geq 1,2 \mu_{с. max}$ , при этом  $\mu_{с. max} = M_{с. max} / M_{п. дв.}$

Максимально допустимое время пуска для механизмов подъема составляет 3...5 с, для механизмов передвижения — 10...15 с.



# Глава 5. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ

## 5.1. ЭЛЕКТРОПРИВОД ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ КОРМОВ

Электропривод соломосилосорезки РСС-6,0. Эта машина предназначена для измельчения стебельных кормов резанием на частицы длиной от 5 до 100 мм с одновременной подачей измельченной массы по трубам к месту скармливания, дальнейшей обработки или хранения. Машина состоит из режущего аппарата дискового типа, питающего механизма с цепочно-планчатым транспортером и питающими вальцами, транспортера-швырялки с трубопроводом и дефлектором, передаточного механизма со сменными шестернями и рамы (рис. 5.1).

Мощность  $P$  двигателя соломосилосорезки тратится на резание корма  $P_{рез}$ , на привод механизма подачи  $P_{под}$  и на холостой ход машины  $P_x$ :

$$P = P_{рез} + P_{под} + P_x. \quad (5.1)$$

В результате исследований установлено, что соотношение мощностей таково:

$$P_{рез} : P_{под} : P_x = 3 : 1 : 1, \quad (5.2)$$

поэтому

$$P = 1^{2/3} P_{рез}. \quad (5.3)$$

Мощность резания (Вт) определяется силой  $F$  и скоростью резания  $v$ :

$$P_{рез} = Fv \approx kabqn, \quad (5.4)$$

где  $k$  — число ножей;  $a$  и  $b$  — высота и ширина горловины, м;  $q$  — удельное давление резания материала на единицу длины лезвия (3500...5000 Н/м);  $n$  — частота вращения, об/с.

Производительность дисковой соломосилосорезки (кг/с)

$$Q = k\rho abln, \quad (5.5)$$

где  $\rho$  — плотность перерабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  — длина резки, м.

Из сопоставления формул (5.3), (5.4) и (5.5) следует, что мощность

$$P = 1^{2/3} \cdot \frac{Qq}{\rho l} \quad (5.6)$$

пропорциональна производительности соломосилосорезки и удельному давлению резания материала. Поэтому очень важно при работе следить за исправным состоянием ножей, чтобы они были острыми. Затупление ножей ведет к перерасходу электроэнергии.

Из анализа соотношения

$$a_{\text{рез}} = \frac{q}{\rho l} (\text{Н/м} \cdot \text{м}^3/\text{кг} \cdot \text{л/м} = \text{Н} \cdot \text{м}/\text{кг} = \text{Дж}/\text{кг}), \quad (5.7)$$

входящего в формулу мощности, видно, что оно характеризует удельный расход энергии на резание. Поэтому мощность двигателя можно определять и по удельному расходу энергии на технологический процесс:

$$P = 1,66 \cdot a_{\text{рез}} \cdot Q, \quad (5.8)$$

где  $a_{\text{рез}} (\text{Дж}/\text{кг}) = a'_{\text{рез}} \frac{(\text{кВт} \cdot \text{ч})}{\text{т}} \frac{3600 \cdot 1000}{1000} = 3600 a'_{\text{рез}}$ .

Экспериментально определяют общий расход электроэнергии на единицу продукции  $A_{\text{уд}}$  (кВт·ч/т) (см. гл. 11), поэтому и мощность (кВт)

$$P = A_{\text{уд}} \Pi, \quad (5.9)$$

где  $\Pi$  — производительность машины, т/ч.

Двигатель соломосилосорезки РСС-6,0 испытывает длительную, переменную нагрузку (рис. 5.1, а). Изменение нагрузки во времени зависит от изменения подачи зеленой массы или соломы к рабочим органам. Выравниванию графика мощности способствуют подающий транспортер и питающие вальцы. Коэффициент загрузки машины 0,8...0,85. Средняя мощность машины при измельчении силосной массы и производительности 6 т/ч равна 6 кВт. Механическая характеристика при работе двигателя на холостом ходу 1 (рис. 5.1, б) носит вентиляторный характер, под нагрузкой приближается к прямой линии 2 и 3.

Для привода главного вала машины с частотой вращения 450 об/мин через ременную передачу 7 подходит электродвигатель 11 марки 4А132М6-СУ1 мощностью 7,5 кВт с дистанционным управлением от кнопочной станции магнитного пускателя с максимально-токовой и тепловой защитами. Пуск осуществляется на холостом ходу при небольшом моменте трогания 1,7 Н·м.

**Электропривод измельчителя кормов «Волгарь-5».** Этот измельчитель предназначен для приготовления пасты из корнеклубнеплодов, бахчевых культур, силоса, травы,

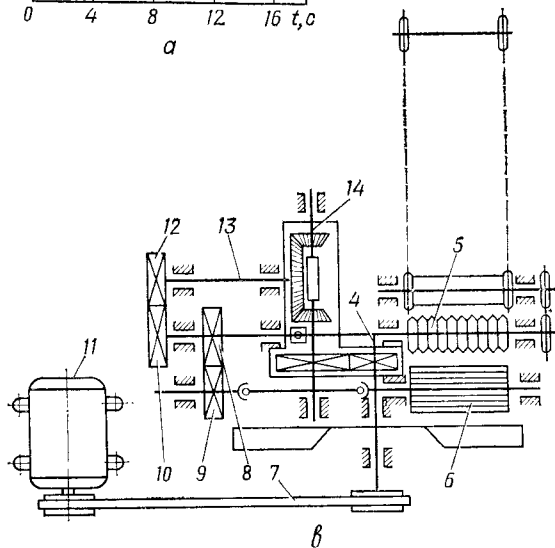
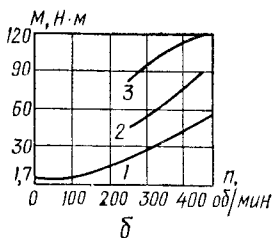
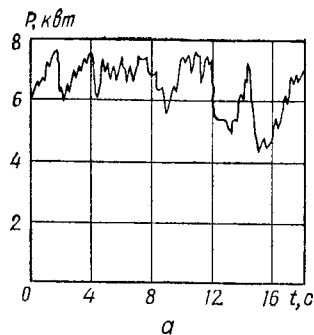


Рис. 5.1. Приводные характеристики соломосилосорезки РСС-6,0: *a* — нагрузочная диаграмма двигателя; *б* — механические характеристики; *в* — кинематическая схема привода; 1 — холостой ход; 2 — резка соломы; 3 — резка зеленой массы; 4 — главный вал; 5 — нижний питающий валец; 6 — верхний питающий валец; 7 — ременная передача; 8, 9 — цилиндрические шестерни; 10, 12 — сменные шестерни; 11 — двигатель; 13 — вал с конической шестерней; 14 — промежуточный вал.

початков кукурузы молочно-восковой спелости, а также из пищевых и овощных отходов, рыбы и т. д.

Технологический процесс начинается с поступления корма 1 (рис. 5.2) на подающий транспортер 2, который вместе с уплотняющим транспортером 3 подводит его к режущему барабану 5, вращающемуся с частотой 730 об/мин. Здесь происходит предварительное измельчение продукта до частиц размером 2...8 см. Подающий шнек направляет материал

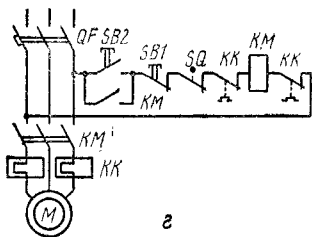
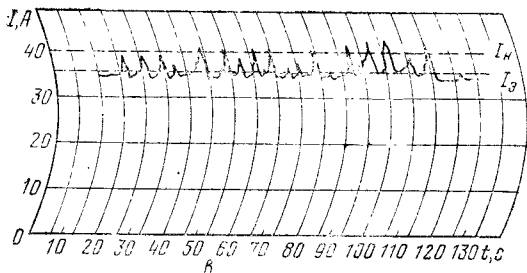
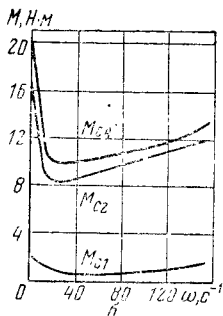
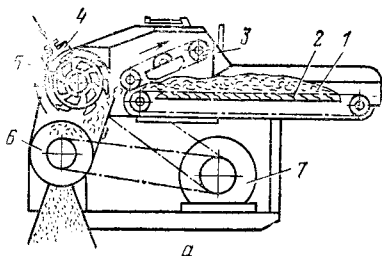


Рис. 5.2. Приводные характеристики и схема управления измельчителем кормов «Волгарь-5»:

*a* — кинематическая; *б* — механическая характеристика; *в* — нагрузочная диаграмма при измельчении куззники; *г* — схема управления приводом; 1 — корм; 2 — подающий транспортер; 3 — нажимной транспортер; 4 — заточное приспособление; 5 — режущий барабан; 6 — измельчающий барабан; 7 — электродвигатель.

к измельчающему барабану 6, частота вращения которого 1000 об/мин. В результате повторного измельчения размеры частиц уменьшаются до 0,2...1 см. Производительность машины (0,3...4,2 кг/с) зависит от вида корма и степени измельчения.

Аппарат вторичного резания снабжен предохранительным устройством, которое через конечный выключатель *SQ* отключает электродвигатель измельчителя при перегрузках, нарушениях режима и т. п. Для привода машины подходит электродвигатель 7 марки 4AP180S4CY1 мощностью 22 кВт через клиноременную передачу. Механическая характеристика на холостом ходу имеет вентиляторный вид (рис. 5.2, б). Режим работы электропривода длительный с

переменной нагрузкой (рис. 5.2, в). Схема управления электроприводом измельчителя приведена на рисунке 5.2, з.

Поскольку не всегда необходима работа двух измельчающих механизмов, один из них можно отключить. При работе только механизма первичного резания электродвигатель недогружен, его энергетические показатели снижаются (мощность используется на 47%, коэффициент мощности уменьшается с 0,9 до 0,85, КПД — с 90 до 86%, потери при пуске остаются на прежнем уровне). По исследованиям МИИСП\*, индивидуальный электропривод механизмов первичного и вторичного резания улучшает условия работы электропривода и повышает энергетические показатели. При поочередном запуске электродвигателей уменьшаются максимальный пусковой ток и колебания напряжения. Двухдвигательный привод позволяет, когда требуется работа только одного двигателя механизма первичного резания, отключать второй двигатель. Нагрузка первого двигателя будет близка к номинальной, благодаря чему повысятся энергетические показатели машины. Приводные характеристики некоторых машин для измельчения кормов приведены в таблице 5.1.

**Электропривод измельчителя корнеклубнеплодов ИКС-5М.** Измельчитель ИКС-5М (рис. 5.3) предназначен для мойки и измельчения различных корнеклубнеплодов. Корнеклубнеплоды из приемного бункера 2 транспортируются шнеком 3 и одновременно моются водой, подаваемой насосом 6 из ванны 1 или другого источника. Вымытые корнеклубнеплоды направляются в дробильный барабанный с шарнирно навешенными молотками измельчитель 4. Измельчитель может быть отключен, и тогда корнеклубнеплоды в цельном виде поступают в транспортные средства. Производительность машины 5 т/ч.

Производительность (кг/с) винтовой корнеклубнеплодомойки ИКС-5М

$$Q = \varphi \varepsilon \rho \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) s n, \quad (5.10)$$

где  $\varphi = 0,2 \dots 0,25$  — коэффициент наполнения;  $\varepsilon$  — коэффициент, учитывающий зависимость производительности от угла подъема  $\beta$ ;  $\rho$  — плотность корнеклубнеплодов,  $\text{кг/м}^3$ ;  $D_2$  — внешний диаметр шнека, м;  $D_1 = (0,2 \dots 0,35)D_2$  — диаметр вала шнека, м;  $s$  — шаг винта шнека, м;  $n$  — частота вращения шнека, об/с.

\* Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства.

## 5.1. Приводные характеристики машин для измельчения кормов

| Тип и марка машины                   | Электродвигатель<br>при испытании | Мощность<br>электро-<br>двигателя, кВт | Приведен-<br>ный мо-<br>мент<br>инерции<br>машины<br>с двига-<br>телем,<br>кг·м <sup>2</sup> | Холостой ход                         |                                    |   | Производительность,<br>т/ч                                      |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--|--|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|
|                                      | Рекомендуемый                     |  |  | Момент<br>трогания<br>машины,<br>Н·м | Мини-<br>мальный<br>момент,<br>Н·м | Момент<br>при номи-<br>нальной<br>частоте<br>вращения,<br>Н·м |   |
| Соломосилосорезка<br>РСС-6,0         | АО2-52-4                          | 7,5                                    | 1,29   | 1,67                                 | 1,67                               | 14,7  | 1,5 (на соломе)<br>6,0 (на зеленой<br>массе)                    |
|                                      | 4А132М6СУ1                        | 7,5                                    |  |                                      |                                    |   |   |
| Измельчитель кормов<br>«Волгарь-5»   | АО2-71-4                          | 22                                     | 1,57   | 11,8                                 | 7,35                               | 9,8   | 5...10  |
|                                      | 4АР180S4СУ1                       | 22                                     |  |                                      |                                    |   |   |
| Измельчитель сочных<br>кормов ИКС-5М | АО2-51-4                          | 7,5                                    | 6,25   | 4,9                                  | 2,94                               | 7,8   | 5   |
|                                      | 4А132S4СУ1                        | 7,5                                    |  |                                      |                                    |   |   |
|                                      | 4А80В4СУ1                         | 1,5                                    |  |                                      |                                    |   |   |
| Измельчитель грубых<br>кормов ИГК-30 | АО2-81-6                          | 30                                     | 11,4   | 2,94                                 | 2,94                               | 16,7  | 3   |
|                                      | 4АР180М4СУ1                       | 30                                     |  |                                      |                                    |   |   |
| Универсальная дро-<br>билка ДКУ-1    | АО2-61-4                          | 13                                     | 2,65   | 9,8                                  | 4,9                                | 15,7  | 1 (на зерне)<br>7 (на корнеклубне-<br>плодах)                   |
|                                      | 4АР180S4СУ1                       | 22                                     |  |                                      |                                    |   |   |
| Дробилка кормов<br>КДУ-2             | АО2-72-4                          | 30                                     | 7,75   | 14,7                                 | 10,7                               | 55  | 2 (на зерне)<br>15 (на корнеклуб-<br>неплодах)<br>0,7 (на сене) |
|                                      | 4АР180М4СУ1                       | 30                                     |  |                                      |                                    |   |   |

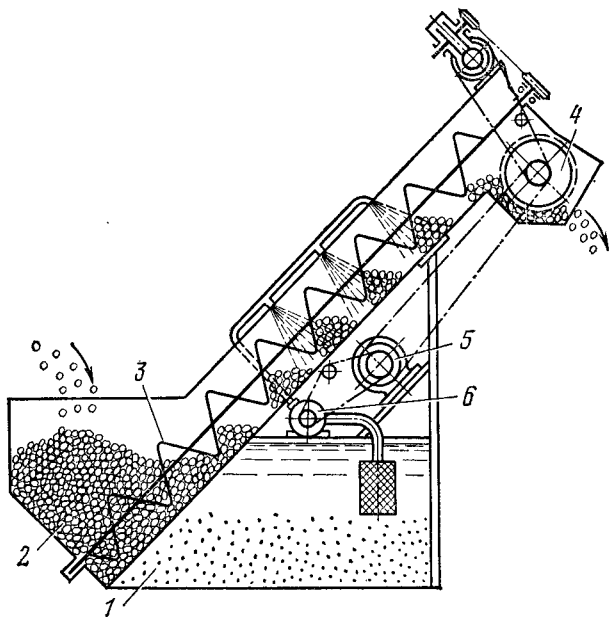


Рис. 5.3. Кинематическая схема измельчителя корнеклубнеплодов ИКС-5М:

1 — ванна; 2 — приемный бункер; 3 — моечный шнек; 4 — измельчитель; 5 — электродвигатель; 6 — водяной насос.

Между коэффициентом  $\varepsilon$  и углом  $\beta$  следующая зависимость:

|                |     |     |      |      |      |      |      |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| $\varepsilon$  | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,58 | 0,48 | 0,44 | 0,40 |
| $\beta$ , град | 10  | 20  | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   |

Мощность (Вт), необходимая для привода машины,

$$P = \frac{1}{\eta} i (P_1 + P_2) + P_3 + P_4, \quad (5.11)$$

где  $i=1, 2$  — коэффициент, учитывающий потери мощности на перемешивание;  $\eta$  — коэффициент полезного действия передачи.

Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления трения материала о корпус и на его подъем,

$$P_1 = 9,81Q (f_1 L_0 + H), \quad (5.12)$$

где  $f_1$  — коэффициент трения материала по желобу;  $L_0$  — длина горизонтального перемещения корнеклубнеплодов, м;  $H$  — высота подъема, м.

Мощность, необходимая для преодоления сопротивления трения корнеклубнеплодов о шнек,

$$P_2 = 9,81Q (fL_0 + H) f_2 \frac{\pi D_2^2}{s}, \quad (5.13)$$

где  $f_2$  — коэффициент трения материала по шнеку.

Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления трения в упорном подшипнике или пяте,

$$P_3 = 9,81Q \left( f_1 L_0 + H + \frac{q_0}{q_m} H \right) f_3 \frac{\pi D_1}{s}, \quad (5.14)$$

где  $q_0$  — масса вращающихся частей, приходящаяся на 1 м длины шнека корнеклубнемойки, кг;  $q_m$  — масса материала на 1 м длины желоба, кг,  $f_3$  — коэффициент трения в упорном подшипнике.

Мощность, необходимая для преодоления сопротивления трения в радиальных подшипниках,

$$P_4 = 9,81q_0 L_0 f_4 \pi d_{ц} n, \quad (5.15)$$

где  $f_4$  — коэффициент трения в радиальных подшипниках;  $d_{ц}$  — диаметр цапф вала, м;  $\pi d_{ц} n$  — окружная скорость вала, м/с.

Шнековая мойка ИКС-5М снабжается двигателем мощностью 1,5 кВт.

Мощность (Вт), расходуемая на дробление продукта,

$$P_{др} = k_x A_{др} Q / \eta, \quad (5.16)$$

где  $k_x = 1,15 \dots 1,2$  — коэффициент, учитывающий потери холостого хода;  $A_{др}$  — затраты энергии на дробление (их значения находят экспериментальным путем);  $\eta$  — коэффициент полезного действия передач.

Измельчающий барабан снабжается двигателем мощностью 7,5 кВт.

## 5.2. Энергоемкость переработки корнеплодов измельчителями и дробилками

| Марка машины | Энергоемкость $A_{др}$ |       |
|--------------|------------------------|-------|
|              | кВт·ч/т                | Дж/кг |

|                                   |      |        |
|-----------------------------------|------|--------|
| Мойка-резка корнеплодов МРК-5     | 0,68 | 2 450  |
| Корнерезка КПИ-4                  | 1,0  | 3 600  |
| Измельчитель кормов ИКС-5М        | 1,15 | 4 140  |
| Измельчитель «Волгарь-5»          | 1,20 | 4 320  |
| Универсальная кормодробилка КДУ-2 | 3,3  | 11 900 |



## 5.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ДРОБИЛОК КОРМОВ

Универсальные дробилки кормов ДКУ-1 и КДУ-2 предназначены для измельчения сена, соломы, зерна и корнеклубнеплодов, а также для приготовления смесей из двух-трех компонентов. Основные технические данные этих машин приведены в таблице 5.1.

Нагрузочным диаграммам молотковых дробилок присущ резкопеременный характер (рис. 5.4) с большими колебаниями момента и скорости. Энергетические показатели (рис. 5.5) зависят от скоростей: окружной молотков (56,66, 77 м/с) и поступательной ленты питающего транспортера (10,17, 20 м/с) — показаны индексами при символах  $A$ ,  $P$ ,  $Q$ , а также от влажности, плотности кормов и конструкции машины. Минимальные удельные расходы энергии при удовлетворительном модуле помола наблюдаются в диапазоне от 66 до 77 м/с окружных скоростей молотков, что соответствует частоте вращения 1700...2000 об/мин ротора дробилки.

Мощность (Вт) дробильных машин, по С. В. Мельникову [9],

$$P = P_{\text{и}} + P_{\text{ц}} + P_{\text{х}}, \quad (5.17)$$

где  $P_{\text{и}}$  — мощность измельчения материала;  $P_{\text{ц}}$  — мощность на циркуляцию материала в камере дробления;  $P_{\text{х}}$  — мощность холостого хода дробилки.

Мощность измельчения

$$P_{\text{и}} = A_{\text{и}} Q, \quad (5.18)$$

где  $A_{\text{и}}$  — удельная энергия на измельчение 1 кг материала, Дж/кг;  $Q$  — производительность дробилок, кг/с.

Удельная энергия измельчения

$$A_{\text{и}} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (5.19)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — коэффициенты из опыта: для ячменя  $C_1 = (10...13)10^3$ ,  $C_2 = (6...9)10^3$  Дж/кг;  $\lambda$  — степень измельчения материала, равная отношению среднего размера  $D$  частиц исходного материала к среднему размеру  $d$  частиц измельченного продукта.

Мощность холостого хода и циркуляции дробилок составляет 15...20% от  $P_{\text{и}}$ . Поэтому

$$P = (1,15...1,20) A_{\text{и}} Q. \quad (5.20)$$

Для выравнивания нагрузочных диаграмм и сокращения числа занятых рабочих применяют регуляторы подачи

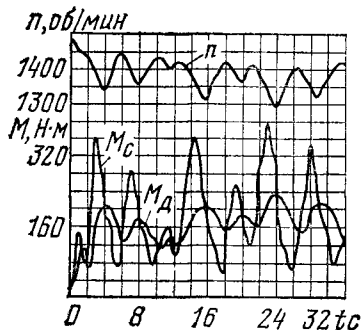


Рис. 5.4. Нагрузочные диаграммы привода молотковой дробилки:

$n$  — частота вращения;  $M_c$  — момент сопротивления дробилки;  $M_d$  — момент двигателя.

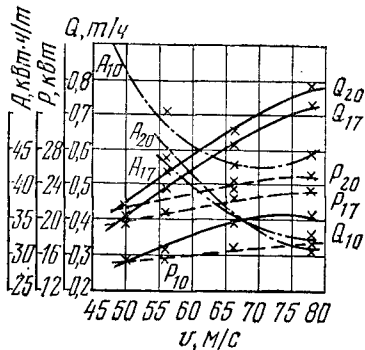


Рис. 5.5. Характеристики привода кормодробилки ДКУ-М при измельчении суданки влажностью 12%:

$A$  — удельный расход энергии;  $P$  — потребляемая мощность;  $Q$  — производительность;  $v$  — окружная скорость молотков.

исходного продукта. Загрузку дробилки регулируют по току, скольжению и моменту приводного двигателя.

В МИИСП создан и исследован регулятор загрузки рабочей машины, реагирующий на силу тока приводного асинхронного двигателя  $M$  (рис. 5.6). Для подачи зерна из бункера в дробилку применен лотковый вибропитатель. Производительность вибропитателя зависит от ширины лотка, высоты слоя продукта, плотности и скорости его перемещения. При частоте колебаний больше 1700 в минуту средняя скорость перемещения по лотку

$$v = (k_1 + k_2 \cos \alpha_n) a \omega \cos \beta, \quad (5.21)$$

где  $k_1, k_2$  — экспериментальные коэффициенты, зависящие от свойств перемещаемого продукта;  $\alpha_n$  — угол наклона лотка;  $a$  — амплитуда колебаний, м;  $\omega$  — угловая частота,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\beta$  — угол между направлением тягового усилия и лотком питателя.

В данном регуляторе производительность вибропитателя и дробилки варьируется изменением амплитуды колебаний. Вибропитатель опорного типа массой 37 кг с шириной лотка 240 мм имеет производительность до 2 т/ч при частоте вынужденных колебаний лотка 3000 и частоте собственных колебаний установки 2880 в минуту. Вибропитатель приводится Ш-образным электромагнитом мощностью 80 В·А.

Регулятор состоит из датчика тока  $GA$ , тиристора  $VS$ ,

электромагнита  $УА$ , блока управления  $U$ , сопротивления датчика  $R_3$ , стабилизатора напряжения  $T$ .

Загрузка дробилки контролируется по току  $I_d$  приводного двигателя при помощи унифицированного датчика тока УТД-1200 МИИСП. Его преимущества заключаются в малых размерах (наружный диаметр 45 мм, масса 100 г) и возможности получать требуемый угол наклона характеристики  $U_3 = f(I_d)$  в зависимости от сопротивления датчика  $R_3$  ( $U_3$  — напряжение датчика). Датчик надевают на линейный провод и размещают в выводной коробке двигателя  $M$ .

Блок управления тиристором состоит из блока питания, синхронизирующего устройства, генераторов пилообразного напряжения и прямоугольных импульсов. Схема автоматического регулирования позволяет изменять в широких пределах среднее значение тока электромагнита  $I_{м.ср}$  за полупериод. Ток  $I_{м.ср}$  зависит от угла  $\alpha_0$  отпирания тиристора:

$$I_{м.ср} = \frac{I_m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\pi} \sin \alpha d\alpha = \frac{I_m}{\pi} (1 + \cos \alpha_0), \quad (5.22)$$

где  $I_m$  — амплитуда тока нагрузки электромагнита;  $\alpha = \omega t$ ;  $\omega$  — угловая частота тока;  $t$  — время.

В схеме применен метод импульсно-фазного управления тиристором  $VS$ . На его управляющий электрод подаются сформированные импульсы с крутым фронтом. Меняя

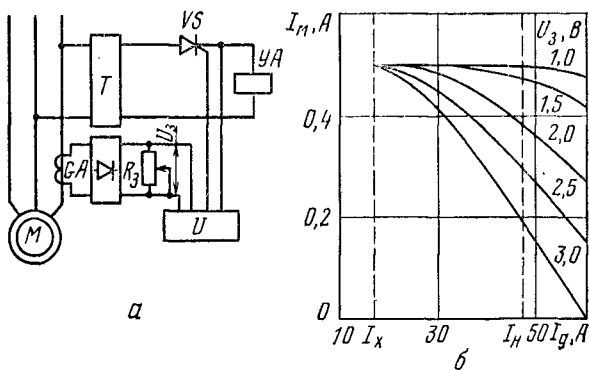


Рис. 5.6. Схема автоматического регулятора (а) и зависимость тока  $I_m$  электромагнита вибронапитателя от тока  $I_d$  электродвигателя АОП-63-4 дробилки ДКУ-1А при различных напряжениях  $U_3$  (б).

их положение относительно фазы анодного напряжения, получают необходимый угол  $\alpha_0$  и соответственно регулируют ток электромагнита  $I_m$  (действующее значение за полупериод). Подачу продукта в дробильную камеру можно прекращать при различной степени загрузки двигателя  $M$ . Крутизна характеристик  $I_m = f(I_d)$  зависит от значения  $U_3$ .

Стабилизатор напряжения  $T$  питания электромагнита  $УА$  предназначен для использования при значительных колебаниях напряжения сети.

Регулятор испытан при дроблении овса, ячменя, пшеницы различной влажности на дробилке ДКУ-1А. Зерно из бункера самотеком поступало на лоток вибропитателя, а затем в дробилку. Первоначальную высоту слоя зерна на лотке устанавливали задвижкой. Стабильность работы регулятора проверялась при колебаниях напряжения и различных высотах слоя зерна.

По нагрузочной диаграмме (рис. 5.7) видно, что нагрузка приводного двигателя ( $I_{н.д} = 47,5 \text{ А}$ ) практически постоянна. С увеличением слоя зерна с 40 до 60 мм ток двигателя возрастает с 44 до 47 А.

**Безрешетная дробилка ДБ-5** предназначена для измельчения фуражного зерна влажностью до 17% с производительностью 4...8 т/ч. Она состоит из загрузочного  $10$  (рис. 5.8) и выгрузного  $4$  шнеков, дробилки и шкафа управления.

Двигатель  $M2$  (АО2-72-2СХУ1, 30 кВт,  $J_{рот} = 0,085 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ) через втулочно-пальцевую муфту приводит в действие молотковый ротор  $2$  (момент инерции  $2,42 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ) с частотой вращения 2940 об/мин.

Два одинаковых двигателя  $M1$  и  $M4$  (4А80В6СУ1, 1,1 кВт) через клиноременную передачу с передаточным числом 2,2 приводят в движение загрузочный и выгрузной шнеки с частотой вращения 415 об/мин.

Шнек  $3$  в разделительной камере  $8$  приводится в движение через клиноременную передачу от ротора  $2$ .

Поворотная заслонка  $12$  приводится в действие от электродвигателя  $M3$  типа РД-09 через электромагнитную муфту ЭТМО72-А-3 или вручную.

Шнек  $10$  подает зерно в бункер  $9$  с датчиками уровней  $11$ . После открытия заслонки зерно поступает в дробильную камеру  $1$  и под воздействием вращающегося ротора  $2$  и деки  $15$  измельчается. Измельченный продукт воздушным потоком от молотков ротора  $2$  по кормопроводу  $5$  транспортируется к сепаратору  $7$  разделительной камеры  $8$ . Мелкая фракция шнеками  $3$  и  $4$  выгружается из дробилки. Крупная

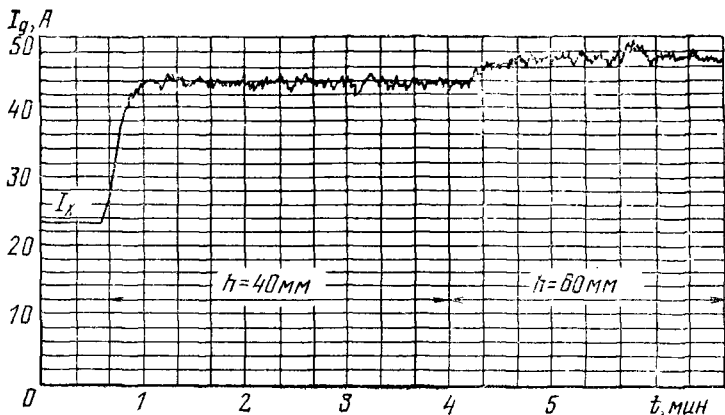


Рис. 5.7. Нагрузочная диаграмма двигателя АОП-63-4 кормодробилки ДКУ-1А при измельчении овса влажностью 14,9% (регулирование подачи автоматическое без стабилизации напряжения цепи питания электромагнита при  $h=40, 60$  мм,  $d=3$  мм,  $U=216$  В,  $U_3=2,5$  В).

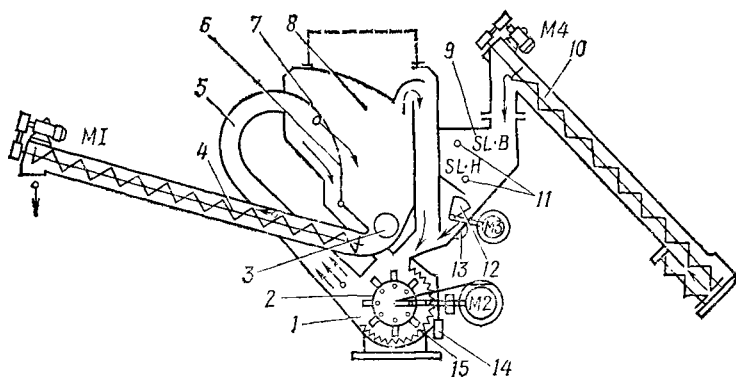


Рис. 5.8. Технологическая схема дробилки ДБ-5:

1 — дробильная камера; 2 — ротор; 3, 4, 10 — шнеки; 5 — кормопровод; 6, 12 — заслонки; 7 — сепаратор; 8 — разделительная камера; 9 — бункер; 11 — датчики уровней; 13 — магнит; 14 — кольцевой выключатель SQ1 (рис. 5. 9); 15 — дека;  $\rightarrow$  — зерно,  $\odot$  — готовый продукт;  $\leftarrow$  — воздух, M1, M2, M3, M4 — двигатели приводов соответственно выгрузного шнека, дробилки, заслонки в бункере зерна, загрузочного шнека.

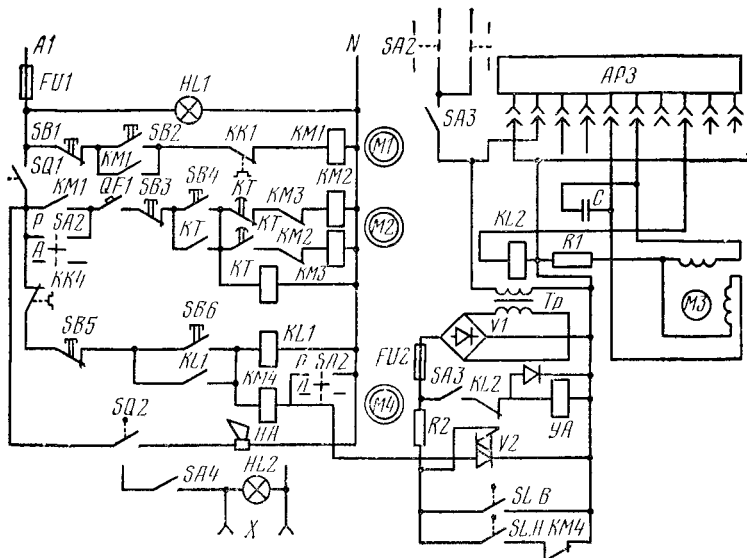


Рис. 5.9. Электрическая схема привода дробилки ДБ-5.

фракция поступает на повторное измельчение. Воздух циркулирует по замкнутому контуру, а избыток выбрасывается вверх через матерчатый фильтр. Металлические включения выделяются из зерна магнитом 13. Степень помола регулируется поворотом заслонки 6 и сменой сепаратора 7. Закрытое состояние крышки дробилки контролируется конечным выключателем 14.

Электрическая схема управления (рис. 5.9) приводами дробилки ДБ-5 предусматривает наладочный *P* и рабочий *A* режимы. Выбирается режим переключателем SA2. В наладочном режиме имеется возможность независимого включения каждого электропривода в отдельности при техническом обслуживании, монтаже и обкатке. Для проверки работы электронного автоматического регулятора загрузки AP3 выключатель SA3 устанавливают в положение «Регулятор».

В рабочем режиме осуществляется заданная последовательность включения электроприводов:  $M1 \rightarrow M2 \rightarrow M4$ . Наличие напряжения на схеме управления контролирует лампа HL1.

Приводом выгрузного шнека управляют кнопками SB1 и SB2 вручную.

Пуск главного привода  $M2$  возможен при закрытой крышке дробилки, когда замкнуты контакты конечного выключателя  $SQ1$ , работает привод  $M1$  (замкнуты блок-контакты  $KM1$  в цепи управления двигателем  $M2$ ) и включен автоматический выключатель  $QF1$  в цепи привода  $M2$ . Для уменьшения пусковых токов пуск двигателя дробилки осуществляется с переключением со «звезды» на «треугольник». Такой пуск возможен, так как момент трогания агрегата (двигатель + дробилка с приведенным моментом инерции  $2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ) ДБ-5 незначителен  $M_{\text{тр}} = 4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , а механическая характеристика холостого хода линейна:  $M_{\text{с. х.}} = 2 + 0,1 \omega$ . Пуск под нагрузкой не допускается.

При нажатии кнопки  $SB4$  включаются пускатель  $KM2$  и двигатель  $M2$  при соединении «звезда» и получает питание реле времени  $KT$ . Через  $10 \text{ с}$  реле  $KT$  отключает  $KM2$ , включает  $KM3$  и двигатель  $M2$  на «треугольник» и подает напряжение на регулятор загрузки  $AP3$  и электромагнитную муфту  $YA$ . Электромагнитная муфта соединяет привод  $M3$  с заслонкой  $12$  (рис. 5.8).

Регулятор  $AP3$  (рис. 5.9) обеспечивает номинальную загрузку двигателя  $M2$ . Он управляет двигателем  $M3$ , который открывает заслонку при малой загрузке двигателя  $M2$  и закрывает ее при превышении номинальной загрузки двигателя  $M2$ . При скачкообразных перегрузках двигателя  $M2$  регулятор  $AP3$  через реле  $KL2$  отключает муфту  $YA$  и заслонка прерывает поток зерна в дробильную камеру. Контакты конечного выключателя  $SQ2$  замыкаются при полностью открытой заслонке и включают сирену  $HA$ .

Пуск привода загрузочного шнека  $M4$  осуществляется кнопкой  $SB6$  при отсутствии зерна в бункере (открыты контакты датчиков уровней: верхнего  $SL.B$  и нижнего  $SL.H$ ). Получившее питание реле  $KL1$  шунтирует кнопку  $SB6$ , пускатель  $KM4$  включает двигатель  $M4$  и размыкает блок-контакты в цепи контактов  $SL.H$ . При заполнении бункера  $9$  (рис. 5.8) до верхнего уровня закрываются контакты  $SL.B$  (рис. 5.9) и шунтируют цепь управления симистором  $V2$ , который отключает привод загрузочного шнека  $KM4$ ,  $M4$ . Блок-контакты  $KM4$  в цепи закрытых контактов  $SL.H$  закрываются. Повторно двигатель  $M4$  пустится при опорожнении зернового бункера до нижнего уровня, когда контакты датчика нижнего уровня  $SL.H$  откроются.

**Измельчитель-смеситель кормов ИСК-3** предназначен для приготовления полнорационных кормовых смесей в поточных технологических линиях кормоцехов ферм крупного

рогатого скота. Грубые корма, подготовленные к смешиванию, скребковым транспортером подаются в приемную камеру 3 ИСК-3 (рис. 5.10). Под действием силы тяжести и всасываемого швырлякой 1 воздуха корма поступают в камеру смешивания. Добавки подаются через форсунки 3. Ингредиенты подвергаются действию ножей 5, противорезов 6 и деки 2, интенсивно измельчаются и смешиваются до однородной массы, которая лопастями швырляки 1 выбрасывается на выгрузной транспортер 9. Продолжительность смешивания и доизмельчения регулируется шибером, расположенным на выходе из камеры смешивания, и количеством противорезающих элементов и секций дек. Валы двигателя 7 и ИСК-3 соединены клиновым ремнем. Механическая характеристика ИСК-3 вентиляторная.

Нагрузочная диаграмма двигателя (40 кВт) привода ИСК-3 без регулирования подачи носит переменный характер (рис. 5.11, а). Временные перегрузки по току достигают 80%. Для выравнивания нагрузки в МИИСП на базе электромагнитной муфты скольжения разработан регулируемый привод питателя ПЗМ-1,5, который принимает грубый корм (солому) с самосвального транспорта и подает его на скребковый транспортер загрузки ИСК-3. В цепь питания электродвигателя дополнительного привода режущих барабанов ПЗМ-1,5 установлен датчик тока, сигнал с кото-

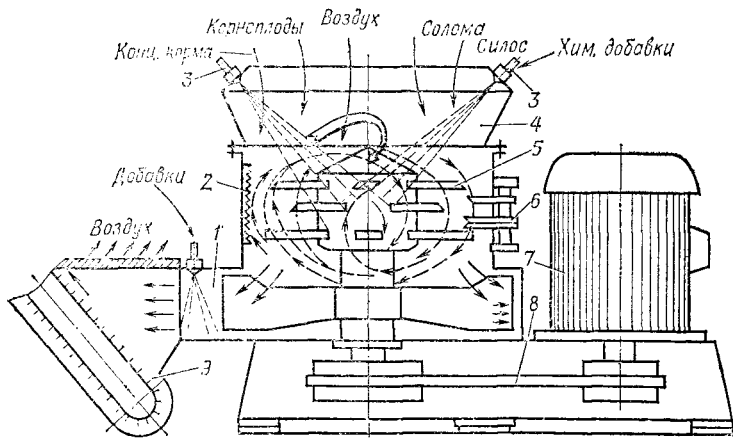


Рис. 5.10. Технологическая схема ИСК-3:

1 — швырляка; 2 — дека; 3 — форсунки для подачи добавок; 4 — приемная камера; 5 — ножи; 6 — противорезы; 7 — двигатель; 8 — клиновое ремне; 9 — выгрузной транспортер.



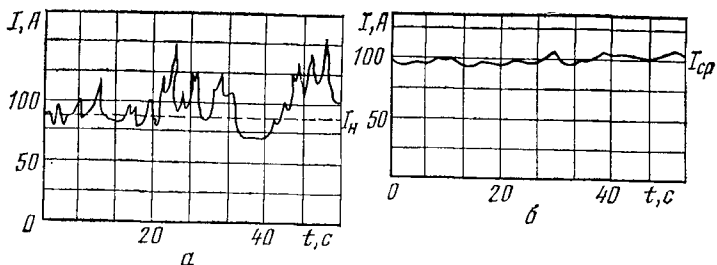


Рис. 5.11. Нагрузочные диаграммы привода ИСК-3:  
 а — без регулятора; б — с регулятором.

рого поступает в блок управления, где происходит сравнение поступающего сигнала с заданным. В случае разности сигналов блок управления подает команду электромагнитной муфте скольжения на уменьшение или увеличение скорости движения подающего транспортера питателя ПЗМ-1,5. В результате солома подается равномерно в ИСК-3, хорошо измельчается, улучшается качество смеси, выравнивается нагрузка привода ИСК-3 (рис. 5.11, б).

### 5.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Автоматизированный агрегат АВМ-0,4А, технологическая схема которого показана на рисунке 5.12, а, б, предназначен для искусственной сушки травы, фуражного зерна, жома сахарной свеклы, солода, листьев, хвои, выжимок, кожицы винограда с последующим измельчением или без него. Продукты перед сушкой измельчают до размера 2...3 см.

Теплоноситель получают, сжигая жидкое топливо, которое из резервуара поступает в электронагреватель 18. Насос 20 через фильтр 19 подает топливо в вентиль давления 21, откуда под заданным давлением оно проходит в форсунку 8. Давление контролируют по манометру 22. Излишки топлива через вентиль 21 возвращаются во всасывающую линию. Часть топлива отводится во всасывающую линию (вентиль 23 открыт) для регулирования температуры теплоносителя.

Технологический процесс приготовления травяной муки протекает следующим образом. Жидкое топливо под давлением до 120 Н/см<sup>2</sup> впрыскивается форсункой 8 в камеру

газификации 7. Сюда же поступает воздух от вентилятора 9. Смесь топлива и воздуха воспламеняется от электрической свечи, поступает в камеру дожигания 10 и сгорает. Нагретые до высокой температуры газы направляются в топку 11, где происходит окончательное сгорание топлива. Перемешиваясь с воздухом, засасываемым вентилятором 2 циклона 3 сухой массы, газы образуют теплоноситель с температурой 600...900°C.

Транспортер 6 подает слой измельченной зеленой массы, регулируемый по толщине битером 5, в барабан 4, который вращается от привода 12. Передвигаясь в потоке теплоносителя и перемешиваясь с ним, масса высыхает, и ее сухие частицы выносятся в циклон 3, где она оседает и откуда через дозатор 13 поступает в дробилку 14.

Процессы сушки и дробления зерна осуществляются аналогично описанному выше при температурах теплоносителя не более 250...300°C, а отработавших газов — 40...60°C. Для загрузки зерна и регулировки его количества на

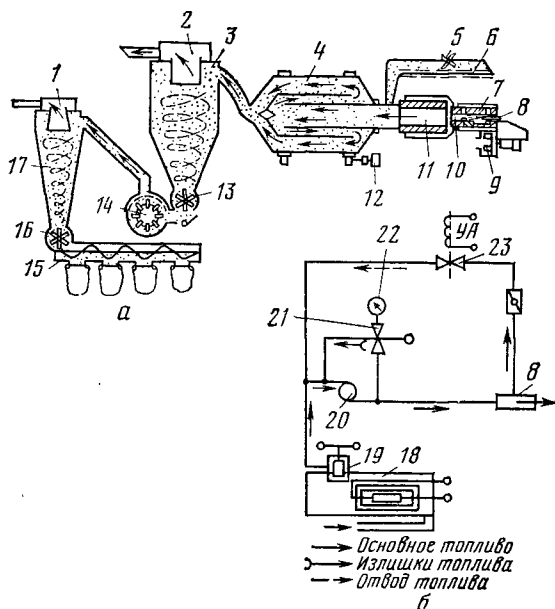
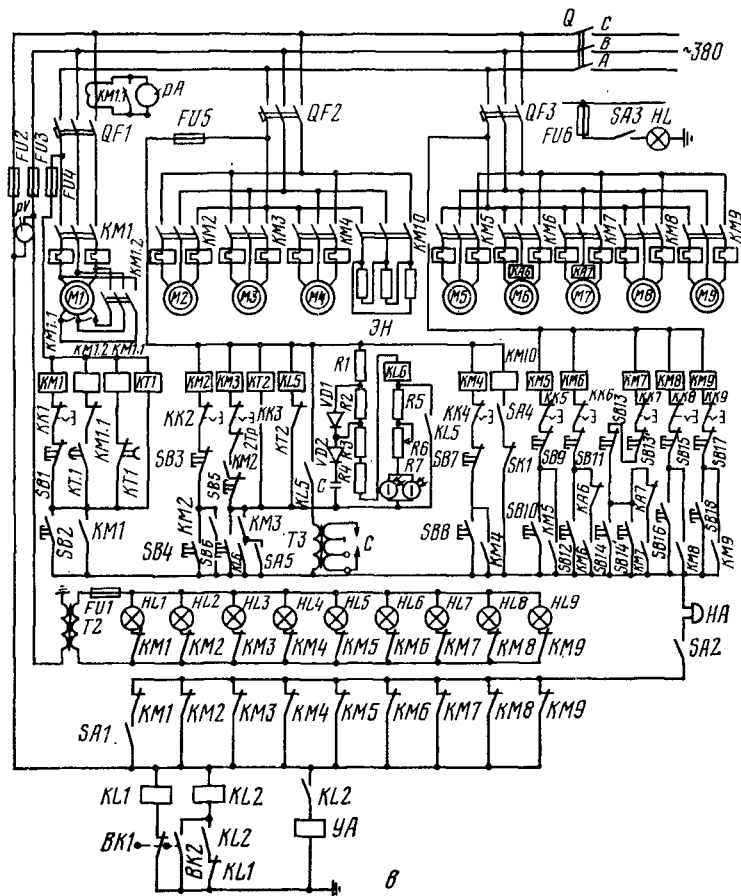


Рис. 5.12. Автоматизированная система управления агрегатом АВМ  
 а — технологическая схема; б — схема подачи топлива; в — принципиальная схема.  
 6 — транспортер; 7 — камера газификации; 8 — форсунка; 10 — камера дожигания; 17 — циклон; 18 — электронагреватель; 19 — фильтр; 20 — насос; 21, 23 — дробилка, вентилятора большого циклона, топливного насоса, вентилятора топки, барабана, транспортера; ЭН — электронагреватель.

передней части питающего транспортера монтируют приемный бункер.

Процесс сушки зерна без измельчения происходит без участия дробилки: зерно после дозатора 13 направляют сразу в циклон 17.

Заключительная операция — выгрузка сухого продукта — осуществляется при помощи дозатора 16 и шнека 15 в мешки.



для приготовления витаминной муки:

ма; 1, 2, 9 — вентиляторы; 3 — циклон сухой массы; 4 — барабан; 5 — биту; ния; 11 — топка; 12 — привод; 13, 16 — дозаторы; 14 — дробилка; 15 — шнек; вентили; 22 — манометр; М1...М9 — соответственно электродвигатели приводов вентилятора малого циклона, дозатора малого циклона, дозатора большого цик-

### Б.3. Характеристики приводных двигателей агрегата АВМ-0,4А

| Узел                                    | Двигатель     |        |                             | Передача                 |
|---|---------------|--------|-----------------------------|--------------------------|
|   | тип           | Р, кВт | исполнение                  |                          |
| Топливный насос                         | АО2-11-4      | 0,6    | М101                        | Прямая                   |
| Вентилятор камеры газификации           | АО2-42-2      | 7,5    | М301                        | Прямая                   |
| Питающий транспортер                    | МР-III-1,7/63 | 1,7    | Мотор-редуктор на 63 об/мин | Редуктор                 |
| Сушильный барабан                       | АОС2-31-6     | 2      | М101                        | Клиноременная и редуктор |
| Вентилятор большого циклона             | АОЛ2-62-4     | 17     | М302                        | Прямая                   |
| Дозатор большого циклона                | МР-III-1,7/63 | 1,7    | Мотор-редуктор на 63 об/мин | Редуктор                 |
| Дробилка                                | АО2-72-2      | 30     | М201                        | Прямая                   |
| Вентилятор малого циклона               | АО2-41-2      | 5,5    | М302                        | Прямая                   |
| Дозатор малого циклона и выгрузной шнек | МР2П-0,6/40   | 0,6    | Мотор-редуктор на 40 об/мин | Редуктор                 |

В основе технологического процесса высокотемпературной сушки лежит принцип мгновенного селективного высушивания. Потери каротина при искусственной сушке составляют 8...10% против 30...50% при естественной.

Производительность агрегата зависит от влажности и вида исходного продукта и колеблется в пределах от 210 до 2000 кг/ч при влажности высушенной массы 8...10%. Испарительная способность сушки до 1500 кг влаги в час, а расход тепла на испарение 1 кг влаги 3350 кДж.

Привод агрегата многодвигательный, автоматизированный. Каждый узел агрегата приводится в движение отдельным двигателем (табл. 5.3).

**Управление агрегатом** осуществляется в соответствии с технологической и электрической схемами. Напряжение на схему (рис. 5.12, в) подается общим рубильником  $Q$  и автоматическими выключателями  $QF1$ ,  $QF2$ ,  $QF3$ . При этом получают питание силовые цепи, цепи управления, сигнализации и контроля. На пульте загораются сигнальные лампы  $HL1...HL9$ .

Для ручного управления двигателями служат кнопочные станции с кнопками «Пуск» и «Стоп»  $SB$ , установленными в цепях катушек магнитных пускателей. Цепи автоматического управления действуют от датчиков температуры.

Пуск двигателей происходит навстречу технологическому потоку в такой последовательности: двигатель  $M6$  дозатора малого циклона, двигатель  $M5$  вентилятора малого циклона, двигатель  $M1$  дробилки, двигатель  $M7$  дозатора большого циклона, двигатель  $M2$  вентилятора большого циклона, двигатель  $M8$  привода барабана, двигатель  $M4$  вентилятора топки, двигатель  $M3$  насоса, подающего топливо к форсунке, двигатель  $M9$  транспортера.

Двигатель  $M1$  дробилки для уменьшения пусковых токов пускают, переключая его обмотки со «звезды» на «треугольник». При нажатии кнопки  $SB2$  включаются пускатели  $KM1$ ,  $KM1.1$ , реле времени  $KT1$  и двигатель  $M1$ , соединенный в звезду. Через 30 с реле  $KT1$  отключает пускатель  $KM1.1$  и включает пускатель  $KM1.2$ , в результате чего обмотки электродвигателя оказываются соединенными в треугольник.

Цепь управления электронагревателем топлива  $ЭН$  включается тумблером  $SA4$ . Автоматическое управление катушкой пускателя  $KM10$  осуществляется температурным реле  $SK1$ . Температура топлива поддерживается на уровне 75°C.

В цепь управления электродвигателем *M3* топливного насоса включены температурное реле *2TP* и контакты реле *KL6* системы контроля пламени. Реле *2TP*, установленное на трубе выходящих газов, отключает электродвигатель насоса, когда температура превысит допустимую ( $125^{\circ}\text{C}$ ).

Электродвигатель *M3* отключается также при остановке электродвигателя *M2* вентилятора циклона сухой массы.

Система контроля пламени предназначена для прекращения подачи топлива при потухании факела в топке, а также для подачи светового и звукового сигналов обслуживающему персоналу. В основу действия этой системы положено свойство фоторезистора изменять свое внутреннее сопротивление под действием света: чем больше освещенность, тем меньше сопротивление. В цепях коммутации схемы применено реле постоянного тока РЭН, питание к которому подается через однополупериодный выпрямитель, собранный на двух диодах (*VD1*, *VD2*). Параллельно диодам включены сопротивления *R2* и *R3*, равномерно распределяющие обратное напряжение на диодах. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются конденсатором *C*. Ток заряда конденсатора в момент включения схемы ограничивает резистор *R1*, а рабочий ток — реле-резисторы *R4*, *R5*, *R6*. Резистор *R4* используется одновременно и для ограничения тока реле в период запуска схемы.

В зависимости от освещения фоторезисторов, регулируя сопротивление *R6*, в некоторых пределах можно изменять ток реле. В качестве датчиков служат фоторезисторы *R7* типа ФСК, установленные в фотоголовки.

Применение реле РЭН *KL6*, у которого ток отпускания в несколько раз меньше тока срабатывания, позволяет рассчитать нормальную работу схемы не на ток срабатывания, а на ток отпускания реле.

В период запуска топки добавочные резисторы *R5*, *R6* и *R7* шунтируются контактами промежуточного реле *KL5*. После запуска двигателя *M2* и нажатия кнопки *SB6* происходит одновременное включение двигателя *M3* форсунки, системы зажигания и реле времени *KT2*. По истечении установленного времени (30...60 с) срабатывает реле времени *KT2*, которое выключает реле *KL5*. Реле *KL5* расшунтирует добавочные резисторы *R5*, *R6*, *R7* и отключает трансформатор зажигания *T3*.

Когда топливо воспламеняется, на фоторезистор *R7* попадает энергия излучения, его внутреннее сопротивление

резко падает, и ток, проходящий через реле, возрастает настолько, что удерживает якорь реле в притянутом состоянии. Если запуск не произошел, необходимо проверить системы подачи топлива и зажигания.

Для автоматического регулирования подачи топлива служит электроконтактный термометр ЭКТ, датчик которого расположен на выхлопной трубе циклона сухой массы. Когда температура ниже установленной, электромагнитный вентиль *УА* закрыт и топливо к форсунке поступает в полном объеме. При достижении заданного максимального теплового режима замыкаются контакты *ВК2*, включаются реле *КЛ2* и электромагнитный вентиль *УА*. Вентиль открывается, и часть топлива от форсунки через дроссельный вентиль отводится во всасывающую магистраль. Температура теплоносителя падает.

При достижении заданного минимального теплового режима закрываются контакты *ВК1* (контакты *ВК2* к этому моменту уже открыты), в цепь тока вводится реле *КЛ1*, выключающее реле *КЛ2* и вентиль *УА*. Вентиль закрывается, подача топлива в форсунку и температура теплоносителя увеличиваются.

Тумблер *SA1* служит для отключения сигнала мельницы при сушке зерна, а тумблер *SA5* — для отключения прибора контроля пламени в случае выхода его из строя.

Силовое электрооборудование при возникновении коротких замыканий отключается воздушными автоматическими выключателями *QF1*, *QF2*, *SF3*. Силовое электрооборудование защищается от перегрузки тепловыми реле и реле максимального тока (для двигателей *М6* и *М7*); цепи аппаратуры управления, сигнализации и контроля защищены плавкими предохранителями. Ток уставки реле максимального тока РТ40/20 к двигателю *М7* дозатора большого циклона составляет 10 А, а к двигателю *М6* дозатора малого циклона — 5 А.

Аппаратура управления и защиты электропривода агрегата смонтирована в герметичном шкафу. Аппаратура сигнализации и контроля (лампы красного цвета, звонок) расположена на панели управления. Загрузку электродвигателя дробилки *М1* контролируют по амперметру *РА*, а наличие напряжения — по вольтметру *PV*.

В целях обеспечения безопасности обслуживающего персонала все металлические части агрегата заземлены.

#### 5.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОРШНЕВЫХ СЕНОСОЛОМОПРЕССОВ

Пресс ПСМ-5А (сенной моторный) предназначен для прессования сена и соломы из скирд в тюки с последующей их ручной обвязкой термически обработанной проволокой. Кинематическая схема (рис. 5.13, а) пресса содержит детали, совершающие колебательное и возвратно-поступательное движения.

Механическая характеристика на холостом ходу имеет в основном линейно-возрастающий вид:

$$M_{c,x} = M_1 e^{-cn} + M_0 + an, \quad (5.23)$$

где  $M_1 = M_{тр} - M_0$  — разность между моментом трогания  $M_{тр}$  и расчетной составляющей момента  $M_0$ , которую определяют в точке пересечения продолжения линейной части характеристики с осью моментов, Н·м;  $c$  — коэффициент, определяющий интенсивность спада момента трогания, мин/об;  $n$  — частота вращения, об/мин;  $a$  — коэффициент пропорциональности, Н·м·мин/об.

Момент трогания  $M_{тр}$  пресса зависит от угла поворота кривошипного вала и находится в пределах от 203 до 350 Н·м при наличии транспортера и от 160 до 310 Н·м без него. Для тех же условий составляющая  $M_0 = 178$  Н·м и 145 Н·м.

Наиболее энергоемкие узлы пресса — кривошипно-шатунные механизмы поршня и набивателя, которые поглощают до 47% мощности холостого хода. Нагрузочная диаграмма пресса \* (рис. 5.13, б) носит резко переменный характер. Пики моментов сопротивления достигают —480 и +85 Н·м при прессовании люцерны влажностью 14% до плотности 390 кг/м<sup>3</sup> и подаче 2 кг на каждый ход поршня. Степень неравномерности по моменту равна 9. На прессовании сена до плотности 358 кг/м<sup>3</sup> и при той же подаче пики момента сопротивления достигают —772 и +80 Н·м, а степень неравномерности увеличивается до 25. По ходу нагрузочной диаграммы видно, что момент сопротивления от проталкивания сена в прессовальную камеру очень мал (участок *аб*) по сравнению с моментом сопротивления от уплотнения и проталкивания всех порций сена через мундштук пресса (участок *вгде*). В начале обратного хода поршня (участок *еж*) момент машины из-за реакции упругих сил сжатого столба сена в мундштуке пресса меняет свой знак.

С целью уменьшения колебаний нагрузки и выравнивания нагрузочной диаграммы в машине применен маховик,

\* Получена в ЧИМЭСХ,



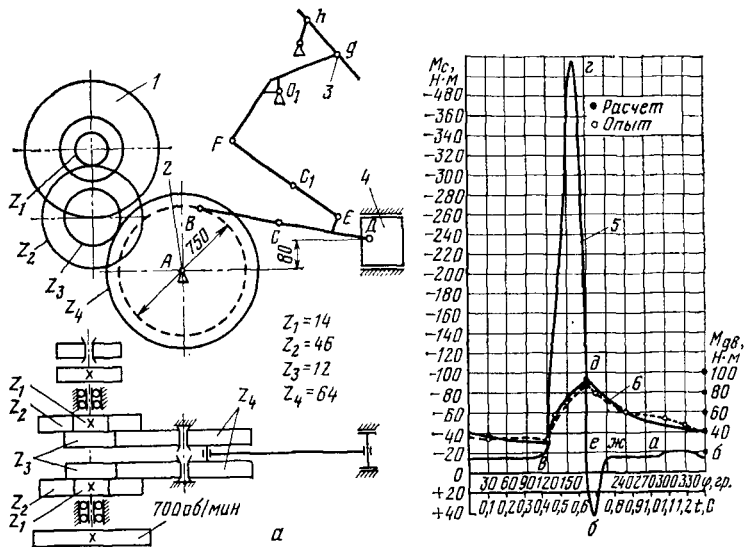


Рис. 5.13. Приводные характеристики поршневого пресса:

а — кинематическая схема; б — нагрузочные диаграммы; 1 — маховик; 2 — кривошипный вал; 3 — набиватель; 4 — поршень; 5 — диаграмма пресса; 6 — диаграмма двигателя привода пресса.

момент инерции которого значительно больше переменного момента инерции деталей со сложным движением. Маховик за счет запаса кинетической энергии создает динамический момент, действующий при снижении скорости вращения, и способствует преодолению пика нагрузки. Благодаря действию момента инерции нагрузочная диаграмма электродвигателя значительно отличается от нагрузочной диаграммы пресса. В результате требуемый от электродвигателя максимальный момент намного меньше максимального момента сопротивления.

Мощность двигателя для привода сеносолюмопресса выбирают путем последовательных приближений с использованием методики определения параметров маховикового электропривода при косинусоидально-прямоугольном графике нагрузки рабочей машины, разработанной профессором Г. И. Назаровым. Реальную нагрузочную диаграмму пресса заменяют эквивалентной ей по площади косинусоидально-прямоугольной (рис. 5.14). Аналитическая запись эквивалентной диаграммы на участке  $OO_1$ :

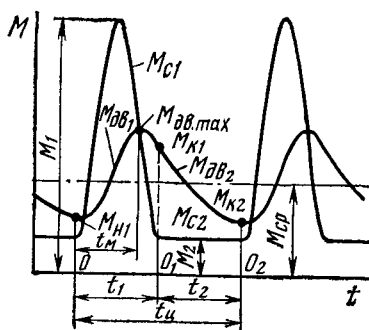


Рис. 5.14. Нагрузочные диаграммы:  $M_{с1}$ ,  $M_{с2}$  — косинусоидально-прямоугольная машина;  $M_{дв1}$ ,  $M_{дв2}$  — электродвигатели.

Параметры эквивалентной диаграммы определяют по параметрам реальной диаграммы:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1p}; \quad M_2 = M_{2p}; \quad t_{ц} = t_{ц.p}; \\ t_1 &= \frac{2(S_p - M_2 t_{ц})}{M_1 - M_2}; \quad t_2 = t_{ц} - t_1, \end{aligned} \quad (5.26)$$

где  $M_{1p}$  — пик момента на первом участке реальной диаграммы;  $M_{2p}$  — средний момент на втором участке;  $t_{ц.p}$  — время реального цикла;  $S_p$  — площадь, ограниченная реальной нагрузочной диаграммой за один цикл, Н·м·с.;  $t_2$  — продолжительность работы на втором участке.

Вначале двигатель выбирают по графику нагрузки с учетом коэффициента запаса:

$$P_{дв} = (1,1 \dots 1,3) P_{ср}. \quad (5.27)$$

Среднюю мощность определяют по формуле

$$P_{ср} = \frac{S_p}{t_{ц}} \omega_{ср} \quad (5.28)$$

или

$$P_{ср} = M_2 + 0,5(M_1 - M_2) \frac{t_1}{t_{ц}} \omega_{ср}, \quad (5.29)$$

где  $t_{ц} = t_1 + t_2$  — продолжительность цикла;  $\omega_{ср}$  — средняя скорость вращения за цикл, рад/с.

Затем двигатель проверяют по нагреву, исходя из условия

$$M_n \geq k_{ф.д} M_{ср}, \quad (5.30)$$

где  $M_n$  — номинальный момент выбранного двигателя.

$$\begin{aligned} M_{с1} &= 0,5(M_1 + M_2) - \\ &- 0,5(M_1 - M_2) \cos\left(\frac{2\pi}{t_1} t\right); \end{aligned} \quad (5.24)$$

на участке  $O_1O_2$ :

$$M_{с2} = M_2 = \text{const}, \quad (5.25)$$

где  $M_{с1}$  — момент сопротивления рабочей машины на первом участке;  $M_1$  — максимальное значение момента сопротивления на первом участке;  $M_2$  — момент сопротивления на втором участке;  $t_1$  — продолжительность работы на первом участке;  $t$  — текущая координата времени с началом отсчета в точке  $O$ .

Коэффициент формы нагрузочной диаграммы учитывает условия нагрева двигателя:

$$k_{\text{ф.д}} = \frac{M_{\text{д.э}}}{M_{\text{ср}}} \quad (5.31)$$

Эквивалентный момент двигателя

$$M_{\text{дв.э}} = \sqrt{\left( \int_0^{t_1} M_{\text{дв1}}^2 dt + \int_{t_1}^{t_1+t_2} M_{\text{дв2}}^2 dt \right) \frac{1}{t_1+t_2}} \quad (5.32)$$

Для косинусоидально-прямоугольного графика при линейной механической характеристике двигателя профессором Г. И. Назаровым получено аналитическое выражение и построены диаграммы (рис. 5.15) для определения коэффициента формы нагрузочной диаграммы двигателя:

$$k_{\text{ф.дв}} = \frac{1}{M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2} \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{1}{t_2 + t_2} \left\{ M_2^2 (t_1 + t_2) + M_2 (M_1 - M_2) t_1 + \frac{(M_1 - M_2)^2}{4 (t_1^2 + 4\pi^2 B^2)^2} \times \right.$$

$$\times (1,5t_1^5 + 10B^2\pi^2 t_1^3 + 16\pi^4 B^4 t_1) +$$

$$\left. + \frac{4 (M_1 - M_2)^2 B^5 \pi^4}{(t_1^2 + 4\pi^2 B^2)^2 \left( e^{\frac{t_2}{B}} - e^{\frac{t_1}{B}} \right)^2} \times \right.$$

$$\left. \times \left( e^{\frac{2t_2 - t_1}{B}} - e^{\frac{2t_2}{B}} - e^{\frac{-t_1}{B}} + e^{\frac{-2t_1}{B}} + e^{\frac{t_2}{B}} - e^{\frac{t_2 - 2t_1}{B}} \right) \right\}, \quad (5.33)$$

где  $B = \frac{J \omega_0 S_{\text{н}}}{M_{\text{н}}}$  — электромеханическая постоянная времени агрегата;  $J = J_{\text{дв}} + J_{\text{м}}$  — приведенный момент инерции агрегата;  $J_{\text{дв}}$  — момент инерции двигателя;  $J_{\text{м}}$  — приведенный момент инерции машины;  $\omega_0$  — синхронная угловая скорость электродвигателя;  $s_{\text{н}}$  — номинальное скольжение электродвигателя.

Для определения коэффициента формы нагрузочной диаграммы двигателя подсчитывают безразмерные соотношения:

$$y = t_1/B; \quad (5.34)$$

$$\alpha = M_2/M_1; \quad (5.35)$$

$$\varepsilon = t_1/(t_1 + t_2). \quad (5.36)$$

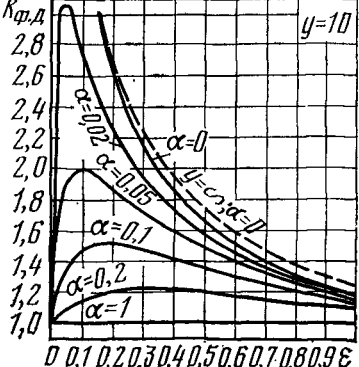
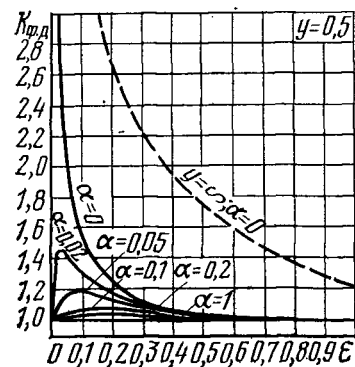
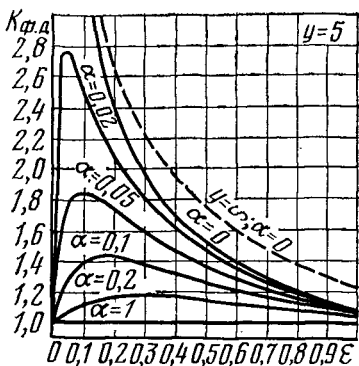
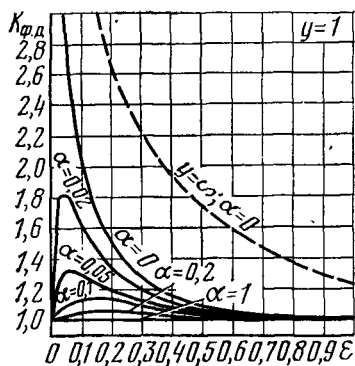
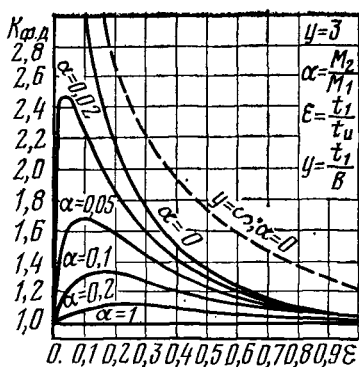
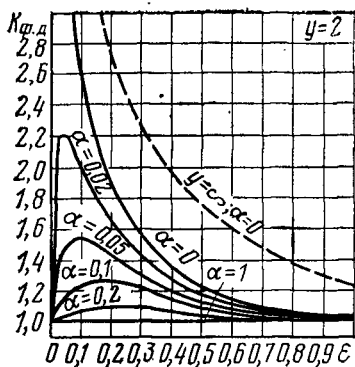


Рис. 5.15. Диаграммы для определения коэффициента формы нагрузочной диаграммы двигателя при косинусоидально-прямоугольном графике нагрузки рабочей машины:

— маховиковый привод; - - - безмаховиковый привод.

По  $y$  выбирают диаграмму на рисунке 5.15, по  $\alpha$  — кривую  $k_{\phi, д} = f(\varepsilon)$  на этой диаграмме, по  $\varepsilon$  — значение  $k_{\phi, д}$  на кривой  $k_{\phi, д} = f(\varepsilon)$ .

Если условие (5.30) соблюдено, то останавливаются на выбранном двигателе, если же нет, то принимают двигатель большей мощности и проверяют его.

Затем проверяют двигатель на перегрузочную способность:

$$\lambda M_n \geq M_{\text{дв. max}}, \quad (5.37)$$

где  $\lambda$  — коэффициент допускаемой механической перегрузки двигателя (выбирается с учетом возможного снижения напряжения);  $M_{\text{дв. max}}$  — максимальный момент по нагрузочной диаграмме двигателя.

Момент  $M_{\text{дв. max}}$  определяют следующим образом. Рассчитывают

$$y = t_1/B \text{ и } z = t_2/t_1. \quad (5.38)$$

По диаграмме на рисунке 5.16 находят

$$x = t_m/t_1, \quad (5.39)$$

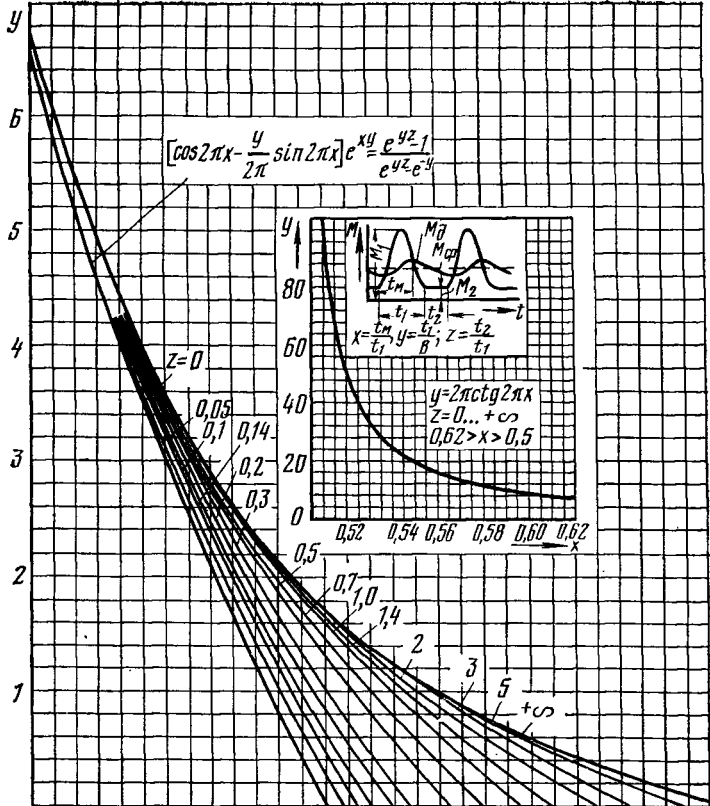
вычисляют

$$t_m = xt_1, \quad (5.40)$$

подставляют это значение в формулу (5.24) вместо  $t$  и подсчитывают  $M_{\text{дв. max}}$ .

Методика расчета маховикового привода, разработанная профессором Г. И. Назаровым, удобна тем, что позволяет определить  $k_{\phi, д}$  и  $M_{\text{дв. max}}$  по нагрузочной диаграмме машины, не прибегая к построению нагрузочной диаграммы двигателя.

Условия пуска двигателя под нагрузкой зависят от начального положения поршня. Самые тяжелые условия характерны для точки  $b$  (рис. 5.13), самые легкие — для точки  $e$ ; однако  $e$  — точка неустойчивого равновесия, поэтому перед пуском поршень переводят в точку  $ж$ . На участке  $жабв$  пусковой момент двигателя больше момента сопротивления: при включении двигатель трогается с места и разгоняет агрегат. На участке  $вгд$  момент сопротивления больше момента двигателя: агрегат замедляется. Если скорость двигателя в точке  $д$  положительна, будет происходить дальнейшее увеличение скорости после прохождения поршнем передней «мертвой» точки. Разгон агрегата возможен, хотя пусковой момент двигателя и меньше максимального момента сопротивления.



0,52 0,54 0,56 0,58 0,60 0,62 0,64 0,66 0,68 0,70 0,72 0,74 0,76 0,78 0,80 0,82 0,84 0,86 0,88 0,90 x

Рис. 5.16. Диаграмма зависимости  $F(x, y, z) = 0$ .

При этом энергия  $\mathcal{E}_{дв}$ , отдаваемая двигателем, должна быть для уверенного разгона больше энергии  $\mathcal{E}_c$ , расходуемой на преодоление сопротивлений в системе не меньше чем на 25%:

$$\mathcal{E}_{дв} = \int_0^{2\pi} M_{дв} d\varphi > 1,25 \mathcal{E}_c = 1,25 \int_0^{2\pi} M_c d\varphi, \quad (5.41)$$

где  $M_{дв}$  — момент, развиваемый двигателем при пуске;  $\varphi$  — угол поворота кривошипного вала; 1,25 — коэффициент запаса для обеспечения уверенного разгона;  $M_c$  — момент сопротивления прессы.

Принимая момент двигателя при пуске постоянным и равным пусковому моменту

$$M_{дв} = M_n = \text{const}, \quad (5.42)$$

а также учитывая возможные снижения напряжения при пуске, условие (5.41) можно выразить так:

$$u_1^2 M_n > 1,25 \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_c d\varphi = 1,25 M_{ср}, \quad (5.43)$$

где  $u_1 = U/U_n$  — напряжение на двигателе при пуске, отн. ед.;  $M_{ср}$  — средний момент сопротивления по нагрузочной диаграмме.

Кроме того, кинетическая энергия привода при скорости  $\omega_b$  в начале пика момента сопротивления должна быть достаточной, чтобы совершить дополнительную работу  $A_{с. доп}$  по преодолению момента сопротивления  $M_c$  на участке его пика  $vgd$ , пропорциональную площади  $S_{vgd}$  (рис. 5.13):

$$\frac{J\omega_b^2}{2} \geq S_{vgd} m_m m_\varphi, \quad (5.44)$$

где  $m_m$  — масштаб момента, Н·м/мм;  $m_\varphi$  — масштаб углового пути, рад/мм.

Кинетическая энергия привода в точке  $v$  определяется работой момента избыточного  $M_{изб} = M_n - M_2$  [здесь приняты условия (5.25) и (5.42)] на участке  $жаbv$ , которому соответствует угол поворота  $\varphi_1$ , поэтому

$$\frac{J\omega_b^2}{2} = M_{изб}\varphi_1, \quad (5.45)$$

откуда

$$\omega_b = \sqrt{\frac{2M_{изб}\varphi_1}{J}}. \quad (5.46)$$

Эта расчетная скорость не должна быть больше номинальной

$$\omega_b \leq \omega_n, \quad (5.47)$$

в противном случае необходимо увеличить приведенный момент инерции.

Дополнительная работа с некоторым приближением может быть определена по формуле

$$A_{с. доп} = S_p m_m m_\varphi - M_n \varphi_{ve}, \quad (5.48)$$

где  $S_p$  — площадь, ограниченная кривой момента сопротивления на участке пика при повороте кривошипа на угол  $\varphi_{ve}$  от точки  $v$  до точки  $e$ .

## Глава 6. ЭЛЕКТРОПРИВОД МАШИН ДЛЯ ДОЕНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА

### 6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для доения коров применяют различное оборудование: при стойловом содержании доильные агрегаты АД-100А, ДАС-2Б (стационарный), АДМ-8 (с молокопроводом); в доильном зале при беспривязном содержании доильные установки «Тандем» УДТ-8, «Тандем» УДА-8 (автоматизированные), «Елочка» УДЕ-8А, «Елочка» УДА-16 (автоматизированная), УДС-3А (универсальная станция может применяться и на пастбищах). Основные данные доильных установок приведены в таблице 6.1.

#### 6.1. Основные данные доильных установок

| Тип установки | Производительность, доек/ч | $P_{уст'}$ , кВт | Число      |                    |           |
|---------------|----------------------------|------------------|------------|--------------------|-----------|
|               |                            |                  | операторов | доильных аппаратов | коров     |
| АД-100А       | 60...64                    | 3                | 4          | 8                  | 100       |
| ДАС-2Б        | 68...76                    | 3                | 4          | 8                  | 100       |
| АДМ-8:        |                            |                  |            |                    |           |
| исполнение 07 | 52...58                    | 5,1              | 3          | 6                  | 100       |
| исполнение 04 | 104...116                  | 9,1              | 4          | 12                 | 200       |
| УДТ-8         | 60...70                    | 20               | 2          | 8                  | 200...400 |
| УДА-8         | 60...65                    | 18               | 1          | 8                  | 200...400 |
| УДЕ-8А        | 80...90                    | 22               | 2          | 16                 | 400...600 |
| УДА-16        | 70...75                    | 22               | 1          | 16                 | 400...600 |
| УДС-3         | 50                         | 5,9              | 2          | 8                  | 100...200 |

### 6.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД РОТАЦИОННЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Ротационный вакуум-насос служит для создания в вакуум-проводе установки разрежения, необходимого для работы доильных аппаратов. В четырех пазах ротора 1 насоса (рис. 6.1) свободно движутся в радиальном направлении лопатки 2. Во время вращения ротора лопатки под действием центробежной силы прижимаются к внутренней поверхности цилиндра корпуса 3. Из-за эксцентричного



расположения ротора в цилиндре лопасти то погружаются в пазы, то выходят из них, изменяя объем свободного пространства, ограниченный цилиндром, ротором и двумя соседними лопатками, который в зоне всасывающей камеры увеличивается, а в зоне выхлопной камеры уменьшается. Благодаря этому создается отсос воздуха из вакуум-провода.

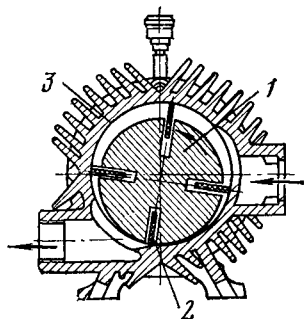


Рис. 6.1. Схема ротационного вакуум-насоса.

Потребная подача  $Q_{\text{п}}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) вакуум-насоса

$$Q_{\text{п}} = kqn_{\text{а}}, \quad (6.1)$$

где  $k=2...3$  — коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы;  $q$  — расход воздуха одним доильным аппаратом, при 60 пульсациях в минуту  $q=1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $n_{\text{а}}$  — число доильных аппаратов в установке.

Подача ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) четырехлопастного ротационного вакуум-насоса

$$Q = 0,98eDL\omega\varphi_{\text{н}}\eta_{\text{м}}, \quad (6.2)$$

где  $e$  — эксцентриситет, м;  $D$  — диаметр цилиндра корпуса, м;  $L$  — длина ротора, м;  $\omega$  — угловая скорость вращения, рад/с;  $\varphi_{\text{н}}$  — степень наполнения всасывающей камеры;  $\eta_{\text{м}}$  — манометрический коэффициент (0,32...0,52).

Мощность двигателя (Вт) привода ротационного вакуум-насоса

$$P = \frac{QH}{\eta_{\text{п}}\eta_{\text{н}}}, \quad (6.3)$$

где  $Q$  — подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — вакуум, развиваемый насосом, Па;  $\eta_{\text{п}}$  — коэффициент полезного действия передачи;  $\eta_{\text{н}}$  — коэффициент полезного действия вакуум-насоса (0,2...0,25).

Для создания вакуума при машинном доении применяются унифицированные вакуумные установки УВУ-60/45 с приводом от электродвигателя через клиноременную передачу. Номинальная подача 60/45  $\text{м}^3/\text{ч}$  при частотах вращения 1430/1220 об/мин и мощности 4 кВт на высшей частоте вращения и 3 кВт на низшей.

Нагрузочная диаграмма вакуум-насоса равномерна, не зависит от температуры вакуум-насоса, режим работы длительный. Механическая характеристика вакуум-насоса име-

ет слабовыраженный вентиляторный вид (см. рис. 1.1). Момент трогания находится в пределах (0,75...1,0)  $M_H$ .

Продолжительность работы приводов вакуум-насосов доильной установки за одну дойку

$$t = \frac{kt_0n_k}{n_a} + \Delta t, \quad (6.4)$$

где  $k$  — 0,88 — относительное число доящихся коров в стаде;  $t_0$  — продолжительность дойки одной коровы (7...9 мин);  $n_k$  — общее число коров в стаде;  $n_a$  — число доильных аппаратов в установке;  $\Delta t$  — время промывки молокопровода и аппаратов (20...30 мин).

### 6.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Первичная обработка молока на животноводческих фермах включает следующие операции: очистку, охлаждение, сепарирование и пастеризацию молока. Охлаждают молоко при помощи холодильных машин: очистителя-охладителя молока ОМ-1, танка-охладителя молока ТОМ-2А, резервуаров-охладителей молока РПО-1,6 и РПО-2,5, холодильной установки МХУ-8С, холодильной установки ОТ-30 и др.

Для пастеризации молока рекомендуются пастеризационно-охладительные установки ОПФ-1-300, ОПУ-3М и др.

Танк-охладитель ТОМ-2А (рис. 6.2, а) применяют для очистки, охлаждения и длительного хранения молока на молочных фермах с поголовьем 400 коров. Молоко (1800 л) заливают в молочную ванну 1 через фильтр 18, где оно перемешивается мешалкой 17 и охлаждается от 36 до 6°C за 2,5 ч, соприкасаясь с холодными стенками и днищем ванны. Наружная поверхность ванны орошается водой из системы орошения 2. Подогретая вода стекает в ванну и, омывая лед, намороженный на панелях испарителя 12, охлаждается, а затем насосом 13 (тип 1,5 КМ-6) снова подается в систему орошения через фильтр 14.

При работе поршневой компрессор 11 сжимает пары фреона и нагнетает их в конденсатор 8 воздушного охлаждения. В конденсаторе пары фреона превращаются в жидкость, стекающую в ресивер 9. Из ресивера фреон поступает через змеевик теплообменника 7, фильтр-осушитель 6 в терморегулирующий вентиль 4 (тип ТРВК-20), где дросселируется с давления конденсации до давления кипения и заполняет панели испарителя. В испарителе 12 фреон отнимает тепло от окружающей его воды и в парообразном виде вновь засасывается компрессором (ФУ-12). Терморегулирую-





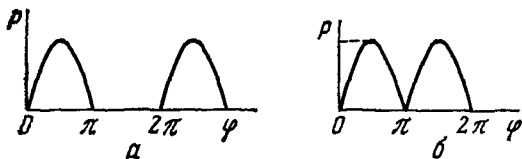


Рис. 6.3. Нагрузочные диаграммы компрессоров поршневого типа одинарного (а) и двойного (б) действия.

Па, блок высокого давления — на размыкание контактов при избыточном давлении в конденсаторе  $112 \cdot 10^{-4}$  Па, на замыкание при  $88 \cdot 10^{-4}$  Па. Электрооборудование резервуара рассчитано на линейное напряжение в сети 380 и 220 В. Холодопроизводительность агрегата 12 кВт. Пропускная способность 5400 кг молока в сутки за три цикла.

Мощность на валу компрессоров, насосов поршневого типа изменяется по синусоидальному закону в зависимости от угла поворота кривошипа (рис. 6.3). У поршневых насосов одинарного действия подача осуществляется только при движении поршня вперед. Механизм двойного действия осуществляет подачу при ходе поршня в обе стороны.

Средняя мощность по графику нагрузки (рис. 6.3, б)

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P d\varphi = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P_{\text{max}} \sin \varphi d\varphi = \frac{2P_{\text{max}}}{\pi}. \quad (6.5)$$

Степень неравномерности нагрузки  $\delta = P_{\text{max}}/P_{\text{ср}}$  для графика, изображенного на рисунке 6.3, б, равна  $0,5\pi$ , а для графика на рисунке 6.3, а составляет  $\pi$ .

При работе поршневого компрессора на магистраль с постоянным давлением при каждом ходе поршня преодолевается постоянное среднее усилие независимо от угловой скорости, поэтому и двигатель работает с постоянным моментом, независимым от угловой скорости. Мощность (кВт) и подача ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) при этом возрастают пропорционально угловой скорости:

$$P = \frac{QH}{\eta_k \eta_n} 10^{-3} = \frac{Q(P_2 - P_1)}{\eta_k \eta_n} 10^{-3}, \quad (6.6)$$

где  $Q$  — подача компрессора;  $H$  — давление компрессора, Па;  $P_1$  — начальное давление газа, Па;  $P_2$  — конечное давление сжатого газа, Па;  $\eta_k$  — КПД компрессора;  $\eta_n$  — КПД передачи от двигателя к компрессору.

После подсчетов по каталогу выбирают двигатель для длительного режима работы ближайшей большей мощности.

#### 6.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД СЕПАРАТОРОВ МОЛОКА

Сепарирование молока — это механический процесс отделения сливок от обраты, осуществляемый при помощи центробежных сил, которые действуют на частицы молока при вращении его в барабане сепаратора. Для молочных блоков коровников, прифермских молочных крупных ферм, колхозных и совхозных сепараторных пунктов и молочных заводов рекомендуются к применению сепараторы марок ОСБ-1000 и ОСП-3М.

Механическая характеристика сепаратора без учета резонансных пиков может быть выражена формулой

$$M_c = M_0 + b\omega^2, \quad (6.7)$$

где  $M_0$  — начальный момент на валу привода, в среднем равный 0,2 Н·м;  $b$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематической схемы привода, массы барабана, шероховатости поверхности барабана сепаратора, для центрифуг производительностью 50...1000 л/ч этот коэффициент в среднем равен  $18,24 \times 10^{-7}$  Н·м/(рад/с)<sup>2</sup>;  $\omega$  — угловая скорость барабана, рад/с.

Квадратичная зависимость момента сопротивления сепаратора сохраняется при линейной скорости барабана до 70 м/с. Применительно к сепараторам сельскохозяйственного назначения это соответствует частоте вращения барабана 10 000 об/мин.

Расчетная мощность привода сепаратора

$$P_{\text{расч}} = hM_c\omega, \quad (6.8)$$

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

Выбирают сепараторы в каталоге по производительности.

Для рабочего процесса электропривода сепаратора характерны три режима: 1) пуск в ход, когда мощность двигателя уменьшается от пусковой до мощности холостого хода; 2) приложения нагрузки, когда мощность кратковременно и незначительно возрастает, а затем спадает; 3) установившийся режим при постоянных нагрузке и скорости вращения (рис. 6.4).

Во время работы сепаратора необходимо поддерживать постоянную частоту вращения барабана. Ее снижение сопровождается ухудшением отделения сливок, а увеличение приводит к преждевременному износу червячной пары. Поэтому для привода сепараторов следует применять элект-

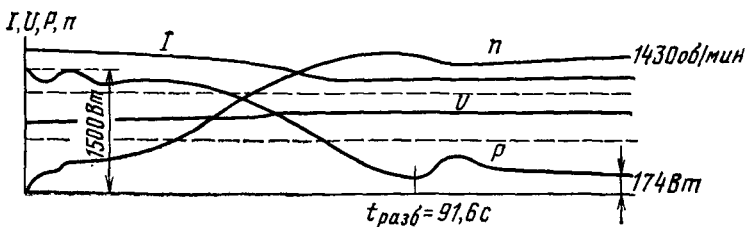


Рис. 6.4. Нагрузочные диаграммы электропривода сепаратора «Урал-6».

родвигатели с жесткой механической характеристикой (трехфазные и однофазные короткозамкнутые асинхронные двигатели). По условиям окружающей среды для молочных наиболее подходят электродвигатели закрытого обдуваемого химвлагостойкого исполнения.

Молочным сепараторам присущ большой приведенный момент инерции, а следовательно, им свойственно длительное время разбега, достигающее 1,5 . . 3 мин и даже более. При установке двигателя завышенной мощности возникают значительные динамические усилия, которые могут привести к поломке червячной пары. Поэтому для облегчения условий пуска применяют двухскоростные двигатели, центробежные или электромагнитные муфты.

Использование двух- и многоскоростных двигателей позволяет снизить пусковые потери, а вместе с ними и уменьшить нагрев двигателя. Вначале происходит разбег до половинной частоты вращения при увеличенном пусковом моменте, а затем до номинальной частоты вращения при обычном пусковом моменте.

Потери в асинхронном двигателе при пуске

$$\Delta A_{\text{п}} = \int_{s_{\text{кон}}}^{s_{\text{нач}}} J \omega_0^2 \left( 1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right) s ds, \quad (6.9)$$

где  $J$  — суммарный приведенный момент инерции сепаратора и двигателя;  $\omega_0$  — синхронная угловая скорость двигателя;  $R_1'$  — сопротивление обмотки статора;  $R_2'$  — приведенное сопротивление обмотки ротора;  $s$ ,  $s_{\text{нач}}$ ,  $s_{\text{кон}}$  — значения текущего, начального и конечного скольжения двигателя.

При пуске двигателя в одну ступень из неподвижного состояния ( $s_{\text{нач}} = 1$ ) до синхронной скорости ( $s_{\text{кон}} \cong 0$ )

$$\Delta A_{\text{п}} = \frac{J \omega_0^2}{2} \left( 1 + \frac{R_1'}{R_2'} \right). \quad (6.10)$$

Пуск двухскоростного двигателя осуществляют вначале на первой ступени из неподвижного состояния ( $\omega_{\text{нач}}=0$ ,  $s_{\text{нач}}=1$ ) до половинной скорости ( $\omega_{\text{кон}}=\omega_{01}=\omega_{02}/2$ ,  $s_{\text{кон}}=0,5$ ):

$$\Delta A_{\text{п1}} = J\omega_{01}^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \int_0^1 s ds = \frac{J\omega_{01}^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) = \\ = \frac{J\omega_{02}^2}{8} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right), \quad (6.11)$$

где  $\omega_{01}$ ,  $\omega_{02}$  — первая и вторая синхронные угловые скорости.

Затем двигатель переключают на вторую скорость: происходит разбег двигателя от половинной скорости ( $\omega_{\text{нач}}=\omega_{02}/2$ ;  $s_{\text{нач}}=0,5$ ) до полной ( $\omega_{\text{кон}}\cong\omega_{02}$ ,  $s_{\text{кон}}\cong 0$ ):

$$\Delta A_{\text{п2}} = J\omega_{02}^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \int_0^{0,5} s ds = \frac{J\omega_{02}^2}{8} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right). \quad (6.12)$$

Общие потери в двигателе при двухступенчатом пуске

$$\Delta A_{\text{п}} = \Delta A_{\text{п1}} + \Delta A_{\text{п2}} = \frac{J\omega_{02}^2}{4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \quad (6.13)$$

в два раза меньше, чем при одноступенчатом (6.10).

Преимущества двухступенчатого пуска видны из анализа механических характеристик (рис. 6.5, а) двухскоростного электропривода сепаратора СПМФ-2000 с высокоскоростным электродвигателем мощностью 1,5 кВт. При включении на первую скорость кнопкой *SB* (рис. 6.5, б) двигатель развивает больший пусковой момент при меньшем пусковом токе. При достижении 4000 об/мин и более ЭДС тахогенератора *BR* становится равной напряжению срабатывания реле *KL*, которое отключает контактор *KM1* и обмотку первой скорости и включает контактор *KM2*, переводя двигатель на вторую скорость. Происходит дальнейший разбег до номинальной частоты вращения при увеличенном избыточном моменте и пониженном по сравнению с начальным на этой (второй) ступени пусковым током.

Преимущества этого электропривода заключаются в более простом передаточном устройстве (соединительная муфта), меньшем пусковом токе, большем пусковом моменте, приводящем к сокращению времени пуска.

Центробежная муфта позволяет двигателю вначале набрать скорость почти вхолостую за небольшое время и при



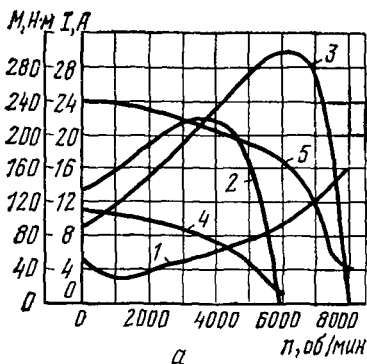
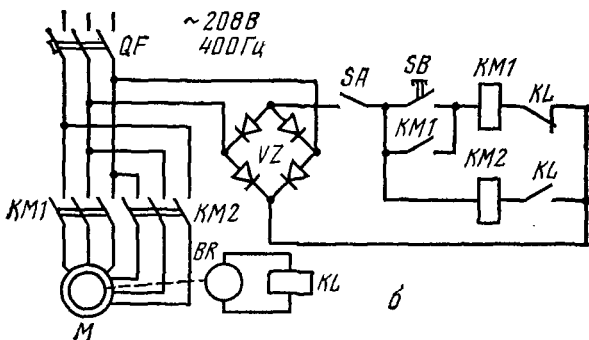


Рис. 6.5. Двухскоростной электропривод сепаратора: а — механические характеристики электропривода СПМФ-2000 при 400 Гц; б — схема управления; 1 — момент сопротивления сепаратора; 2 и 4 — момент и ток двигателя на первой частоте вращения при  $n_{01} = 6000$  об/мин; 3 и 5 — момент и ток двигателя на второй частоте вращения при  $n_{02} = 8000$  об/мин.



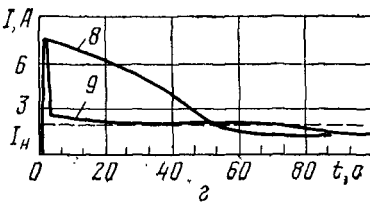
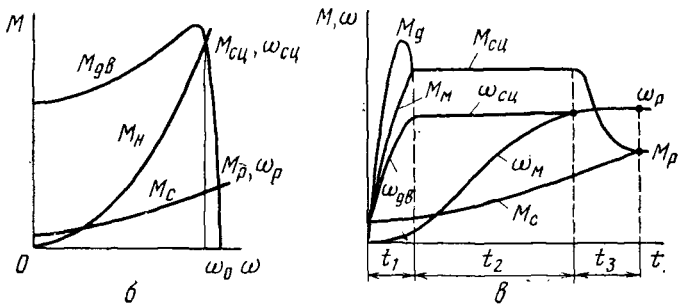
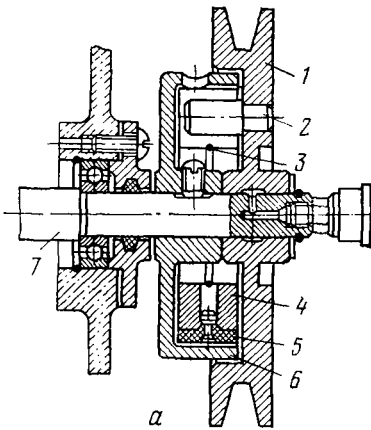
малых пусковых токах (за исключением первого броска тока), а затем принять нагрузку. Поэтому такую муфту применяют при тяжелых условиях работы: а) для уменьшения времени разбега двигателя в приводах с большими маховыми массами рабочей машины; б) для преодоления момента трогания рабочей машины за счет использования критического момента двигателя; в) для обеспечения пуска двигателя на холостом ходу от маломощной сети.

Центробежная муфта (рис. 6.6, а) состоит из следующих частей: ведущего барабана-шкива 1 с пальцами 2, ведомого барабана 6, колодок 4 с наклепанными на них накладками 5. Колодки поддерживаются пружинным кольцом 3. Муфта насажена на приводной вал 7 рабочей машины, а ведущий барабан 1 может вращаться относительно этого вала. Барабан 1 соединен с двигателем клиноременной передачей.

При включении двигателя шкив 1 начинает вращаться,

Рис. 6.6. Электропривод с центробежной муфтой:

а — кинематическая схема; б — механические характеристики привода; в — нагрузочные диаграммы в период разгона; г — диаграммы пускового тока двигателя АОЛ-22-4 привода сепаратора «Урал-6», позиции 1...7 объяснены в тексте; 8 — пуск без муфты; 9 — пуск с муфтой;  $M_H = M_M$ .



пальцы 2 увлекают колодки 4, которые скользят по внутренней цилиндрической поверхности барабана 6. По мере увеличения частоты вращения становится больше центробежная сила, прижимающая колодки к барабану. Поэтому увеличивается и сила трения между колодками и барабаном, что приводит к усилению момента, передаваемого муфтой. Момент муфты

$$M_m = M_0 + b_m \omega^2, \quad (6.14)$$

где  $M_0$  — момент, создаваемый силой трения при угловой скорости ведущей части  $\omega=0$ ;  $b_m = \frac{M_{ск} - M_0}{\omega_{сц}^2}$  — коэффициент пропорциональности;  $M_{сц}$ ,  $\omega_{сц}$  — момент и угловая скорость, которые соответствуют полному сцеплению муфты.

При сочетании механических характеристик двигателя, муфты и машины, показанных на рисунке 6.6, б, и приведенном моменте инерции машины, значительно большем момента инерции двигателя ( $J_M \gg J_{дв}$ ), разгон привода будет происходить в несколько ступеней:

1) под действием избыточного момента  $M_{изб1} = M_{дв} - M_M$  скорость двигателя становится близкой к номинальной, когда  $M_{дв} = M_M = M_{сц}$  и  $\omega_{дв} = \omega_{сц}$  за время

$$t_1 = J_{дв} \int_0^{\omega_{сц}} \frac{d\omega}{M_{дв} - M_M}; \quad (6.15)$$

2) за это время под действием избыточного момента  $M_{изб2} = M_M - M_c$  скорость сепаратора увеличивается незначительно до  $\omega_{м1}$ , так как  $J_M \gg J_{дв}$  (рис. 6.6, в);

3) избыточный момент  $M_{изб3} = M_{сц} - M_c$  разгоняет рабочую машину за время

$$t_2 = J_M \int_{\omega_{м1}}^{\omega_{сц}} \frac{d\omega}{M_{сц} - M_c}. \quad (6.16)$$

В периоды времени  $t_1$  и  $t_2$  муфта работает со скольжением. Мощность скольжения

$$P_{ск} = M(\omega_{дв} - \omega_M) \quad (6.17)$$

расходуется на нагрев муфты;

4) под действием избыточного момента  $M_{изб4} = M_{дв} - M_c$  агрегат разгоняется до рабочей скорости за время

$$t_3 = (J_{дв} + J_M) \int_{\omega_{сц}}^{\omega_p} \frac{d\omega}{M_{дв} - M_c}. \quad (6.18)$$

Общее время разбега

$$t_{разб} = t_1 + t_2 + t_3. \quad (6.19)$$

Продолжительность периодов  $t_1$ ,  $t_3$  составляет 10...15% общей продолжительности разбега. Поэтому продолжительность разбега агрегата с центробежной муфтой опре-

деляется в основном временем  $t_2$  и в значительной степени зависит от скорости  $\omega_{\text{сц}}$ . Для сокращения общей продолжительности разгона системы и продолжительности действия сниженного напряжения при пуске необходимо выбирать механическую характеристику центробежной муфты такой, чтобы точка пересечения ее с механической характеристикой электродвигателя находилась за критическим скольжением:  $s_{\text{сц}} < s_{\text{к}}$ .

Преимущества разбега привода сепаратора «Урал-6» с центробежной муфтой хорошо видны на рисунке 6.6, з, где показаны диаграммы пускового тока двигателя АОЛ-22-4 без муфты 8 и с муфтой 9. При разбеге с муфтой пусковой ток быстро падает. В результате нагрев двигателя за время пуска значительно меньше.

### 6.5. ЭЛЕКТРОПРИВОД МОЛОЧНЫХ НАСОСОВ

Для перекачивания молока и жидких молочных продуктов, воды, моющих и дезинфицирующих жидкостей применяют молочные центробежные насосы НМУ-6 с подачей 5 . . 6 м<sup>3</sup>/ч и напором до  $8 \cdot 10^5$  Па при мощности двигателя 1,1 кВт. Этот насос наилучшим образом удовлетворяет технико-экономическим и гигиеническим требованиям. Он состоит из корпуса со всасывающим и нагнетательным патрубками, электродвигателя закрытого обдуваемого исполнения (М200), крыльчатки и рабочей камеры. Нагнетательный патрубок снабжен обратным клапаном. Пуск и выключение насоса выполняются автоматически блоком управления.

Вручную насосом управляют при помощи тумблера. Насос предназначен для перекачивания молока из емкостей, находящихся под вакуумом или атмосферным давлением. Работает он в комплекте с охладителем или воздухоразделителем.

# Глава 7. ЭЛЕКТРОПРИВОД РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ МАШИН

## 7.1. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ МАШИН

Ручные электрифицированные машины получают рабочее движение от встроенного электродвигателя, а подача и управление осуществляются вручную. Двигатель с выключателем, редуктором и шпинделем заключен в легкий алюминиевый корпус. Электрическая энергия подводится по шланговому проводу. В качестве рабочих органов применяются сверла, метчики, дисковые и цепные пилы, точильные и шлифовальные круги, вибраторы и др.

Двигатели ручных электрифицированных машин 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 изготовляют из алюминиевого сплава 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.

Момент от двигателя к инструменту передается 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),

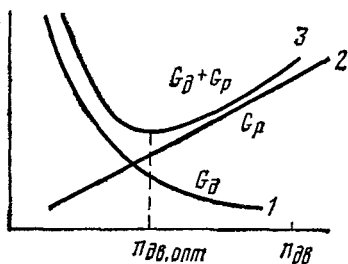
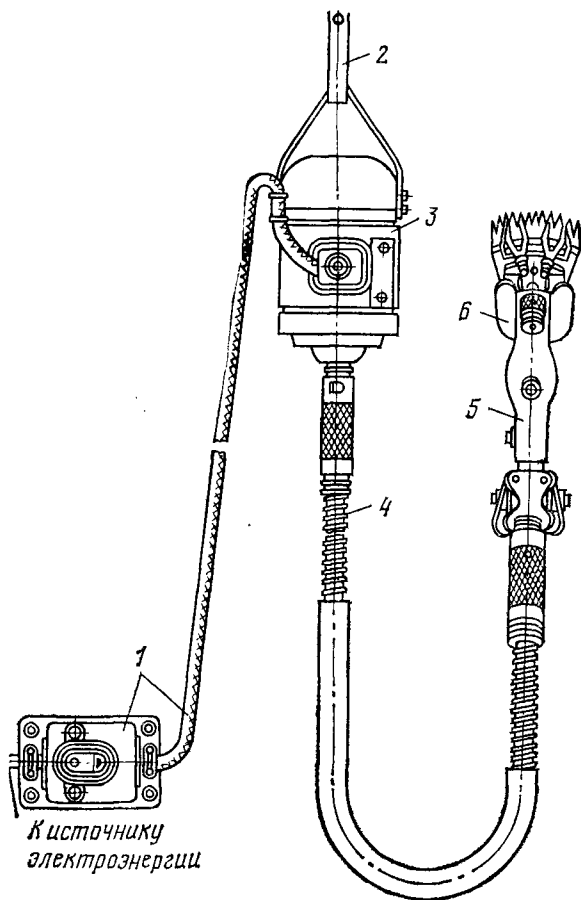


Рис. 7.1. Влияние частоты вращения электродвигателя на массу ручных электрических машин.



Кисточнику  
электроэнергии

Рис. 7.2. Электростригальный агрегат ЭСА-1Д:

1 — отвод с пускателем; 2 — подвеска электродвигателя; 3 — электродвигатель; 4 — гибкий вал; 5 — стригальная машинка; 6 — подвеска машинки.

вращающийся обращенный ротор (электрорубанки) и непосредственным образом, когда рабочие органы расположены на валу двигателя (дисковые пилы и электроточила).

При постоянной мощности  $P_2$  (Вт) с увеличением частоты вращения двигателя  $n_{дв}$  (об/мин) и частоты питающего тока  $f$  (Гц) масса его активных материалов  $G$  (кг) уменьшается:

$$G = G_0 \sqrt{\frac{50P_2}{fn_{дв}}}, \quad (7.1)$$

где  $G_0$  — экспериментальный коэффициент,  $G_0=11$  для двухполюсных трехфазных двигателей нормальной частоты и  $G_0=12...13$  для двухполюсных высокочастотных (200 Гц) двигателей.

Для электросверл с универсальными коллекторными двигателями, с трехфазными асинхронными двигателями нормальной частоты и с двигателями, работающими на повышенной частоте тока 200. . .400 Гц, мощность на единицу массы соответственно составляет 30. . .65, 20. . .40 и 50. . .110 Вт/кг.

Рабочие органы инструмента требуют определенной, оптимальной для них скорости движения. Поэтому передаточное число и масса редуктора при повышении частоты вращения двигателя увеличиваются (рис. 7.1). Значит, суммарная масса двигателя  $G_d$  и редуктора  $G_p$  при изменении частоты вращения будет изменяться и иметь минимум при оптимальной скорости. Для ручных электрических машин он находится в области 8. . .12 тыс. об/мин. Асинхронные короткозамкнутые двигатели электроинструмента целесообразно питать током повышенной частоты (обычно 200 Гц). При использовании двигателей промышленной частоты 50 Гц привод ручного инструмента осуществляется через гибкий вал (рис. 7.2). Так удается облегчить электроинструмент, находящийся в руках оператора.

Уменьшить массу электроинструмента — это значит не только снизить его стоимость и сэкономить материалы, главное — снизить нагрузку на рабочего, улучшить условия труда и как следствие — повысить его производительность.

## 7.2. ДВИГАТЕЛИ И ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Для привода ручных электрических машин применяют универсальные коллекторные двигатели переменного однофазного тока (рис. 7.3), которые могут работать и от сети постоянного тока, и асинхронные трехфазные двигатели нормальной и повышенной частот обычного и обращенного исполнения.

Преимущество коллекторных электродвигателей — их высокая частота вращения, достигающая 12. . .18 тыс. об/мин. Недостатки — малонадежный контакт коллектора-щеточки, мягкость механической характеристики, ведущая к снижению частоты вращения при любой перегрузке.

Асинхронные электродвигатели, частота вращения которых близка к 3000 об/мин при 50 Гц и 12 000 об/мин при 200 Гц, обладают достаточно жесткой механической харак-

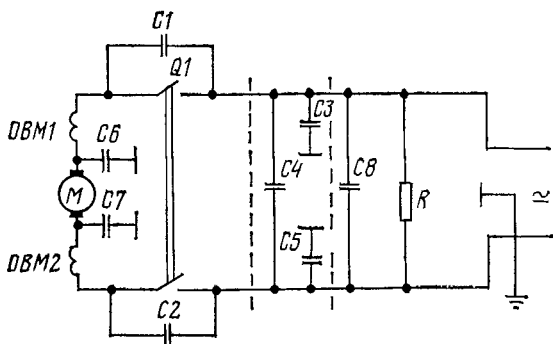


Рис. 7.3. Схема включения электропривода ручного инструмента с универсальным коллекторным двигателем.

теристикой в рабочей части, отличаются большой перегрузочной способностью (рис. 7.4), имеют относительно малую массу, просты и надежны в эксплуатации. Однако необходимость в частотных преобразователях тока создает некоторые неудобства.

Электроинструменты могут получать питание непосредственно от сети 220 В, через понижающий трансформатор 380/220 В, от высокочастотного преобразователя, от передвижных электростанций. Трехфазные асинхронные двигатели включают также в однофазную сеть 220 В по специальным схемам соединения обмоток. При однофазном питании трехфазную обмотку статора двигателя необходимо

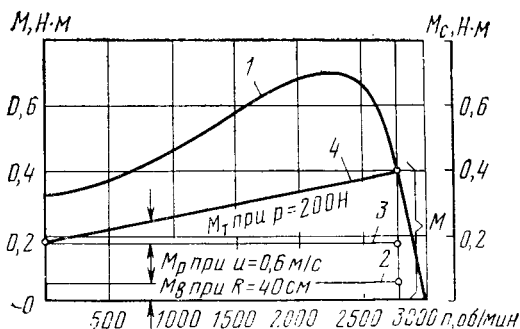


Рис. 7.4. Механические характеристики электродвигателя АОЛ-012-2С и стригальной машинки МСО-77А:

1 — момент двигателя; 2 — момент сопротивления гибкого вала при радиусе изгиба 40 см; 3 — момент сопротивления резанию; 4 — момент трения ножа о гребенку при силе нажатия 200 Н.



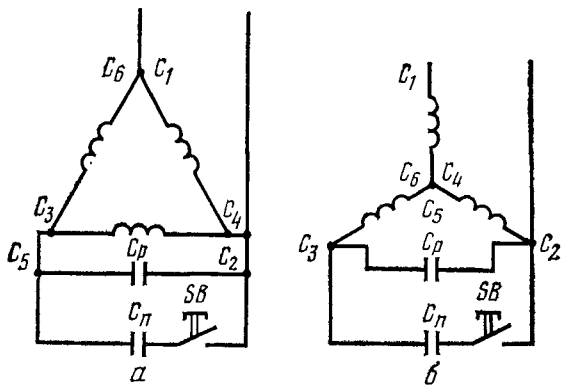


Рис. 7.5. Схемы включения трехфазных двигателей в однофазную сеть.

разделить на две части — рабочую и пусковую — и последовательно с пусковой обмоткой включить фазосдвигающий элемент — активное, индуктивное или емкостное сопротивление (рис. 7.5). Лучший эффект дает использование конденсаторов; подобные схемы характеризуются высоким пусковым моментом и минимальным пусковым током.

При напряжении 220 В для двигателя 380/220 В применяется схема *а*, а для двигателей на напряжение 220/127 В — схема *б*. Значение рабочей емкости (мкФ)

$$C_p = \frac{1950 I_n}{U_n \cos \varphi_n}, \quad (7.2)$$

где  $I_n$  — номинальный ток двигателя, А;  $U_n$  — напряжение сети, В.

Значение пусковой емкости, включаемой кратковременно, принимают в 2...3 раза большим значения рабочей. При пуске двигателя вхолостую пусковая емкость не нужна. Для рабочей емкости используют конденсаторы типов КБГ, МН, БГТ, БГЧ.

Трехфазные понижающие трансформаторы 380/36 В мощностью 0,5, 1,0, 1,5 кВ·А применяют для питания электродвигателей ручных машин, рассчитанных на пониженное напряжение. Такие электроинструменты используют в условиях, особо опасных в отношении поражения людей электрическим током.

Преобразователь частоты тока типа И-75-В (потребляемая мощность 4,85 кВ·А, 2800 об/мин), предназначенный для питания током высокой частоты электроприводов руч-

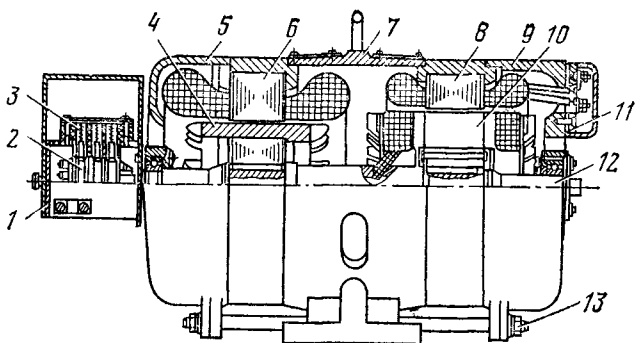


Рис. 7.6. Преобразователь частоты тока И-75В:

1 — кожух клеммной колодки; 2 — кольца; 3 — щеткодержатель; 4 — ротор двигателя; 5 — передвижная крышка; 6 — статор двигателя; 7 — станна; 8 — ротор генератора; 9 — задняя крышка; 10 — ротор генератора; 11 — клеммная панель; 12 — вал; 13 — шпилька.

ных инструментов, состоит из двухполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и шестиполюсного асинхронного генератора с фазным ротором (рис. 7.6). Роторы обеих электрических машин связаны общим механическим валом, а статоры помещены в один корпус.

Обмотки статоров двигателя и генератора, в которые поступает ток частотой 50 Гц при напряжении 380/220 В, соединены так, что их магнитные поля вращаются в противоположные стороны. Двигатель преобразователя приводит в движение ротор с частотой вращения 2800 об/мин, а магнитное поле статора вращается в противоположном направлении с частотой вращения 1000 об/мин. Таким образом, частота вращения  $n_2$  ротора генератора относительно магнитного поля своего статора 3800 об/мин. В обмотке ротора возникает электродвижущая сила со вторичной частотой

$$f_2 = \frac{p_2 n_2}{60} = \frac{3 \cdot 3800}{60} = 190 \text{ Гц} \quad (7.3)$$

и напряжением 36 В, которое подается на двигатели электроинструментов.

В другой схеме включения преобразователя частоты напряжение сети частотой 50 Гц подается на статор двигателя и ротор генератора. Направления вращения магнитных полей статора двигателя и ротора совпадают, поэтому магнитное поле генератора вращается с суммарной частотой вращения  $2800 + 1000 = 3800$  об/мин и в обмотке статора генератора наводится ЭДС со вторичной частотой 190 Гц.

Реактивный преобразователь частоты типа С-572А служит для преобразования переменного трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц, напряжением 380/220 В в переменный трехфазный ток повышенной частоты 200 Гц, напряжением 36 В. Преобразователь длительно отдает мощность 1,2 кВ·А, потребляет 2 кВ·А. Ротор преобразователя подобен ротору короткозамкнутого асинхронного двигателя, но выполнен составным из магнитного и немагнитного материалов. В пазы башмаков ротора заложена пусковая короткозамкнутая обмотка. В пазах статора расположены первичная двухполюсная и вторичная восьмиполюсная обмотки. Первичную обмотку включают в сеть 50 Гц, вторичная служит для получения тока повышенной частоты 200 Гц.

Применяются и некоторые другие типы преобразователей частоты тока.

### 7.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД СТРИГАЛЬНЫХ МАШИНОК

Для механизированной стрижки овец промышленность выпускает унифицированные электростригальные агрегаты типов ЭСА-1Д, ЭСА-1Д-И, ЭСА-12Г, ЭСА-6/200, ЭСА-12/200.

Агрегат ЭСА-1Д (рис. 7.2) состоит из стригальной машинки МСО-77Б, приводного электродвигателя АОЛ-012-2-С (120 Вт, 2760 об/мин) и соединяющего их гибкого вала ВГ-10 диаметром 10 мм. К сети 380/220 В агрегат подключен гибким проводом через пускатель ПНВ-30.

Основные элементы стригальной машинки: режущий аппарат, который образует нож с четырьмя зубьями, и двенадцатизубовая гребенка, эксцентриковый, нажимной и шарнирный механизмы. При движении по телу животного зубья расчесывают и поддерживают шерсть, а нож, совершает колебательные перемещения вдоль гребенки, срезая шерсть. Машинка снабжена режущими парами с захватом 76,8 мм. Эксцентриковый механизм, расположенный в средней части корпуса машинки, преобразует вращательное движение передаточного валика в колебательное движение ножа.

Нажимной механизм создает необходимое для среза шерсти давление ножа на гребенку и для передачи колебательного движения ножу через усики нажимных лапок. Шарнирный механизм улучшает условия работы гибкого вала и облегчает управление машинкой при работе. В наружном кожухе шарнирного механизма установлен пере-

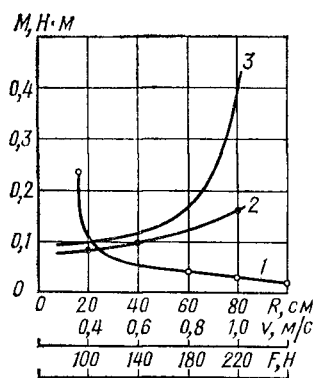


Рис. 7.7. Механические характеристики стригальных машинок: 1 — момент трения гибкого вала о кожух  $M_B = f(R)$ ; 2 — момент резания шерсти  $M_P = f(v)$ ; 3 — момент трения ножа о гребенку  $M_T = f(F)$  где  $v$  — скорость подачи стригальной машинки, то есть

$$M_c = M_B + M_T + M_P. \quad (7.4)$$

При отсутствии гибкого вала  $M_B = 0$ . При правильно выбранном двигателе его номинальный момент

$$M_n \geq M_c. \quad (7.5)$$

Электродвигатель АОЛ-012-2С имеет повышенную кратность пускового момента 2,1 и кратность максимального момента 2,5.

Диаграмма на рисунке 7.4 показывает, что из мощности двигателя 120 Вт 15 Вт расходуется на передачу момента от него через гибкий вал к машинке, 35 Вт — на срез шерсти, 70 Вт — на холостой ход машинки.

Усилие прижима ножа к гребенке не должно превышать 200 Н. При увеличении этого усилия и уменьшении радиуса изгиба ухудшаются энергетические показатели привода машинки.

Один электростригальный аппарат ЭСА-1Д применяют в хозяйствах с поголовьем до 1000 овец.

Недостатки привода с гибким валом: непродолжительный срок службы вала и возникновение на корпусе машинки реактивного момента, оказывающего дополнительную на-

даточноый валик, соединенный с сердечником гибкого вала, а во внутреннем кожухе — валик эксцентрика. На концах валика расположены шестерни, закрытые кожаныым чехлом, предохраняющим их от попадания шерсти.

Момент сопротивления  $M_c$  стригальной машинки может быть разложен на три составляющие (рис. 7.7): момент трения  $M_B$  (1) гибкого вала о кожух —  $M_B = f(R)$ , где  $R$  — радиус изгиба вала; момент трения  $M_T$  ножа о гребенку —  $M_T = f(F)$  (3), где  $F$  — усилие нажатия; момент резания  $M_P$  (2) шерсти —  $M_P = f(v)$ ,

грузку на руку стригалю, а также значительные потери мощности в гибком валу.

Машинки с пристроенными и встроенными двигателями свободны от этих недостатков, а шнур по сравнению с гибким валом предоставляет стригалю большую свободу действия.

Машинка типа МСУ-200 выпускается с пристроенным асинхронным короткозамкнутым двигателем (130 Вт, 36 В, 200 Гц, 11 300 об/мин).

Агрегат ЭСА-12Г состоит из 12 комплектов ЭСА-1Д, силовой и осветительной сетей, заземляющего устройства, распределительного ящика и точильного аппарата типа ДАС-350 для заточки режущих пар. Предназначен для использования в хозяйствах с поголовьем 10...12 тыс. овец.

Переносная сеть к агрегату ЭСА-12Г выполнена трехжильным проводом марки ШРПС с площадью поперечного сечения 2,5 мм<sup>2</sup>, на конце которого смонтирована штепсельная вилка для присоединения сети к трехполюсной розетке распределительного щита электростанции.

Сеть располагает двенадцатью штепсельными трехполюсными розетками, к которым подключают электродвигатели стригальных машинок, двумя трехполюсными розетками для присоединения электродвигателей точильных аппаратов и семью двухполюсными розетками ламп освещения. Кроме главного рубильника, есть кнопочный пускатель, установленный внутри помещения для стрижки. Провода сети подвешивают вдоль доски, укрепленной на столбах на высоте 1,5 м. Корпуса электродвигателей заземляют отдельным проводом со стержнями заземления.

Агрегат ЭСА-12Г получает питание от электросети или от передвижной электростанции напряжением 380/220 В. Агрегат используют для оборудования стригальных пунктов на 12, 24, 36, 48 и 60 рабочих мест.

**Высокочастотные агрегаты ЭСА-6/200 и ЭСА-12/200** предназначены для стрижки овец и верблюдов. Агрегат ЭСА-12/200 включает в себя 12 стригальных машинок МСУ-200, блок-преобразователь частоты и напряжения ИЭ-9401, точильный аппарат ТА-1, переносную электросеть, комплект запасных частей и инструментов.

Применение стригальных машинок значительно облегчает труд стригалю. Производительность труда повышается в 3...4 раза и более. Каждая машинка позволяет освободить 2...3 человек в особенно напряженный период работы. Кроме того, при машинной стрижке качество шерсти выше за

счет более низкого и ровного среза, а выход ее увеличивает в результате уменьшения сечки на 8...10%.

Внедрение новой, более совершенной техники дает дополнительную экономию. Так, с применением электростригального агрегата ЭСА-12/200 производительность повышается на 51%, а затраты труда снижаются на 34% по сравнению с использованием электростригального агрегата ЭСА-12Г.

#### 7.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД ДРУГИХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ РУЧНЫХ МАШИН

Перечень электрифицированных ручных машин, применяемых в сельском хозяйстве, весьма обширен и разнообразен. Ниже рассматриваем некоторые из них.

**Электрические сверлильные машины** применяют для сверления отверстий в различных материалах и выполнения других операций. Шпиндель машины соединяют с нужным рабочим инструментом, например наждачным кругом, стальной щеткой, шлифовальным кругом и др.

Каждая электрическая сверлильная машина состоит из электродвигателя, зубчатой передачи и шпинделя (рис. 7.8). Мощность электродвигателей находится в пределах от 0,1 до 0,8 кВт, частота вращения 2800...12 000 об/мин, напря-

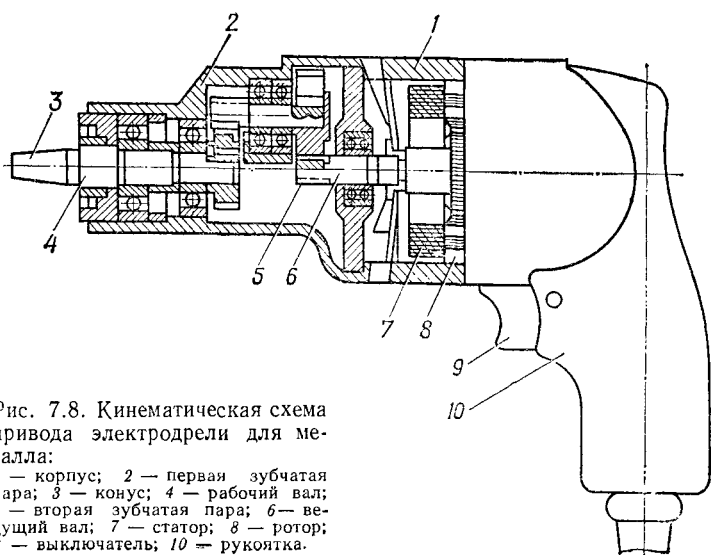


Рис. 7.8. Кинематическая схема привода электродрели для металла:

1 — корпус; 2 — первая зубчатая пара; 3 — конус; 4 — рабочий вал; 5 — вторая зубчатая пара; 6 — ведущий вал; 7 — статор; 8 — ротор; 9 — выключатель; 10 — рукоятка.

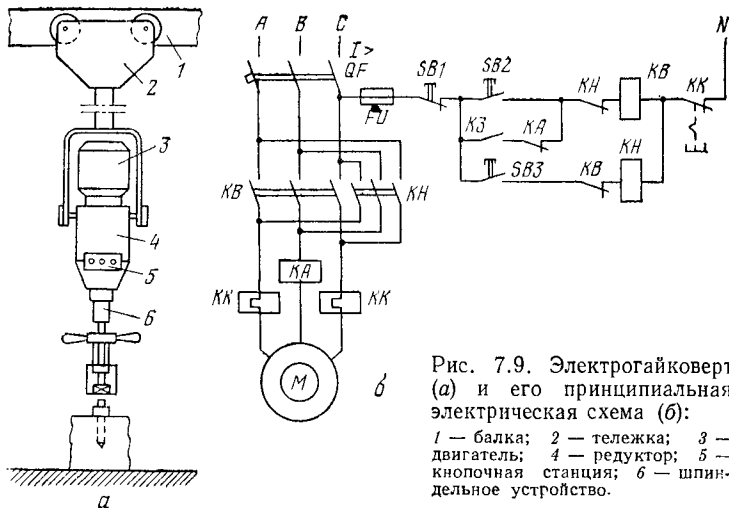


Рис. 7.9. Электрогайковерт (а) и его принципиальная электрическая схема (б):

1 — балка; 2 — тележка; 3 — двигатель; 4 — редуктор; 5 — кнопочная станция; 6 — шпиндельное устройство.

жение питания 220 и 36 В, частота питающего тока 50 и 200 Гц, масса машины 1,4...9,1 кг.

**Электрогайковерт** (рис. 7.9, а) состоит из тележки 2, передвигающейся по двутавровой балке 1, электродвигателя 3 типа АОЛ-31-4 (2,2 кВт, 1420 об/мин), планетарного редуктора 4 с передаточным числом 21,5, кнопочной станции 5 и шпиндельного устройства 6. Электрогайковерт позволяет плавно закручивать гайки с заданным вращающим моментом 250...500 Н·м. Фактическое значение вращающего момента затяжки устанавливают при помощи реле тока или специального механического устройства.

Для пуска вперед нажимают кнопку *SB2* (рис. 7.9, б). При этом контакты реле тока *КА* шунтируются на период пуска. После пуска, когда пусковой ток снижается, кнопку *SB2* отпускают и катушка *KB* получает питание через контакты *КА* и блок-контакты *КЗ*. Происходит затяжка гайки. При достижении заданного момента реле *КА* отключает двигатель. Назад гайковерт пускают кнопкой *SB3* по толчковой схеме.

**Электроножницы С-424** (рис. 7.10, а), предназначенные для резания листовой стали, приводятся в действие универсальным коллекторным электродвигателем (400 Вт, 220 В), встроенным в корпус 18. Вращающий момент передается от зубчатого венца 12, нарезанного на валу электро-

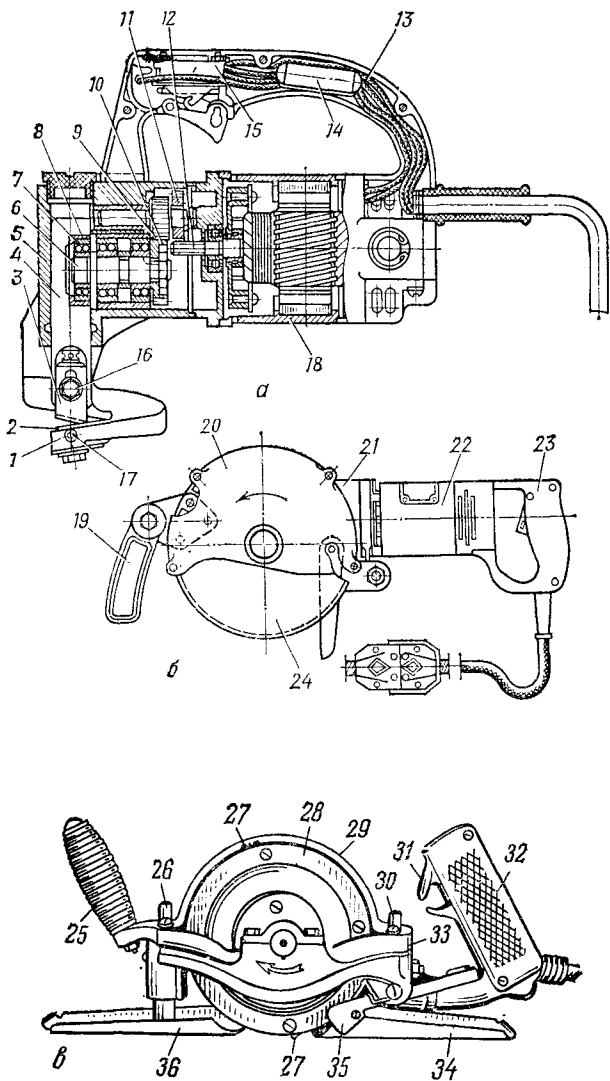


Рис. 7.10. Электропривод ручных инструментов:

*a* — электроножниц; *б* — дисковой электропилы С-488; *в* — электрорубанка;  
 1 — держатель; 2 — неподвижный нож; 3 — подвижный нож; 4 — ползун; 5 — корпус редуктора; 6 — кривошипный вал; 7 — подшипник; 8 — вкладыш; 9, 10, 11 — шестерни; 12 — зубчатый венец; 13 — рукоятка; 14 — фильтр; 15 — выключатель; 16, 17 — винты; 18 — корпус; 19, 23 — рукоятки; 20 — кожух; 21 — редуктор; 22 — двигатель; 24 — пильный диск; 25, 32 — рукоятки; 26, 30 — винты; 27 — ножи; 28 — электродвигатель; 29 — кожух; 31 — выключатель; 33 — рама; 34, 36 — панели; 35 — тормоз.



двигателя, через шестерни 9, 10, 11 кривошипному валу 6, конец которого заходит в подшипник 7 вкладыша 8 в пазу ползуна 4. Вал 6 сообщает ползуну и ножу 3 возвратно-поступательное движение. Ползун движется внутри корпуса 5 редуктора, ножи 2 и 3 разрезают металл. Неподвижный нож крепится к улиткообразному держателю 1. Положение ножей регулируют винтами 16 и 17. В скобообразную рукоятку 13 вмонтирован двухполюсный выключатель 15 с пусковым курком и конденсаторный фильтр 14 для уменьшения радиопомех.

**Дисковая электропила** (рис. 7.10, 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. К сети электропила присоединяется двухполюсным штепсельным соединением с защитным контактом. Частота вращения электродвигателя 11 600 об/мин, диска — 68 об/мин. Режим работы продолжительный. Диаметр диска 200 мм. Глубина пропила 50 мм.

**Электрорубанок И-25** (рис. 7.10, в), предназначенный для строгания изделий, приводится в действие обращенным трехфазным асинхронным электродвигателем 28 (200 Вт, 2400 об/мин, ПВ-40%). Узлы рубанка смонтированы на жесткой раме 33. На цилиндрической части ротора двигателя укреплены ножи 27, режущие кромки которых выходят за кромку опорного выступа на 2,5...3 мм. Ротор закрыт кожухом 29. Толщину стружки регулируют, изменяя положение панелей 34 и 36. Глубину строгания регулируют винтами 26 и 30. Тормоз 35 ускоряет остановку двигателя после отключения. Управляют рубанком при помощи рукояток 25, 32 и куркового выключателя 31. Ширина и глубина строгания 60 и 1,5 мм, скорость резания 19,5 м/с.

**Электромотыга ЭМ-12А** (рис. 7.11) предназначена для рыхления почвы, уничтожения сорняков, равномерного перемешивания почвы с удобрениями в парниках, теплицах, садах, ягодниках и на огородах.

Рабочие органы мотыги — фрезы 1 сверху защищены кожухом 3 и приводятся во вращение электродвигателем 4 через червячный редуктор 2 с передаточным числом 1 : 50. К корпусу редуктора присоединена штанга 5 с ручкой 7 и выключателем 6 типа ВК-80. Электродвигатель связан с редуктором муфтой 13. Две фрезы, насаженные на концы

вала червячного колеса, выполнены в виде пятиугольных дисков с пятью ножами.

Двигатель (0,27 кВт, 11 600 об/мин) получает электроэнергию от сети переменного трехфазного тока через преобразователь 9 типа С-759, который увеличивает частоту тока с 50 до 200 Гц и понижает напряжение с 220/380 до 36 В. Преобразователь присоединяют к сети 30-метровым кабелем 11 типа ШРПС  $3 \times 1,5 + 1 \times 1$  и соединяют с двигателем 50-метровым кабелем 8 типа КРПТ  $3 \times 4$ . Автоматический выключатель 10 типа АП50-3МТ предохраняет преобразователь и двигатель от действия токов перегрузки и короткого замыкания.

Преобразователь, пускозащитная аппаратура и кабельный барабан смонтированы на двухколесной тележке 12. Во время работы фрезы вращаются так, что мотыга движется вперед. Управление мотыгой заключается в том, чтобы затормаживать ее поступательное движение, регулируя глубину обработки. Ширина захвата мотыги 12 см, глубина обработки до 10 см, скорость движения 1,2...2 км/ч. Производительность до 240 м<sup>2</sup>/ч. Мощность, потребляемая преобразователем, 1 кВт.

Применение электромотыги ЭМ-12А в теплицах увеличивает производительность труда в 3...4 раза по сравнению с ручной обработкой почвы и снижает прямые издержки на 70%.

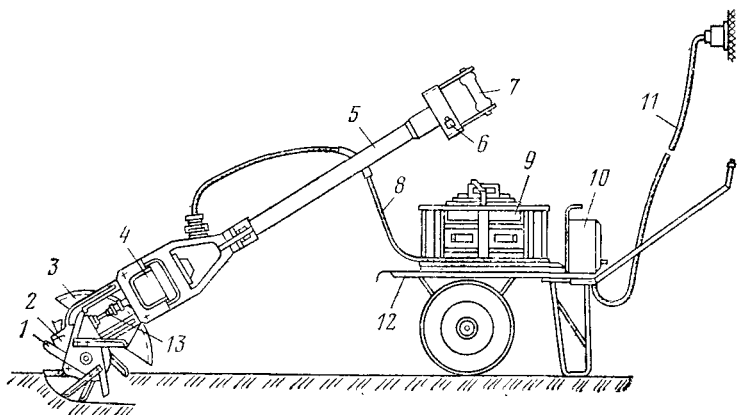


Рис. 7.11. Привод электромотыги:

1 — фреза; 2 — редуктор; 3 — кожух; 4 — электродвигатель; 5 — штанга; 6, 10 — выключатели; 7 — ручка; 8, 11 — кабели; 9 — преобразователь частоты тока; 12 — тележка; 13 — соединительная муфта.

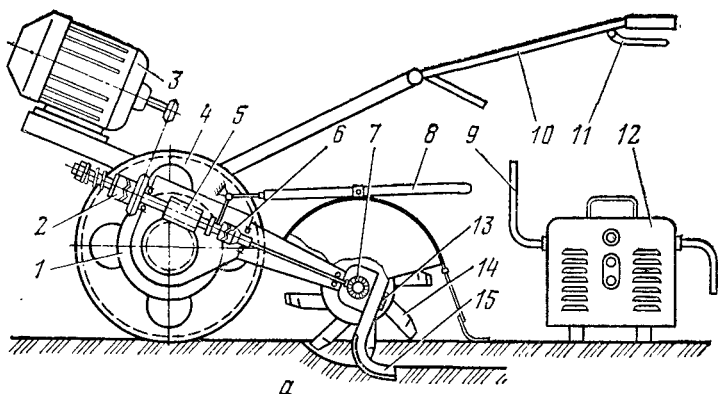


Рис. 7.12. Привод электрофрезы:  
*a* — кинематическая схема; *б* — электрическая схема; 1 — обгонная муфта колес; 2 — предохранительная муфта; 3 — электродвигатель; 4 — ходовые колеса; 5 — червячный редуктор; 6 — муфта включения ротора; 7 — коническая пара; 8 — рукоятка включения ротора; 9 — кабель; 10 — рукоятка управления; 11 — ручка фиксатора; 12 — электрошкаф; 13 — кронштейн опорного ножа; 14 — ротор; 15 — опорный нож.

**Электрофреза ФС-0,7** (рис. 7.12, *a*) предназначена для обработки почвы на глубину 22 см в теплицах и парниках, приготовления смеси торфо-перегнойных горшочков непосредственно на месте, заделки удобрений, стерилизации почвы посредством перемешивания ее с ядохимикатами.

Рабочим органом фрезы является ротор 14, который включают рукояткой 8. Вращение от электродвигателя 3 мощностью 2,8 кВт передается цепной передачей через предохранительную муфту 2 на червячный редуктор 5 и через червячную пару на ходовые колеса 4, а через храповую муфту 6 на коническую пару 7 хвостовика. Для облегчения поворотов колеса снабжены обгонными муфтами 1.

Направление движения устанавливают рукоятками 10 с фиксаторами 11, закрепляющими рукоятки в нужном по-

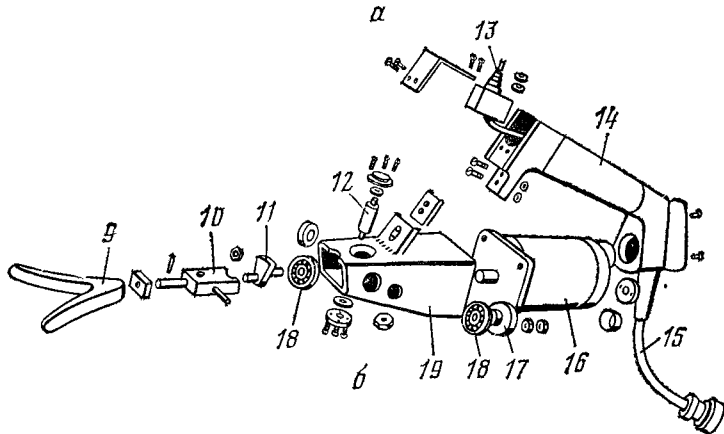
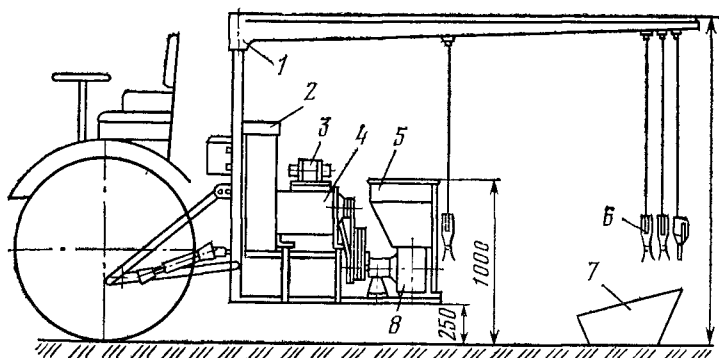


Рис. 7.13. Электрорядоуборочная машина ЭЯМ-200-8:

*a* — схема машины; *б* — детали электровибратора; 1 — рама со штангами; 2 — блок аппаратуры; 3 — понижающий трансформатор; 4 — электрогенератор; 5 — бункер; 6 — электровибраторы; 7 — улавливатели; 8 — вентилятор; 9 — вилка; 10 — двулучий рычаг; 11 — кривошип; 12 — ось; 13 — выключатель; 14 — рукоятка; 15 — кабель; 16 — электродвигатель; 17 — зубчатое колесо редуктора; 18 — подшипник; 19 — корпус вибратора.

ложении. Глубину обработки регулируют перестановкой опорного ножа и изменением усилия на рукоятках. Включают и выключают двигатель кнопками «Пуск» *SB2* и «Стоп» *SB1* (рис. 7.12, *б*) на рукоятке фрезы, меняют вращение пакетным переключателем *SA*. Питание поступает по электрокабелю 9 типа ШРПС 4×1,5 через электрошкаф 12. Производительность 400...500 м<sup>2</sup>/ч.

Применение электрофрезы ФС-0,7 на основной обработке почвы в парниках и теплицах снижает затраты труда в 7

раз, а прямые издержки — в 4 раза по сравнению с ручным трудом и значительно улучшает качество обработки.

**Электроуборочная машина ЭЯМ-200-8 с электровибраторами** (рис. 7.13) навешивается на трактор класса тяги 6 кН, который может проходить по междурядьям ягодников. От вала отбора мощности трактора приводится во вращение генератор ГАБ-4-Т/230/4-200 (4 кВ·А, 230 В, 200 Гц). Через понижающий трансформатор 230/36 В мощностью 5 кВ·А, 8 автоматических выключателей, 8 штепсельных разъемов, 8 оперативных выключателей и кабели длиной 10 м ток подается к 8 электродвигателям (110 Вт каждый) привода вибраторов. На переднем конце вала электродвигателя нарезана шестерня, которая приводит во вращение зубчатое колесо 17 редуктора. Редуктор передает момент электродвигателя на кривошип 11 и понижает частоту вращения с 10 500 до 2200 об/мин.

При работе трактор с периодическими остановками движется по междурядью. Восемь сборщиков обрабатывают четыре ряда. Сборщик одной рукой захватывает несколько ветвей, наклоняет их над улавливателями, а другой подносит включенный вибратор и три-четыре раза на короткое время вводит вилку в ветви. Вилка совершает 36,6 колебания в секунду с амплитудой в основании зева 10 мм. Под действием вибраций ягоды падают с веток в улавливатели, из которых поступают в бункер очистки, а оттуда — в ящики.

Применение машин ЭЯМ-200-8 с ручными вибраторами повышает производительность труда более чем в 5 раз и снижает прямые издержки на единицу продукции на 45%. Производительность 70...220 кг/ч.

## **Глава 8. ЭЛЕКТРОПРИВОД МОБИЛЬНЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ**

### **8.1. СПОСОБЫ СНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ**

Применение электропривода в мобильной сельскохозяйственной технике значительно упрощает кинематику агрегатов, увеличивает их надежность и производительность, повышает культуру производства, позволяет автоматически поддерживать заданные режимы. Поэтому трудноразрешимая проблема электрического привода сельскохозяйственных машин издавна привлекает к себе инженерную мысль.

Электрические двигатели мобильных сельскохозяйственных машин могут получать энергию от источников различными способами: троллейным, кабельным, через электрическую трансмиссию, от аккумуляторов, топливных элементов.

При троллейном способе энергия к электродвигателям поступает от неизолированных проводов через подвижные контакты (щетki, ролики и дуги). Электрифицированный агрегат, двигаясь параллельно троллейным проводам, выполняет те или иные полевые работы. Для большинства полевых работ этот способ нерационален. Однако подобные агрегаты могут быть использованы при обработке плантаций виноградников и во внутриусадебном транспорте.

Кабельный способ питания наиболее пригоден для большинства осуществленных конструкций электрифицированных агрегатов. Электродвигатель агрегата получает питание от сети или трансформатора по гибкому кабелю, который последовательно разматывается с барабана и наматывается на барабан, расположенный на агрегате, или поднят над землей при помощи вышки-мачты или троса, натянутого между опорами. Поскольку площадь обрабатываемых участков при подвешенных кабелях невелика, для мощных агрегатов предпочтительнее схема питания с расстилаемым по земле кабелем.

Практикой выработаны требования к схемам кабельного питания. Необходимо, чтобы во время работы кабель ровно ложился на землю без волочения и закручивания. Схема питания должна обеспечивать возможность использования обычного прицепного инвентаря, независимость работы од-

ного агрегата от соседнего, оптимальную ширину и возможно большую длину гона, бесперебойность электроснабжения и безопасность работы обслуживающего персонала.

Вариант питания электродвигателя от аккумуляторной батареи в принципе является идеальным решением проблемы энергоснабжения электротрактора и электрифицированных мобильных агрегатов. Однако для этих целей пока еще не созданы сколько-нибудь пригодные аккумуляторные батареи, умеренные габариты и масса которых удовлетворительным образом сочетались бы с достаточной удельной энергоемкостью.

Аккумуляторный способ питания нашел широкое применение на электротракторах и электропогрузчиках, работающих на твердых дорожных покрытиях внутри складов и хранилищ (гл. 4). Кроме того, все шире начинают применяться электромобили небольшой грузоподъемности с питанием от аккумуляторов, работающие с ограниченным радиусом действия в условиях городов.

Использование на сельскохозяйственных машинах топливных элементов, превращающих химическую энергию топлива непосредственно в электрическую, представляется весьма заманчивым и перспективным. Созданный в США образец электротрактора с двигателем мощностью 16 кВт подтверждает реальные возможности этого способа, но стоимость топливных элементов все еще слишком велика.

На самоходном агрегате, где применена схема передачи энергии через электрическую трансмиссию, устанавливают генератор с приводом от дизельного двигателя. Электрические двигатели, которые получают питание от генератора, приводят в движение ведущие колеса трактора и рабочие органы прицепных машин. Энергия от дизельного двигателя на ведущие колеса может поступать и по двум потокам: частично электрическим путем, а частично механическим. Наиболее прост вариант, в котором электропривод рабочих органов прицепных или навесных машин осуществлен от автономного агрегата, связанного с валом отбора мощности трактора. Применение многопоточных электромеханических передач весьма перспективно, поскольку они значительно легче однопоточных и их КПД несколько выше.

Испытания трактора ДЭТ-250 показали целесообразность отбора мощности от электротрансмиссий. Электромеханические трансмиссии можно использовать и в агрегатах с так называемыми электромоторколесами, когда электрические двигатели встроены непосредственно в колеса.

К настоящему времени в растениеводстве опробованы мобильные машины с электрической тягой четырех основных типов: 1) электролебедочные системы канатной тяги; 2) электротракторы различных назначений; 3) электрифицированные орудия; 4) агрегаты с электрическими трансмиссиями.

## 8.2. ПРИВОД ЭЛЕКТРОЛЕБЕДОК

В системе канатной тяги электролебедки, установленные на границах поля, тянут трос, к которому прикреплено рабочее орудие двухстороннего действия. Подобные системы представляют интерес при выполнении особо тяжелых работ по плантажу под виноградники, корчевке пней, при работе на склонах, на заливных полях, где применение трактора затруднено.

Мощность двигателя пахотной лебедки определяют по его нагрузочной диаграмме (рис. 8.1, а). Мощность  $P_1$  (кВт), потребляемую двигателем при пуске, подсчитывают с учетом кратности  $k_i$  пускового тока и номинального КПД двигателя  $\eta_{\text{н}}$ :

$$P_1 = k_i P_{\text{н}} \eta_{\text{н}}^{-1}. \quad (8.1)$$

Номинальную мощность двигателя выбирают предварительно по условию

$$P_{\text{н}} = (1,1 \dots 1,3) \cdot 0,5 (P_2 + P_3). \quad (8.2)$$

В процессе работы мощность увеличивается от  $P_2$  до  $P_3$  за счет увеличения радиуса намотки троса на барабан.

Аналогично мощности  $P_1$  подсчитывают мощность  $P_4$  при торможении в режиме реверса.

По формуле В. П. Горячкина тяговое сопротивление плуга

$$F_{\text{п}} = 9,81fm + kab + \epsilon abv^2, \quad (8.3)$$

где  $f=0,2 \dots 0,4$  — коэффициент трения плуга о почву;  $m$  — масса плуга, кг;  $k$  — удельное сопротивление почвы ( $4 \dots 8,5$  Н/см<sup>2</sup>);  $a$  — глубина вспашки, см;  $b$  — ширина захвата плуга, см;  $\epsilon = 0,1 \dots 0,3$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости;  $v$  — скорость движения плуга, м/с.

Значение  $F_{\text{п}}$  и  $v$  определяют дважды: в начале и в конце процесса намотки троса на барабан.

Сопротивление от волочения троса о почву

$$F_{\text{т}} = 9,81k_{\text{т}}f m_{\text{т}}l, \quad (8.4)$$



где  $k_r$  — коэффициент, учитывающий условия работы (для равнинных полей  $k_r=1$ , для горной местности  $k_r=3$ );  $f=0,35$  — коэффициент трения троса о почву;  $m_r$  — удельная масса троса (в среднем  $m_r=0,3$  кг/м);  $l$  — длина той части троса, которая движется по земле (принимается равной 80% расстояния между лебедками).

Мощность (кВт) в начале

$$P_2 = (F_{п.нач} + F_r) v_{нач} \eta_{л}^{-1} \cdot 10^{-3} \quad (8.5)$$

и в конце движения плуга

$$P_3 = (F_{п.кон} + F_r) v_{кон} \eta_{л}^{-1} \cdot 10^{-3}, \quad (8.6)$$

где  $\eta_{л}$  — КПД лебедки с передачей.

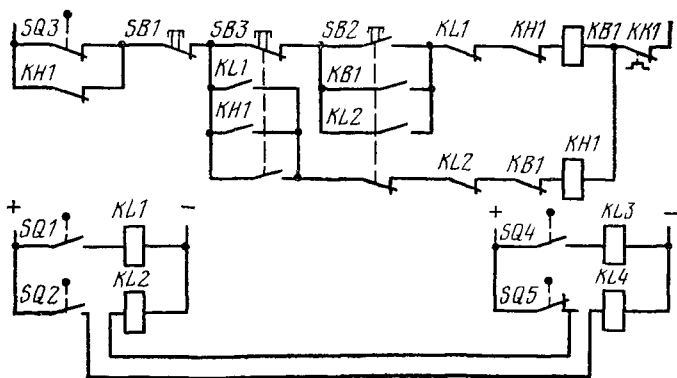
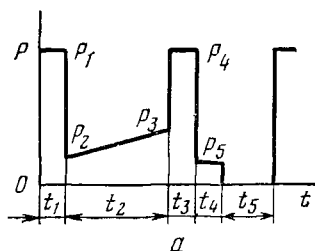
Мощность  $P_5$  на передвижение лебедки определяется ее массой  $m_{л}$  (кг) и скоростью ее передвижения  $v_{л}$  (м/с):

$$P_5 = 9,81 f_{л} m_{л} v_{л} \eta_{п}^{-1} \cdot 10^{-3}, \quad (8.7)$$

где  $f_{л}$  — коэффициент перекачивания лебедки по полю;  $\eta_{п}$  — КПД передачи от двигателя до обода ведущих колес.

Рис. 8.1. Электропривод двух-лебедочного агрегата с одним плугом:

*a* — нагрузочная диаграмма двигателя; *b* — система управления;  $t_1$  — продолжительность пуска двигателя;  $t_2$  — продолжительность работы двигателя;  $t_3$  — продолжительность реверса двигателя;  $t_4$  — продолжительность передвижения лебедки на новый гон;  $t_5$  — продолжительность паузы.



6

Время работы двигателя определяется средней скоростью движения плуга и длиной  $l_r$  гона:

$$t_2 = \frac{2l_r}{v_{\text{нач}} + v_{\text{кон}}}. \quad (8.8)$$

Относительная продолжительность включения двигателя.

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}. \quad (8.9)$$

Для двухлебедочной системы, работающей с одним плугом,

$$t_5 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \quad (8.10)$$

Эквивалентная мощность за время работы

$$P_{\text{эkv}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + (P_2^2 + P_2 P_3 + P_3^2) \frac{t_2}{3} + P_4^2 t_3 + P_5^2 t_4}{0,75 (t_1 + t_3) + t_2 + t_4}}. \quad (8.11)$$

Эквивалентная мощность, пересчитанная на стандартную продолжительность работы,

$$P_{\text{эkv. ст}} = P_{\text{эkv}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{ст}}} (\alpha + 1) - \alpha}, \quad (8.12)$$

где  $\alpha$  — отношение постоянных потерь в двигателе к переменным.

По каталогу выбирают двигатель для стандартной продолжительности включения  $\varepsilon_{\text{ст}}$  из условия

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{эkv. ст}}. \quad (8.13)$$

Выбранный двигатель проверяют по пусковому моменту (Н. м.):

$$u^2 M_{\text{пуск. дв}} \geq M_{\text{тр}} = 1,3 M_3, \quad (8.14)$$

где  $M_{\text{пуск. дв}}$  — пусковой момент двигателя по каталогу;  $M_{\text{тр}}$  — момент трогания плуга в конце гона;  $M_3$  — рабочий момент двигателя в конце гона;  $u$  — напряжение на двигателе при пуске в относительных единицах.

Управление работой (рис. 8.1, б) двигателей может быть ручным (кнопочная станция) и автоматическим (конечные выключатели). При нажатии кнопки SB2 в цепи управления приводом первой лебедки катушка KB1 реверсивного магнитного пускателя пускает первый двигатель на ход вперед: прокладывается поперек поля первая борозда. Когда плуг подходит к первой тележке, упор на тросе через вилку нажимает на конечный выключатель SQ1, получает пита-

ние первое промежуточное реле *KL1*, которое отключает катушку *KB1* и включает катушку *KH1*. Первый двигатель реверсируется, плуг останавливается. При реверсе переключается храповая муфта, которая отъединяет двигатель от тросового барабана и соединяет с трансмиссией, передающей момент на ведущие колеса. Тележка передвигается вдоль поля на ширину захвата плуга. В этот момент упор на цепи трансмиссии нажимает на конечный выключатель *SQ3*, пускатель первой лебедки отключается.

В начале движения первой тележки вдоль поля специальный упор в трансмиссии нажимает на конечный выключатель *SQ2*, промежуточное реле *KL4* включает второй магнитный пускатель *KB2* (схема управления вторым магнитным пускателем аналогична первой) на ход вперед. Плуг идет назад, прокладывая вторую борозду. Далее схема работает аналогичным образом, но по отношению ко второй лебедке.

### 8.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРИЦЕПНЫХ МАШИН

**Электропривод сенокосилок.** Электропривод позволяет агрегатировать несколько косилок с трактором. При механическом приводе передача энергии к режущим аппаратам второй и третьей косилок вызывает большие затруднения. Электротрансмиссия, состоящая из генератора, соединенного с двигателем трактора, и трех электродвигателей, приводящих в действие режущие аппараты, заменяет механическую трансмиссию косилки. При этом кинематическая схема существенно упрощается. Кроме того, механические трансмиссии после работы в течение 1000...1500 ч требуют значительного ремонта, а безремонтный срок работы электропривода косилки равен нескольким десяткам тысяч часов. Знакопеременный характер нагрузки режущего аппарата весьма неблагоприятен для механической трансмиссии косилки, в то время как электромагнитная связь ножа с рамой машины через электродвигатель обеспечивает более плавную работу косилки и трактора.

Для получения возвратно-поступательного движения ножа в косилках используют вращательное движение элементов привода (до 800 об/мин), что позволяет применить высокоскоростные, а следовательно, и легкие асинхронные двигатели. Исследования аналогичных по конструкции электрифицированной и обычной полунавесных косилок показали эксплуатационные преимущества электрифициро-

ванной косилки. Некоторые сравнительные данные приведены ниже.

| Показатели  | Неэлектрифицированная косилка КН-14 | Электрифицированная косилка КЭ-14 |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Скошено трав на площади, га . . . . .             | 506                                 | 558                               |
| Средняя производительность, га/ч . . . . .        | 6,2                                 | 7,7                               |
| Расход горючего, кг/га . . . . .                  | 0,9                                 | 0,9                               |
| Общая масса, кг . . . . .                         | 2208                                | 1850                              |
| Масса по ширине захвата, кг/м . . . . .           | 157                                 | 132                               |
| Коэффициент эксплуатационной надежности . . . . . | 0,6                                 | 0,94                              |

Электрическая схема электротрансмиссионного привода косилок предусматривает включение двигателей при помощи магнитного пускателя, подачу световых сигналов, включение осветительных фар. Катушка электромагнитного пускателя получает питание от генератора через потенциометр, который позволяет увеличивать на ней напряжение в период пуска.

**Электропривод жаток.** Для скашивания зерновых культур используют агрегат, состоящий из трактора ДТ-54 и двух жаток ЖЭА-2Р. Здесь, как и в предыдущем случае, кинематическая схема значительно упрощается. Рабочие органы каждой жатки приводятся в действие электродвигателем мощностью 4,5 кВт, а механизм, регулирующий высоту среза, — отдельным электродвигателем мощностью 0,6 кВт.

Электрическое оборудование, цепи управления и сигнализации получают энергию по гибкому кабелю от синхронного генератора мощностью 15 кВт·А, который установлен на кронштейне позади трактора и работает от вала отбора мощности трактора.

В кабине трактора расположен щит с кнопками управ-

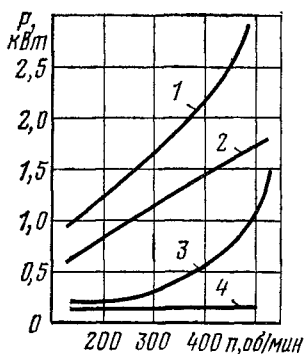


Рис. 8.2. Механические характеристики холостого хода жатки ЖР-4,9:

1 — жатки в целом; 2 — транспортера; 3 — режущего аппарата (мощность средняя); 4 — мотовила.

ления двигателем первой жатки и синхронного управления обеими жатками. Подъем режущих аппаратов ограничивают конечные выключатели. На второй жатке устанавливают электрощиток с кнопками управления приводом второй жатки и синхронного управления обеими жатками.

Зависимости мощностей холостого хода узлов жатки ЖР-4,9 от частоты вращения (по ВНИИМЭСХ) приведены на рисунке 8.2. Момент трогания жатки составляет 55 Н·м.

Мощность электродвигателя для привода жатки

$$P_{\text{дв}} = (P_x + P_{\text{рез}} + P_{\text{валк}}) \eta_{\text{п}}^{-1}, \quad (8.15)$$

где  $P_x$  — мощность холостого хода жатки;  $P_{\text{валк}}$  — мощность, затрачиваемая на образование валка, 0,25 кВт;  $P_{\text{рез}} = cbvP_1m$  — мощность, затрачиваемая на резание стеблей;  $c$  — коэффициент засоренности посевов;  $v$  — скорость движения жатки, м/с;  $b$  — ширина захвата жатки, м;  $m$  — число стеблей на 1 м<sup>2</sup> поля;  $P_1$  — работа, затрачиваемая на резание одного стебля (около 0,3 Н·м).

Нагрузочная диаграмма от резания стеблей носит переменный характер (рис. 8.3).

**Автоматическое управление приводом культиватора.** Точность вождения навесных культиваторов при междурядной обработке свеклы повышается с введением автоматического управления положением подвижной части рамы культиватора с рабочими органами. Поперечное смещение рамы до 280 мм осуществляется гидроцилиндром со скоростью 15 см/с. При первой междурядной обработке культиватором управляют вручную. Со второй культивации применяют автоматическое управление.

Управляющие сигналы от рядков свеклы поступают через электрический или механический датчики-щупы следящей системы. Электрический щуп состоит из двух изолированных друг от друга и от массы культиватора латунных электродов 1 и 2 (рис. 8.4, а), устанавливаемых в междурядьях на расстоянии, равном половине защитной зоны от середины рядка растений. Длина электродов 160 мм, высота над землей регулируется в пределах от 0 до 200 мм.

При отклонении трактора от прямолинейного движения культиватор смещается в одну из сторон, при этом правый или левый электрод наезжает на соответствующий рядок свеклы, замыкает свою электрическую цепь через растение, землю и массу культиватора. Сигнал поступает в усилитель 3 или 4 и вызывает срабатывание промежуточного реле 5 или 6, контакты которого включают электромагнит

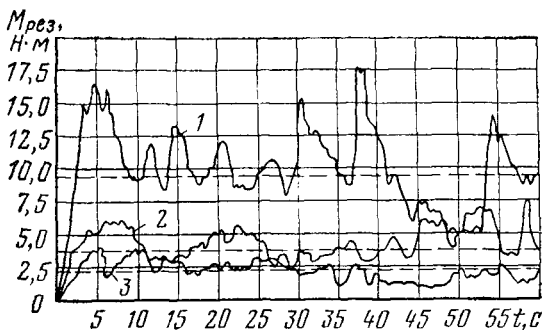


Рис. 8.3. Нагрузочные диаграммы электродвигателя от резания стеблей: 1 — люцерны второго года, второго укоса; 2 — разнотравья; 3 — суданки первого укоса.

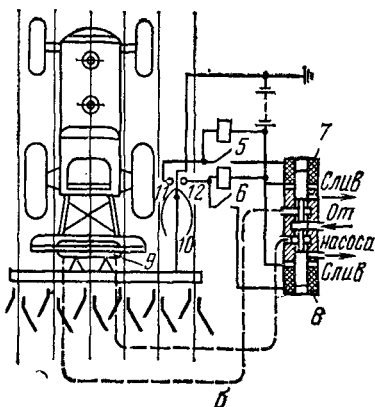
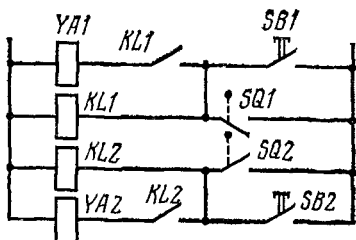
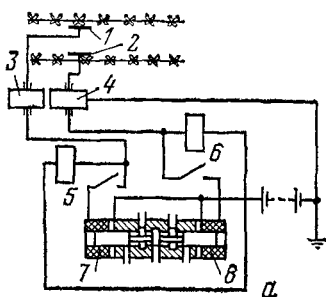


Рис. 8.4. Электрические схемы управления культиватором с подвижной рамой: а — при работе с электрическим щупом; б — при работе с механическим щупом; 1, 2 — электроды; 3, 4 — усилители; 5, 6 — реле; 7, 8 — гидрозолотники; 9 — гидравлический цилиндр; 10 — усы щупа; 11, 12 — контакты щупа.

7 или 8 гидрозолотника. Масло гидросистемы трактора направляется в цилиндр 9 культиватора, перемещающий подвижную часть культиватора вправо или влево до тех пор, пока щуп не перестанет прикасаться к растению.

При работе с механическим щупом брус культиватора смещается в нужном направлении в момент, когда рядок растений отклоняет щуп в сторону и замыкает контакты 11 или 12 (рис. 8.4, б), вызывая срабатывание соответствующих промежуточных реле и электромагнита золотника. Смещение бруса происходит до тех пор, пока усы щупа не станут в нейтральное положение. Для ручного управления пользуются переносным пультом с кнопками SB1 и SB2.

#### 8.4. ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ

Мобильные машины с автономным источником энергии дизельным двигателем обладают полной свободой передвижения и в наибольшей степени удовлетворяют требованиям сельскохозяйственных работ. Механическая энергия от дизеля передается на ведущие колеса (или гусеницы) трактора через ступенчатую коробку перемены передач, которая не всегда позволяет выбрать наиболее оптимальный режим работы двигателя внутреннего сгорания с полной

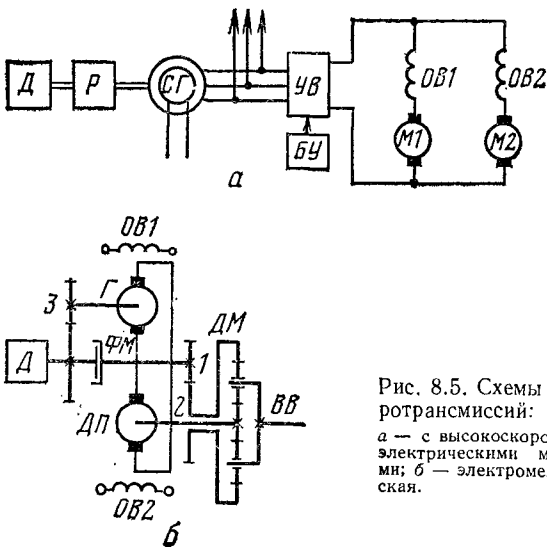


Рис. 8.5. Схемы электротрансмиссий:

а — с высокоскоростными электрическими машинами; б — электромеханическая.

нагрузкой и наивысшим коэффициентом полезного действия. Поэтому были разработаны бесступенчатые электрические и электромеханические трансмиссии для передачи энергии на ведущие колеса, позволяющие полностью (на 98...100%) загружать дизельный двигатель на разных режимах работы. Эксплуатация дизель-электротрактора ДЭТ-250 на дорожно-строительных работах показала его явные преимущества перед тракторами с механической трансмиссией. Его производительность на 30% больше благодаря более полному использованию установленной мощности двигателя внутреннего сгорания.

В перспективных электротрансмиссиях используются высокоскоростные электрические машины с минимально возможными массогабаритными показателями (рис. 8.5, а). Двигатель внутреннего сгорания  $D$  через повышающий редуктор  $P$  приводит в действие высокоскоростной синхронный генератор  $СГ$ , электроэнергия генератора передается через управляемый тиристорный выпрямитель  $УВ$  регулируемым тяговым электродвигателям. Скорость тяговых двигателей регулируется блоком управления  $БУ$  через управляемый выпрямитель. Такая электротрансмиссия допускает и неограниченный отбор мощности на переменном токе для электроприводов рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Для получения удовлетворительных массогабаритных показателей наряду с электрическим используются и электромеханические трансмиссии (рис. 8.5, б). Механическим путем энергия от теплового двигателя  $D$  передается через фрикционную муфту  $ФМ$ , вал  $1$  и дифференциальный механизм  $ДМ$  на выходной вал и далее на ведущие колеса трактора. Электромеханическим путем второй поток энергии передается от двигателя внутреннего сгорания  $D$  через зубчатую пару  $З$ , генератор постоянного тока  $Г$ , питающий двигатель постоянного тока  $ДП$ , вал  $2$  и дифференциальный механизм  $ДМ$  на выходной вал  $ВВ$ . Изменяя токи в обмотках возбуждения генератора  $ОВ1$  и двигателя  $ОВ2$ , изменяют частоту вращения вала  $2$  по значению и направлению. Дифференциальный механизм суммирует угловые скорости валов  $1$  и  $2$ , что приводит к соответствующему изменению частоты вращения выходного вала.



## Глава 9. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ И СТЕНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ

### 9.1. ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Каждый вид обработки на металлорежущих станках характеризуется оптимальными по производительности значениями скоростей, усилий, мощностей, найденными в результате научно-исследовательской и экспериментальной работ и собранными в специальных изданиях бюро технических нормативов.

Скорость, усилие и мощность резания можно определить по специальным картам технологических нормативов или по теоретическим формулам с экспериментальными коэффициентами. Расчет начинают с выбора марки инструментального материала, геометрической формы режущей части инструмента, значения глубины резания и величины подачи.

Скорость резания (м/мин) при точении

$$v = \frac{C_v}{T m t^{x_v} S^{y_v}}, \quad (9.1)$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал, материал резца, вид токарной обработки (при обработке стали и чугуна находится в пределах 39...262 для твердосплавных резцов и 18...54 для резцов из быстрорежущей стали);  $T$  — стойкость резца (продолжительность работы его между двумя соседними заточками), мин;  $t$  — глубина резания (для отделочных работ 0,1...2 мм, для обдирки 3...30 мм);  $S$  — подача (для отделочных работ 0,1...0,4 мм/об, для обдирки 0,4...3 мм/об);  $m$ ,  $x_v$ ,  $y_v$  — показатели степени, зависят от свойств обрабатываемого материала, материала резца и вида обработки:  $m=0,1...0,2$ ;  $x_v=0,15...0,2$ ;  $y_v=0,35...0,8$ .

Усилие резания (Н) при точении

$$F_z = 9,81 C_F t^{x_F} S^{y_F} v^n, \quad (9.2)$$

где  $C_F$  — коэффициент характеризующий обрабатываемый материал, материал резца, вид токарной обработки (например, при наружном точении углеродистой стали для резцов из быстрорежущей стали — 208, для резцов твердосплавных — 300; при точении серого чугуна для резцов из быстрорежущей стали — 118, для твердосплавных резцов — 92);  $x_F$ ,  $y_F$  — показатели степени ( $x_F=1$ ,  $y_F=0,75$ );  $n$  — показатель степени ( $n=0,15$  для резцов твердосплавных при точении стали и  $n=0$  в остальных трех случаях).

Усилия радиальное  $F_y$  и осевое  $F_x$  определяют по формулам, аналогичным (9.2), но с другими коэффициентами, при этом  $F_y = (0,3 \dots 0,5)F_z$ ,  $F_x = (0,2 \dots 0,3)F_z$ .

Мощность резания (кВт)

$$P_z = \frac{F_z v}{60 \cdot 1000} \quad (9.3)$$

Суммарное усилие (Н) подачи при резании

$$F_n = kF_x + (F_z + F_y + G_c) f, \quad (9.4)$$

где  $k=1,1 \dots 1,3$  — коэффициент запаса, учитывающий перекосы;  $f=0,05 \dots 0,15$  — коэффициент трения при движении суппорта;  $G_c$  — вес суппорта.

Мощность подачи при резании (кВт)

$$P_n = \frac{F_n v_n}{60 \cdot 1000}, \quad (9.5)$$

где  $v_n = Sn$  — скорость подачи, мм/мин;  $n$  — частота вращения шпинделя, об/мин.

Так как скорость подачи во много раз меньше скорости резания, то и мощность подачи мала по сравнению с мощностью резания:  $P_n \approx (0,001 \dots 0,01)P_z$ .

Расчет мощности электроприводов станков необходим для правильного выбора двигателей. Если мощность двигателя завышена, увеличиваются потери электропривода и ухудшаются энергетические показатели. В противном же случае двигатель оказывается перегруженным, быстро выходит из строя, требует ремонта, то есть в конечном счете растут непроизводительные затраты и уменьшается производительность станка. Правильно выбранные мощности и тип электродвигателей станков соответствуют оптимальным значениям технико-экономических показателей. Мощность двигателя механизма станка в установившемся режиме определяют по выражениям (9.3) и (9.5).

Типовыми механизмами станка являются механизмы главного привода, подачи и вспомогательные механизмы (зажима поперечины, перемещения узлов и др.). Каждый из них имеет свои особенности, обусловленные технологическим процессом и конструкцией. Во всех случаях определения мощности электродвигателя необходимо знать нагрузочную диаграмму механизма, а также потери в самом механизме или его КПД. Тогда может быть известна нагрузка на входном валу механизма и на валу электродвигателя. Условия работы механизмов станков по характеру нагруз-

ки, режиму и регулированию скорости весьма различны. Этим объясняется большое разнообразие применяемых систем электроприводов, начиная от нерегулируемого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и кончая сложными системами с обширным диапазоном регулирования скорости и использованием глубоких обратных связей. Поэтому не представляется возможным дать какую-либо единую методику расчета и выбора мощности электродвигателя типовых механизмов станков. В связи с этим определение мощности и предварительный выбор электродвигателя должны выполняться в расчете на наиболее энергоемкий конкретный технологический процесс по правилам и методикам, изложенным в основах электропривода.

Для главных приводов легких и средних станков характерна нагрузка с постоянной мощностью во всем диапазоне регулирования. Для тяжелых станков начальную часть диапазона с меньшими скоростями занимает нагрузка с постоянным моментом, причем с увеличением веса изделий и станков и при наличии направляющих скольжения эта часть диапазона имеет тенденцию к увеличению.

Приводам подач и вспомогательным приводам в основном присуща нагрузка с постоянным моментом трения.

Приводы основных движений тяжелых станков (главный и подачи) работают в длительном режиме с переменной нагрузкой. В легких и средних станках любых типов, а также в сверлильных, агрегатных и шлифовальных станках можно встретить приводы, для которых характерен повторно-кратковременный режим. Вспомогательные приводы работают, как правило, в кратковременном режиме. Выбор типа привода обуславливается требуемым диапазоном регулирования скорости механизма станка. Главный привод вращательного движения, диапазон регулирования которого весьма значителен (порядка 100 : 1), может быть выполнен на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и многоступенчатой коробки скоростей или регулируемого двигателя постоянного тока и 2...4-ступенчатой коробки скоростей. В тяжелых станках применяют регулируемый привод постоянного тока по системе преобразователь — двигатель (П—Д). Аналогичные решения могут быть найдены для регулируемых приводов механизмов подач. Следует учитывать, однако, что при меньших мощностях этим приводам необходимы очень большие диапазоны регулирования (порядка 1000 : 1). Вспомогательные приводы обычно выполняются от асинхронных двигателей с

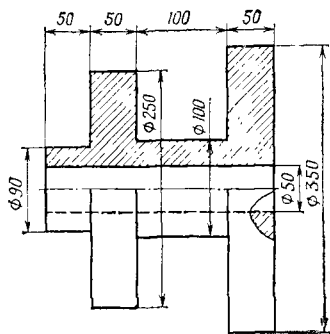


Рис. 9.1. Эскиз детали.

короткозамкнутым ротором и являются нерегулируемыми. Выбранный двигатель проверяют по пусковому моменту, а также по перегрузочной способности.

Характерным для работы главных приводов станков являются длительный и повторно-кратковременный режимы, которые могут протекать при переменной нагрузке. Расчет мощности двигателя возможен как методом

средних потерь, так и методами эквивалентных величин с построением нагрузочных диаграмм. При расчете методом средних потерь, а также при учете переходных процессов неизбежны предварительный выбор двигателя и его последующий проверочный расчет.

Для определения мощности двигателя токарного станка методом средних потерь из технологических условий должны быть известны чертеж обрабатываемой детали (рис. 9.1), материалы детали и резца, глубина резания, подача, скорость, усилие, мощность резания, машинное и вспомогательное время, коэффициент загрузки и КПД станка при различных нагрузках.

Мощность (кВт) на валу двигателя на каждой операции

$$P_{dk} = P_{zk} \frac{1}{\eta_{ст}}, \quad (9.6)$$

где  $\eta_{ст}$  — КПД станка при мощности резания  $P_z$ .

Мощность (кВт) холостого хода станка

$$P_x = aP_{zn}, \quad (9.7)$$

где  $P_{zn}$  — номинальная мощность резания;  $a \approx 0,15$  — коэффициент постоянных потерь.

На основании расчетных и исходных данных строят нагрузочную диаграмму двигателя (рис. 9.2), по которой находят среднюю мощность за цикл:

$$P_{д.ср} = \frac{\sum P_{dk} t_k}{t_{ц}}, \quad (9.8)$$

где  $P_{dk}$  — мощность двигателя на участке  $k$ ;  $t_k$  — продолжительность работы двигателя на участке  $k$ ;  $t_{ц}$  — продолжительность цикла.

Ориентировочно подсчитывают мощность:

$$P_d = (1,1 \dots 1,3) P_{д.ср} \quad (9.9)$$

и выбирают двигатель по каталогу. Выписывают его паспортные данные и подсчитывают номинальные потери  $\Delta P_H$  и потери на каждом участке нагрузочной диаграммы:

$$\Delta P_{д.к} = P_{зк} \left( \frac{1}{\eta_k} - 1 \right). \quad (9.10)$$

КПД на каждом участке определяют по графику  $\eta_d = f(P_d)$  для выбранного двигателя или по справочнику. На основании расчетных данных строят диаграмму 2 (рис. 9.2) потерь в двигателе, по которой определяют средние потери за цикл:

$$\Delta P_{д.ср} = \left( \sum_{k=1}^{k=N} \Delta P_{дк} t_k \right) \frac{1}{t_{ц}} \quad (9.11)$$

и затем проверяют соответствие средних потерь номинальным:

$$\Delta P_H \geq P_{д.ср}. \quad (9.12)$$

При соблюдении условия (9.12) останавливаются на выбранном двигателе, в противном случае повторяют расчет для двигателя ближайшей большей мощности.

Токарно-револьверные станки предназначены для обработки деталей сложной формы, в том числе болтов, гаек

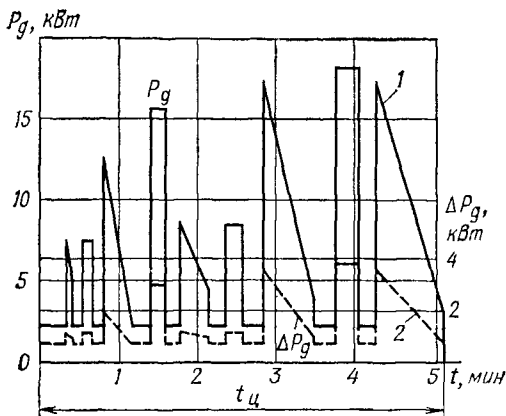


Рис. 9.2. Нагрузочные диаграммы главного привода токарного станка:  
1 — двигателя; 2 — потерь в двигателе.

и т. п. Процесс обработки состоит из последовательных операций с использованием различных инструментов: резцов, сверл, метчиков, закрепляемых в шестигранной револьверной головке, установленной на суппорте. В электромашиностроении эти станки применяют для обработки подшипниковых щитов, втулок и нажимных конусов коллекторов электрических машин. Их применение повышает производительность труда в 2...3 раза по сравнению с обработкой на токарно-винторезных станках.

На рисунке 9.3, а показан общий вид токарно-револьверного станка. Его основные узлы: станина 1, фартуки 2 поперечного суппорта 5 и суппорта 7 револьверной головки, коробка подач 3, шпиндельная бабка 4, револьверная головка 6. При обработке заготовки инструменты поочередно вводятся в работу путем поворота револьверной головки вокруг своей оси и продольного перемещения по направляющим станины.

Электрическая схема управления станком приведена на рисунке 9.3, б. Шпиндель приводится в действие асинхронным двигателем *M1* мощностью 14 кВт при угловой скорости вращения 145 рад/с; двигатель *M2* мощностью 1,7 кВт при 142 рад/с приводит во вращение насос гидросистемы *H1*, а также используется для получения быстрого продольного перемещения двух суппортов станка. Насос охлаждения *H2* вращается двигателем *M3* мощностью 0,125 кВт при 280 рад/с.

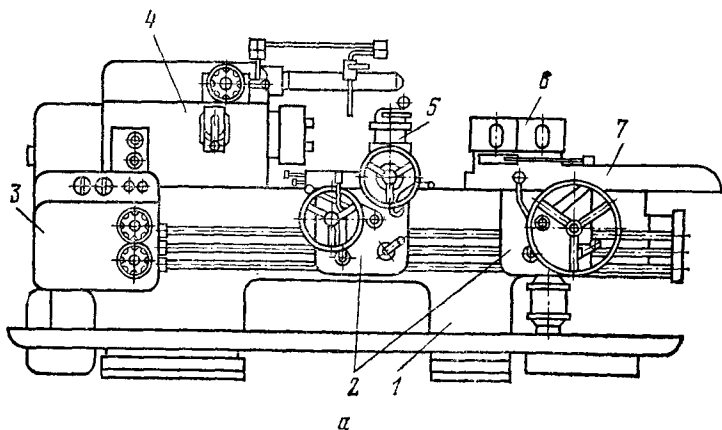
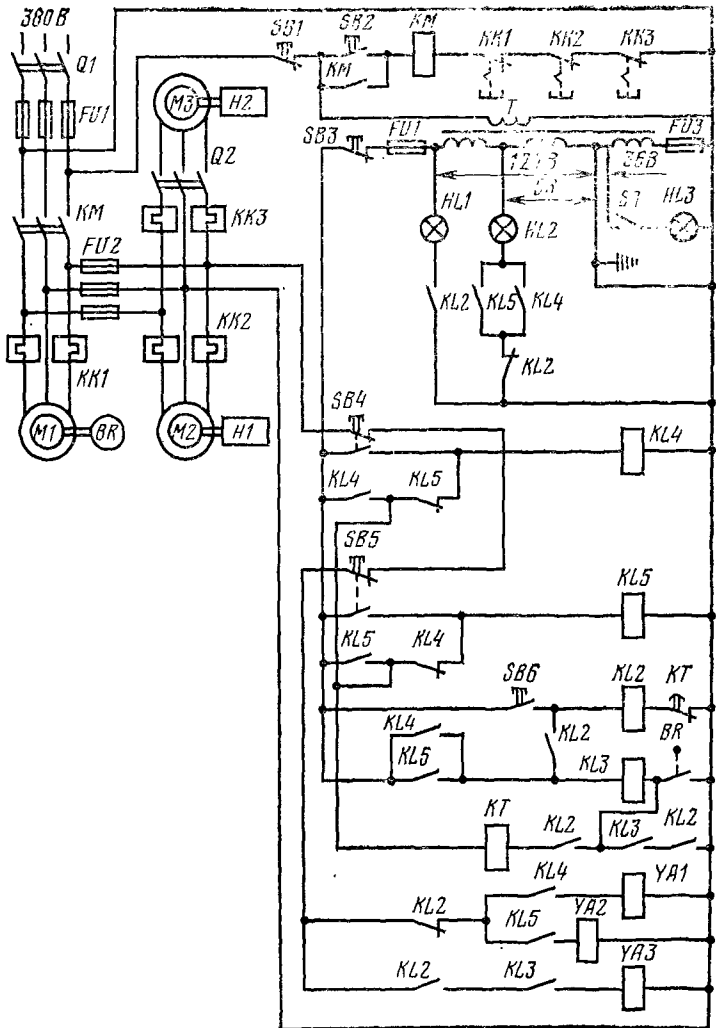


Рис. 9.3. Электропривод токарно-револьверного станка модели 1П365: а — общий вид; б — электрическая схема электропривода.



д

Продолжение рисунка 9.3.

Угловая скорость шпинделя регулируется ступенчато от 3,4 до 150 рад/с. Блоки шестерен в коробке скоростей приводятся в движение гидроцилиндрами. В коробке скоростей находится также фрикцион, состоящий из двух муфт: одной — для включения прямого (правого) вращения шпинделя, другой — для обратного (левого) вращения. Включаются муфты гидроцилиндром, золотник которого переводится при помощи электромагнитов *УА1* и *УА2*. Муфты соединяют вал электродвигателя *М1* с коробкой скоростей.

Для быстрой остановки шпинделя в коробке скоростей предусмотрен гидравлический тормоз, который управляет через гидрозолотник электромагнитом *УА3*.

Подача суппортов осуществляется от главного привода. Скорость подач регулируют механически передвижением блоков шестерен в коробке подач при помощи гидроцилиндров. Скорость шпинделя и подачу изменяют при помощи рукояток гидрпереключателей, находящихся на фартуках суппортов и воздействующих на золотники соответствующих гидроцилиндров.

Все органы управления электроприводами станка находятся на пульте, помещенном на передней стенке коробки скоростей. Напряжение на схему управления подается выключателем *Q1*. Лампу местного освещения *HL3* включают выключателем *SA*. Электродвигатели *М1* и *М2* включают кнопкой *SB2*, отключают кнопкой *SB1*. Двигатель *М3* включает и отключает пакетный выключатель *Q2*. В процессе разгона двигателя *М1* при угловой скорости  $(0,2...0,3)\omega_n$  замыкается контакт реле контроля скорости *BR*, подготавливающий к включению цепь быстрой остановки шпинделя, необходимой для переключения шестерен во время работы станка.

Для получения правого вращения шпинделя нажимают кнопку *SB4*. При этом срабатывает реле *KL4* и, замыкая свои контакты, блокирует замыкающий контакт кнопки, включает реле *KL3* и подготавливает к включению электромагнит *УА1*. Контакт реле *KL4* включает зеленую лампочку *HL2*. После отпускания кнопки *SB4* включается электромагнит *УА1* и шпиндель станка разгоняется до установленной угловой скорости. Если шпиндель из неподвижного положения необходимо пустить в сторону левого вращения, то нажимают кнопку *SB5*. При этом включается реле *KL5*, а после отпускания кнопки — электромагнит *УА2*. Горит зеленая лампочка *HL2*. При



обоих направлениях вращения шпинделя реле *KL3* подготавливает к включению электромагнит *УА3*, управляющий гидротормозом шпинделя.

Для изменения угловой скорости шпинделя или скорости подачи суппорта при работе станка (подключены двигатель *М1* и фрикцион) сначала устанавливают гидрореле переключателями нужное значение скорости или подачи, а затем нажимают кнопку *SB6*. При этом включается и становится на самопитание реле *KL2*, гаснет лампа *HL2* и загорается красная лампа *HL1*. Включается реле времени *КТ*. Отключается электромагнит *УА1* (или *УА2*) и включается электромагнит *УА3*. Происходит выключение фрикциона и быстрая остановка шпинделя гидротормозом, после чего гидроцилиндры переключают шестерни в коробке скоростей или коробке подач (при этом все валы и шестерни получают медленное вращение от специального гидромеханизма медленного поворота). К моменту завершения переключений размыкается контакт реле времени *КТ*, отключаются реле *KL2*, электромагнит *УА3* и вновь включается электромагнит *УА1* или *УА2*, что вызывает разгон и вращение шпинделя в прежнюю сторону, но с другой скоростью (или при другой подаче). Вновь горит лампа *HL2*.

Если скорости или подачу переключают при отключенном двигателе *М1*, либо когда двигатель еще не успел разогнаться (реле *В $\omega$*  не сработало), то при нажатии *SB6* электромагнит *УА3* тормоза и реле *КТ* не включаются (*KL3* не сработало или отключено напряжение питания электромагнитов), поскольку в данном случае торможения шпинделя не требуется.

Чтобы переключить скорость при выключенном фрикционе (когда шпиндель не вращается, но двигатель *М1* включен), следует установить гидрореле переключатели предварительного набора скоростей и подач в нужное положение и затем одновременно нажать кнопки *SB6* и *SB4* (или *SB5*), размыкающие цепь питания электромагнитов, и удерживать кнопки в течение 2...3 с, пока не закончится переключение шестерен. Нажимать кнопки *SB4* или *SB5* при таких переключениях необходимо для того, чтобы предотвратить включение электромагнита *УА3* через замкнутые контакты реле *KL2* и *KL3*.

Для реверса шпинделя нажимают кнопку противоположного направления. Останавливают шпиндель кнопкой *SB3*, при этом электродвигатели *М1* и *М2* не отключаются.

## 9.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Колхозные и совхозные мастерские, изготавливающие и ремонтирующие инвентарь, транспортные средства, тару, мебель, оборудованы лесопильными рамами, циркульно-маятниковыми пилами, круглопильными, фуговальными, строгальными, фрезерными, сверлильными станками. Электродвигатели этих станков приводят в движение рабочие шпиндели, механизмы подачи, вспомогательные устройства. С целью регулирования скорости вращения ставят многоступенчатые ременные передачи, редукторы и применяют различные типы электродвигателей (многоскоростные, постоянного тока, с фазным ротором).

При выборе методов технической обработки, типов станков и инструментов, при расчете мощностей и усилий нужно учитывать основные свойства древесины: пластичность, делимость и прочность. В процессе резания действуют силы, вызывающие внедрение резца в древесину и создающие зону деформации, обеспечивающие отделение и деформацию стружки, преодолевающие трение стружки и резца о древесину. Для расчетов вводят действующую на пути резания суммарную силу резания, необходимую для преодоления сопротивлений, возникающих при движении резца.

Суммарное усилие сопротивления резанию, приведенное к единице площади поперечного сечения ( $1 \text{ мм}^2$ ) стружки, нормального к направлению пути резания в каждой точке траектории лезвия резца, называют удельным сопротивлением резанию  $k$  ( $\text{Н/мм}^2$ ). Работа, затрачиваемая на превращение  $1 \text{ мм}^3$  древесины в стружку, называется удельной работой резания ( $\text{Н} \cdot \text{м/мм}^3$ ) и численно равна сопротивлению  $k$ . Удельная работа резания дает возможность определить мощность резания  $P_{\text{рез}}$  ( $\text{Вт}$ ) по секундному объему снятой древесины, умноженному на  $k$ :

$$P_{\text{рез}} = kbhu, \quad (9.13)$$

откуда сила резания ( $\text{Н}$ )

$$F_{\text{рез}} = \frac{kbhu}{v}, \quad (9.14)$$

где  $b$  — ширина стружки, мм;  $h$  — толщина стружки, мм;  $u$  — скорость подачи, м/с;  $v$  — скорость резания, м/с.

Скорость резания в круглопильных станках составляет 40...70 м/с, в отдельных случаях достигает 100 м/с и соот-

ветствует окружной скорости передних режущих кромок пилы:

$$v = \omega R, \quad (9.15)$$

где  $R$  — радиус пилы, м;  $\omega$  — угловая скорость пилы, рад/с.

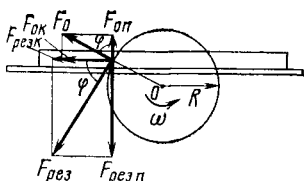


Рис. 9.4. Диаграмма сил при пилении бруска.

Скорость подачи (м/с) зависит от допустимой подачи древесины на один зуб пилы:

$$u = \frac{u_z z \omega}{2\pi 1000}, \quad (9.16)$$

где  $u_z$  — подача древесины на один зуб пилы, мм (при продольной распиловке хвойных пород оптимальное значение  $u_z = 0,8 \dots 1$  мм);  $z$  — число зубьев пилы.

Скорости ручной и механической подачи соответственно для продольного раскроя 0,17...0,6 и 0,8...1,7 м/с, для поперечного 0,1...0,3 и 0,1...0,4 м/с.

Усилие подачи (Н)

$$F_{\text{п}} = F_{\text{рез}} \cos \varphi + F_0 \sin \varphi + (G + F_{\text{рез}} \sin \varphi - F_0 \cos \varphi) f, \quad (9.17)$$

где  $F_0 = (0,2 \dots 0,8) F_{\text{рез}}$  — усилие отжима, зависящее от степени затупления пилы, формы зуба и толщины стружки (рис. 9.4), Н;  $G$  — вес подаваемого материала, Н;  $f$  — коэффициент трения древесины по столу (0,35...0,4 для сосны и дуба).

Мощность подачи (Вт)

$$P_{\text{п}} = F_{\text{п}} u. \quad (9.18)$$

Мощность приводного двигателя

$$P_{\text{дв}} = \frac{1}{\eta_{\text{п}}} (P_{\text{рез}} + P_{\text{п}}), \quad (9.19)$$

где  $\eta_{\text{п}}$  — коэффициент полезного действия передачи.

Режим работы двигателя зависит от организации подачи: если брус поступает за бруском без перерыва, то режим работы длительный; в противном случае — перемежающийся.

Пильный вал 4 круглопильного станка типа Ц-6 (рис. 9.5, а) приводится во вращение (2850 об/мин) двумя клиновыми ремнями от электродвигателя 2. Электродвигатель смонтирован на плите 1, шарнирно соединенной с плитой 3 пильного вала и со станиной 6. По высоте пильный вал устанавливают при помощи ручного привода.

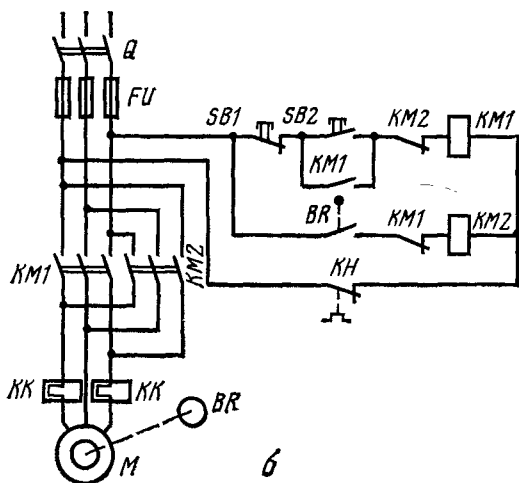
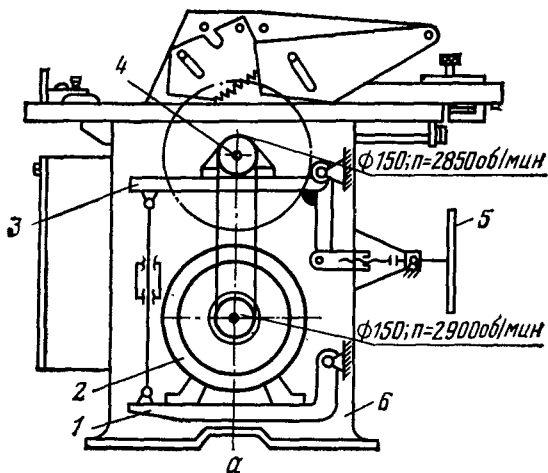


Рис. 9.5. Привод круглопильного станка Ц-6:

а — кинематическая схема; б — электрическая схема; 1 — подмоторная плита; 2 — электродвигатель; 3 — плита пыльного вала; 4 — пыльный вал; 5 — ручной привод; 6 — станина.

Напряжение на схему управления (рис. 9.5, б) подается пакетным выключателем Q. При пуске нажимают кнопку SB2, замыкая цепь тока катушки магнитного пускателя KM1, включается двигатель, происходит разгон агрегата. Замыкающие блок-контакты KM1 шунтируют кнопку SB2,

а размыкающие открываются в цепи катушки  $KM2$ . Когда угловая скорость составляет 0,1 номинальной, закрываются замыкающие контакты реле контроля скорости  $BR$ , подготавливая цепь пускателя  $KM2$ . При нажатии кнопки  $SB1$  обесточивается катушка магнитного пускателя  $KM1$ , закрываются размыкающие блок-контакты  $KM1$ , двигатель переходит в режим торможения противовключением, его угловая скорость резко снижается. Наиболее эффективен вариант настройки реле контроля скорости при торможении, когда оно размыкает свои контакты в момент, от которого до остановки двигателя проходит время, равное собственному времени отключения тормозного пускателя  $KM2$  (приблизительно 0,1 с). При такой настройке двигатель отключается от сети в момент остановки ротора.

На строгальных станках древесину обрабатывают вращающимися ножевыми головками-фрезами. Этот процесс для подобных станков принято называть строганием.

Среднее касательное усилие резания ( $F$ ) на резце

$$F_{рез} = \frac{k b h u}{v}, \quad (9.20)$$

где  $k$  — удельное сопротивление резанию — 10...46 (по экспериментальным данным, зависящее от подачи и породы древесины), Н/мм<sup>2</sup>;  $b$  — ширина снимаемого слоя древесины, мм;  $h$  — высота снимаемого слоя, мм;  $u$  — скорость подачи (0, 3...3 мм на один нож);  $v$  — скорость резания, м/с).

Мощность резания  $P_{рез}$  (Вт)

$$P_{рез} = F_{рез} v. \quad (9.21)$$

Мощность двигателя определяют по формулам (9.19) или (9.18) и (9.21) с учетом потерь в передачах для отдельного привода.

Применяются одно- и двухсторонние строгальные станки. Ширина строгания односторонних станков составляет 300...1200 мм. Скорость подачи регулируют при помощи ступенчатых шкивов и редуктора. Мощность электродвигателя для привода ножевого вала зависит от нескольких параметров (9.21) и составляет 4,5...14 кВт, мощность привода подачи 1...2,8 кВт. В приводах подачи используют двух- и четырехскоростные асинхронные двигатели. Например, у станка СРЗ-4 с шириной строгания 300 мм ножевой вал приводится двигателем мощностью 4,5 кВт, механизм подачи — двигателем мощностью 1 кВт. У станка СР-12 мощность главного двигателя 14 кВт, вспомогательного четырехскоростного 1,7/2,0/2,3/2,6 кВт.

Многодвигательным электроприводом оснащен двухсторонний строгальный станок типа С2Р12-1, который предназначен для строгания деталей и изделий (досок, брусков, столярных плит) на заданную толщину. Отдельными двигателями оснащены верхний и нижний ножевые валы, реверсивный привод подачи, заточное устройство верхнего и нижнего ножевых валов, реверсивная подача заточки верхнего и нижнего ножевых валов.

### 9.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

**Выбор электродвигателя.** Лесопильные рамы предназначены для продольной распиловки бревен диаметром до 0,45 м на доски и брусья длиной 2...8 м. Кинематическая схема лесопильной рамы содержит узлы, совершающие возвратно-поступательное и колебательное движения.

Момент (Н·м) статических сопротивлений пилорамы

$$M_c = M_{c.x} + M_{рез} + M_{под}, \quad (9.22)$$

где  $M_{c.x}$  — момент сопротивления холостого хода;  $M_{рез}$  — момент сопротивления резанию материала;  $M_{под}$  — момент сопротивления механизмов подачи.

Момент сопротивления холостого хода пилорамы зависит от угла поворота  $\alpha$  кривошипного вала:

$$M_{c.x} = M_{тр} - M_{x.max} \sin \alpha, \quad (9.23)$$

где  $M_{тр}$  — средний момент сопротивления от сил трения в подшипниках и других подвижных частях машины, Н·м;  $M_{x.max} = 9,81 m_p R$  — максимальный момент сопротивления от веса пыльной рамки, Н·м;  $R$  — радиус кривошипа, м;  $m_p$  — масса пыльной рамки, кг;  $\alpha = \omega_{кр} t$  — угол, отсчитываемый от верхней мертвой точки;  $\omega_{кр}$  — угловая скорость кривошипа, рад/с;  $t$  — время, с.

Механическая характеристика холостого хода пилорамы по среднему моменту имеет линейно-возрастающий вид. Для рам на шариковых подшипниках (Н·м)

$$M_{тр} = 0,02 m R \omega_{кр}, \quad (9.24)$$

где  $m$  — масса движущихся частей, кг.

Момент трогания пилорамы зависит также от угла поворота кривошипа. У вертикальных рам с массивными возвратно-поступательно движущимися частями приводной вал в большинстве случаев останавливается в нижней мертвой точке, для которой момент трогания относительно невелик. Некоторые пилорамы выпускаются с ручным тормозом кривошипного вала для остановки пыльной рам-

ки в верхней мертвой точке, что значительно облегчает последующий пуск. Момент сопротивления (Н·м) резанию материала, появляющийся при ходе пильной рамки сверху вниз, зависит от угла поворота:

$$M_{\text{рез}} = M_{\text{рез. макс}} \left( \sin \alpha + \frac{R}{2L} \sin 2\alpha \right). \quad (9.25)$$

Максимальный момент (Н·м) резания

$$M_{\text{рез. макс}} = \frac{kb\Sigma h\Delta R}{H}, \quad (9.26)$$

где  $b$  — ширина пропила, мм;  $\Sigma h = 0,75D_{\text{ср}}z$  — сумма высот пропилов посередине бревна, мм;  $0,75$  — коэффициент использования формы бревна;  $D_{\text{ср}}$  — диаметр среднего сечения бревна, мм;  $z$  — число пил в поставе;  $\Delta = \frac{\theta H}{\sigma l} t_3$  — подача, мм;  $\theta$  — коэффициент площади впадины, представляющий собой отношение площади впадины к квадрату шага зубца;  $\sigma$  — коэффициент разрыхления древесины (при распиловке хвойных пород  $0,4 \dots 0,7$ , твердых пород  $0,8 \dots 1,5$ );  $l$  — длина бревна, м;  $t_3 = \sqrt{\frac{\sigma}{\theta} Esh}$  — шаг зубцов пилы, м;  $E$  — коэффициент прочности зуба (для мягких пород  $0,3 \dots 0,4$ , для твердых пород  $0,2 \dots 0,3$ );  $s$  — толщина пилы, мм;  $h$  — высота пропила, мм.

Удельное сопротивление  $k$  пилению зависит от породы дерева, подачи, средней высоты пропила (например, для сосны  $k = 52 \dots 97$  Н/мм<sup>2</sup>). Если за единицу принять значение  $k$  для острой пилы, то в зависимости от продолжительности ее работы вводят поправочный коэффициент:

|                                  |      |      |     |     |
|----------------------------------|------|------|-----|-----|
| Продолжительность работы пилы, ч | 1    | 2    | 3   | 4   |
| Поправочный коэффициент . . . .  | 1,14 | 1,27 | 1,4 | 1,5 |

Для других древесных пород значение  $k$  принимают с поправочным коэффициентом: для липы —  $0,8$ , лиственницы —  $1,07$ , березы —  $1,3$ , дуба —  $1,55$ , ясеня —  $2,0$ .

Момент сопротивления (Н·м) механизмов подачи

$$M_{\text{под}} = \frac{Fu}{\omega_{\text{кр}} \eta_{\text{под}}}, \quad (9.27)$$

где  $F = \frac{kb\Sigma h\Delta}{H}$  — усилие подачи бревна (принимается равным усилию пиления);  $\eta_{\text{под}}$  — коэффициент полезного действия механизма подачи;  $u = \frac{u_z}{t_3} v_{\text{ср}}$  — скорость подачи, м/с;  $u_z$  — подача на зубец ( $0,0014 \dots 0,002$  м);  $v_{\text{ср}} = \frac{2Hn}{60}$  — средняя скорость резания, м/с;  $H$  — ход пильной рамки, м;  $n$  — частота вращения кривошипного вала, об/мин.

Суммарный средний момент статических сопротивлений

$$M_{с. ср} = M_{гр} + \frac{1}{\pi} M_{рез. max} + M_{под}. \quad (9.28)$$

Средняя мощность для привода пилорамы

$$P_{ср} = \frac{M_{с. ср} \omega_{кр}}{1000 \eta_{п}}, \quad (9.29)$$

где  $\eta_{п}$  — коэффициент полезного действия передачи.

На нагрузочную диаграмму двигателя, кроме момента  $M_c$ , влияет переменный приведенный момент инерции пилорамы, также зависящий от угла поворота кривошипа:

$$J = J_m + m_p \frac{v^2}{\omega_{дв}^2} = J_m + m_p \frac{R^2}{i^2} \left( \sin \omega_{кр} t + \frac{R}{2L} \sin 2\omega_{кр} t \right)^2, \quad (9.30)$$

где  $J_m$  — приведенный момент инерции маховика и других частей пилорамы с постоянным моментом инерции, кг·м<sup>2</sup>;  $v$  — скорость пильной рамки, м/с;  $\omega_{дв}$  — угловая скорость вращения двигателя, рад/с;

$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{кр}}$  — передаточное число.

Момент на валу двигателя определяют из уравнения движения электропривода:

$$M_{дв} = M_c + M_{дин} = M_c + J \frac{d\omega_{дв}}{dt} + \frac{\omega_{дв}}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}, \quad (9.31)$$

где  $M_{дин}$  — динамический момент, Н·м.

При постоянной скорости вращения и с учетом формул (9.22), (9.23), (9.27), (9.30), (9.31)

$$M_{дв} = \left[ M_{гр} - M_{х. max} \sin \omega_{кр} t + M_{рез. max} \left( \sin \omega_{кр} t + \frac{R}{2L} \sin 2\omega_{кр} t \right) + \frac{Fu}{\omega_{кр} \eta_{под}} \right] \frac{1}{i \eta_{п}} + \frac{m R^2 \omega_{кр}^2}{2 i^2} - \\ - \left( 2 \sin \omega_{кр} t + \frac{R}{L} \sin 2\omega_{кр} t \right) \left( \cos \omega_{кр} t + \frac{R}{L} \cos 2\omega_{кр} t \right). \quad (9.32)$$

На реальную нагрузочную диаграмму двигателя дополнительно влияют переменная скорость, упругость и скольжение ременной передачи, электромагнитные переходные процессы в двигателе. Токовая нагрузочная диаграмма (получена в ЧИМЭСХ) двигателя пилорамы (рис. 9.6) близка к косинусоидально-прямоугольной с коэффициентом формы  $k_{ф. д} = 1,2$ . Поэтому мощность двигателя



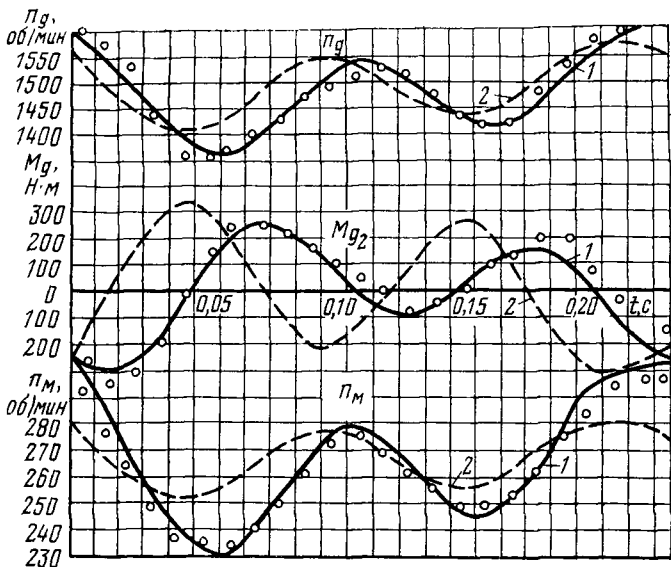


Рис. 9.6. Нагрузочные диаграммы электропривода пилорамы ЛР-64 с двигателем А72-4:

— расчетные с учетом электромагнитных переходных процессов, упругости и скольжения ременной передачи; о о о о о — по экспериментальным данным; - - - - - расчетные без учета электромагнитных переходных процессов, упругости и скольжения ременной передачи; х х х х х — по моменту и активному току.

можно выбрать по формуле

$$P_{\text{дв}} = 1,2P_{\text{ср}}. \quad (9.33)$$

Пусковой момент двигателя должен удовлетворять одному из условий: при пуске из верхней мертвой точки

$$u_1^2 M_n > 1,25 M_{\text{с.х.ср}}, \quad (9.34)$$

при пуске из нижней мертвой точки

$$u_1^2 M_n > 1,25 M_{\text{с.х.мах}} = 1,25(M_{\text{тр}} + 9,81 m_p R), \quad (9.35)$$

где  $u_1$  — напряжение на двигателе при пуске в относительных единицах.

По условию перегрузки двигатель проверяют по формуле

$$\lambda M_n \geq M_{\text{дв.мах}}, \quad (9.36)$$

где  $\lambda$  — коэффициент допускаемой механической перегрузки двигателя с учетом снижения напряжения;  $M_{\text{дв.мах}}$  — максимальный момент по нагрузочной диаграмме двигателя.

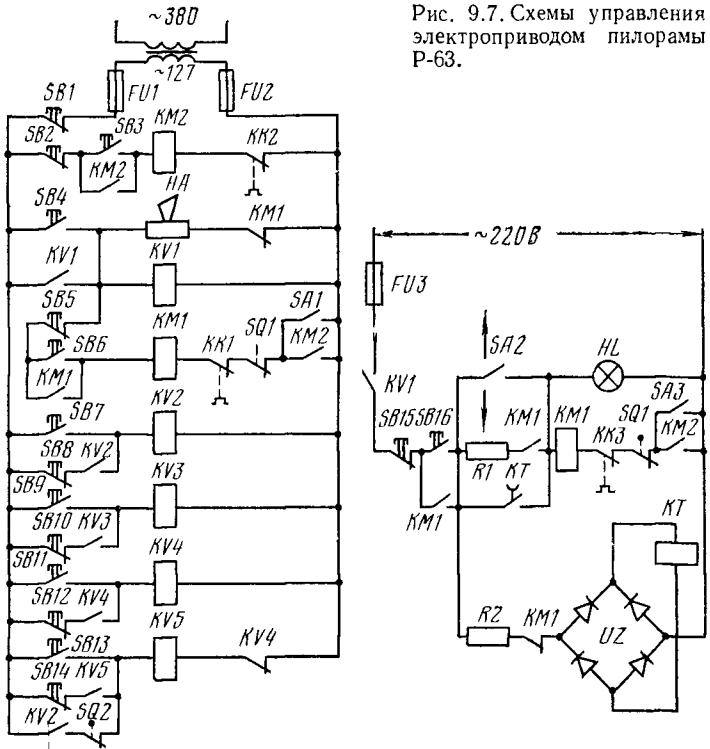
**Управление электроприводом.** Современные вертикальные лесопильные рамы большой производительности приводятся в действие от двух или трех электродвигателей. Главный двигатель связан ременной передачей с кривошипным валом машины (200...500 об/мин), а вспомогательные двигатели приводят механизм подачи и гидронасос.

Мощность основного двигателя (АОС-94-8) пилорамы Р-63 составляет 55 кВт, двигателя гидронасоса (АО51-6) — 2,8 кВт. Пускозащитная аппаратура размещена в шкафу управления, а соленоиды подъема и опускания вальцов, подающих бревна, расположены на гидронасосе.

Вначале при помощи пускателя *КМ2* (рис. 9.7) вводят в работу двигатель гидронасоса. Замыкающий контакт *КМ2* подготавливает цепь основного двигателя к пуску. Конечный выключатель *SQ1* включится при условии, если с маховика пилорамы снят ручной тормоз. Ручным тормозом останавливают пилораму в верхней мертвой точке для облегчения последующего пуска. После этого, нажимая кнопку *SB4*, включают сирену и промежуточное реле *KV1*; кнопкой *SB6* в цепь тока вводится катушка магнитного пускателя *КМ1*, которая включает основной двигатель, сирена отключается.

Кнопкой *SB7* через промежуточное реле включают соленоид, открывающий доступ масла в цилиндр подъема переднего вальца. Если при этом задние вальцы были в верхнем положении, то в цепи тока оказывается промежуточ-

Рис. 9.7. Схемы управления электроприводом пилорамы Р-63.



ное реле  $KV5$ , включающее соленоид на их опускание. Кнопкой  $SB9$  подают команду на опускание передних валцов, а кнопкой  $SB11$  — на подъем задних валцов.

Форсированное питание на катушку  $KM1$  можно подать тумблером  $SA2$ , который включают только на период пуска. Сигнальная лампа  $HL$  освещает табло «Поставь  $SA2$  на работу». При помощи тумблера  $SA3$  осуществляют пробный пуск главного двигателя.

Повышению производительности лесопильных рам способствует автоматически регулируемая подача лесоматериалов к пильной рамке. Электропривод механизма подачи автоматически изменяет подачу при изменении мощности резания по длине распиливаемого бревна. Пилорама приводится в действие асинхронным двигателем  $M1$  (рис. 9.8), механизм подачи — двигателем  $M2$  постоянного тока независимого возбуждения. Двигатель  $M3$  связан с генера-

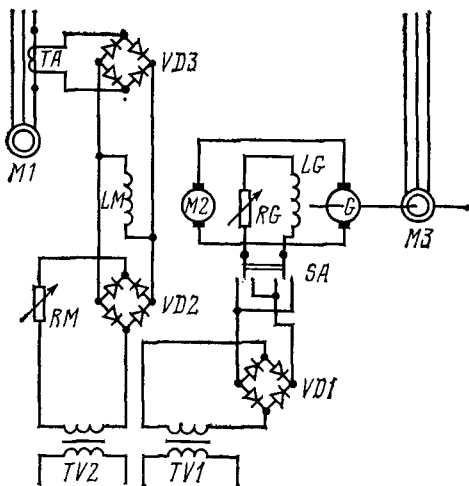


Рис. 9.8. Принципиальная электрическая схема привода подачи:  
*M1*, *M2*, *M3* — двигатели привода лесорамы, подачи, генератора; *TA* — компаундирующий трансформатор; *VD1*, *VD2*, *VD3* — выпрямители; *RM*, *RG* — реостаты возбуждения двигателя и генератора; *TV1*, *TV2* — согласующие трансформаторы; *G* — генератор; *LM*, *LG* — обмотки возбуждения двигателя подачи и генератора; *SA* — переключатель направления.

тором постоянного тока *G*, который снабжает электроэнергией двигатель подачи.

Угловую скорость двигателя *M2* регулируют в широких пределах, изменяя напряжение генератора и ток возбуждения двигателя.

Начальная угловая скорость электродвигателя *M2* задается напряжением генератора, а подачу регулируют в зависимости от потребляемой двигателем *M1* мощности, пропорциональной мощности резания, путем изменения тока возбуждения двигателя *M2*. Скорость подачи обратно пропорциональна току статора двигателя *M1*. Для этого применяют компаундирование электродвигателя подачи: к основному току возбуждения двигателя *M2* добавляется ток, пропорциональный току статора приводного двигателя.

Первичная обмотка компаундирующего трансформатора *TA* включена в цепь фазы двигателя *M1*, а вторичная обмотка через выпрямитель *VD3* подведена к обмотке возбуждения *LM* двигателя *M2*. При прохождении тока нагрузки двигателя *M1* по первичной обмотке трансформатора *TA* на его вторичной обмотке возникает напряжение, пропорциональное току нагрузки. Это напряжение соз-

дает в обмотке возбуждения  $LM$  дополнительный ток, накладывающийся на начальный ток от независимого источника — трансформатора напряжения  $TV2$  и выпрямителя  $VD2$ . Оба тока возбуждения создают результирующий магнитный поток, зависящий от потребляемой на резание мощности.

С увеличением нагрузки на главный электродвигатель при повышении мощности резания поток возбуждения двигателя подачи становится больше, а угловая скорость двигателя подачи уменьшается до тех пор, пока нагрузка главного двигателя не достигнет заданного уровня. Если мощность, необходимая для резания, снизится, например, в результате уменьшения суммы высот пропилов, то угловая скорость электродвигателя подачи и посылка увеличатся. Максимальная мощность двигателя подачи на высоких посылках составляет 3 кВт при мощности холостого хода механизма подачи 0,6 кВт.

При номинальной нагрузке главного электродвигателя может быть достигнуто автоматическое регулирование скорости подачи в пределах от +30 до —20% основной скорости. Автоматизированный электропривод повышает производительность лесопильной рамы на 5...6%.

#### **9.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД СТЕНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Выбор электродвигателя.** Стендовая обкатка и испытание автотракторных двигателей после сборки — важнейшие операции в технологическом процессе ремонта. По характеру обкатки различают два режима — холодный и горячий. В первом случае электродвигатель приводит в движение двигатель внутреннего сгорания (ДВС), а во втором ДВС работает на тормозное устройство — электродвигатель, находящийся в тормозном режиме. Продолжительность и интенсивность обкатки определяются техническими условиями на ремонт ДВС.

Анализ технических требований на ремонт ДВС показывает, что для высококачественной обкатки всех ремонтируемых двигателей привод стенда должен обеспечивать плавное регулирование частоты вращения в широких пределах, обладать достаточным моментом при трогании ДВС и соответствовать условиям режима горячей обкатки, то есть загружать ДВС до номинальных мощности и частоты вращения. Этим требованиям удовлетворяет стенд, в ко-

тором использован асинхронный двигатель с фазным ротором.

Для измерения момента двигателя применяют балансирную систему. Корпус электродвигателя монтируют на стойках с шарикоподшипниками, благодаря которым он может поворачиваться. Стойки опираются на чугунную плиту. Корпус соединен рычагом с весовым механизмом маятникового типа. Этот механизм измеряет суммарный момент от электромагнитных и механических сил, возникающих в электродвигателе. Стрелка циферблата указывает степень загрузки тормоза  $F$ .

Мощность стенда

$$P = \frac{Fn}{1000}, \quad (9.37)$$

где  $P$  — мощность (кВт при длине плеча весового механизма 974 мм);  $n$  — частота вращения электродвигателя, об/мин (измеряется стрелочным прибором, получающим сигнал от тахогенератора).

Электродвигатель соединяется с ДВС шарнирным валом. Для плавного регулирования частоты вращения и загрузки электродвигателя применен жидкостный реостат в цепи ротора, раствор которого перемешивает вертикальный центробежный насос.

Электростенд по сравнению с гидротормозом имеет преимущества: 1) осуществляет мягкий пуск, плавно регулирует частоту вращения и нагрузку без остановки; 2) в режиме горячей обкатки отдает энергию в сеть, частично компенсируя расход энергии на холодную обкатку; 3) при меньшей металлоемкости проще в устройстве и обслуживании, надежнее в работе и дешевле. Электростенд с фазным ротором менее металлоемок и проще в обслуживании, чем система Г — Д постоянного тока.

Для обкатки автотракторных двигателей МИИСП научно обосновал, а ГОСНИТИ конструктивно отработал ряд стендов с асинхронными фазными двигателями балансирного исполнения на мощностях от 4,5 до 250 кВт и синхронные частоты вращения 1500, 1000, 750 об/мин.

Номинальную частоту вращения электродвигателя стенда при  $i_n = \frac{n_{дв}}{n_{дв.с}} = 1$  выбирают исходя из условия, что

$$n_{н.г} \leq n_{н.двс} \leq n_{доп}, \quad (9.38)$$

где  $n_{н.г} = n_c(1 - s_n)$  — номинальная частота вращения электродвигателя в генераторном режиме, об/мин;  $n_c$  — частота вращения электромагнитного поля, об/мин;  $s_n$  — номинальное скольжение электродви-

гателя в генераторном режиме (величина отрицательная);  $n_{\text{доп}}$  — допустимая частота вращения электродвигателя (для станков ГОСНИТИ  $n_{\text{доп}} = 2n_c$ , об/мин);  $n_{\text{н. двс}}$  — номинальная частота вращения двигателя внутреннего сгорания, об/мин.

Номинальную мощность электродвигателя  $P_{\text{н. д}}$  определяют из условия, согласно которому его тормозная мощность  $P_{\text{т. г}}$  в генераторном режиме при  $n_{\text{н. двс}}$  была бы не меньше номинальной мощности  $P_{\text{н. двс}}$  двигателя внутреннего сгорания:

$$P_{\text{т. г}} = P_{\text{т. н}} \frac{n_{\text{н. двс}}}{n_{\text{н. г}}} = P_{\text{н. д}} \frac{n_{\text{н. двс}}}{n_{\text{н. г}} \eta_{\text{н. д}} \eta_{\text{н. г}}} \geq P_{\text{н. двс}}, \quad (9.39)$$

откуда

$$P_{\text{н. д}} \geq P_{\text{н. двс}} \frac{n_{\text{н. г}} \eta_{\text{н. д}} \eta_{\text{н. г}}}{n_{\text{н. двс}}}. \quad (9.40)$$

Номинальную тормозную мощность двигателя при  $n_{\text{н. г}}$

$$P_{\text{т. н}} = P_{\text{н. д}} \frac{1}{\eta_{\text{н. д}} \eta_{\text{н. г}}} \quad (9.41)$$

вычисляют, исходя из равенства активных мощностей —  $P_{1\text{н}}$ , потребляемой электродвигателем из сети при номинальной мощности на валу, и  $P_{\text{н. г}}$ , отдаваемой им в сеть в генераторном режиме при  $n_{\text{н. г}}$ :

$$\frac{P_{\text{н. д}}}{\eta_{\text{н. д}}} = P_{1\text{н. г}} = P_{\text{н}} = P_{\text{т. н}} \eta_{\text{н. г}}. \quad (9.42)$$

Номинальный КПД в генераторном режиме  $\eta_{\text{н. г}}$  определяют по номинальному КПД в двигательном режиме  $\eta_{\text{н. д}}$  по формуле

$$\eta_{\text{н. г}} = \frac{1}{2 - \eta_{\text{н. д}}}. \quad (9.43)$$

Допустимая тормозная мощность  $P_{\text{т}}$  электродвигателя станда больше номинальной мощности  $P_{\text{н}}$  двигателя:

$$P_{\text{т}} = kP_{\text{н}}, \quad (9.44)$$

где  $k = k_1 k_2 k_3$  — произведение коэффициентов.

Коэффициент  $k_1$  показывает, что при одной и той же электромагнитной мощности двигателя тормозная мощность в генераторном режиме больше, чем в двигательном:

$$k_1 = \frac{2 - \eta_{\text{н. д}}}{\eta_{\text{н. д}}} \frac{n_{\text{н. двс}}}{n_{\text{н. г}}}. \quad (9.45)$$

Коэффициент  $k_2$  отражает изменение условий охлаждения при скорости вращения  $n > n_c$ :

$$k_2 = \sqrt{\frac{1 + 0,5 \sqrt{\frac{n}{n_c} v}}{1 + 0,5 \sqrt{v}}} (\alpha + 1) - \alpha, \quad (9.46)$$

где  $v$  — скорость вентилярующего воздуха в машине (10...15 м/с);  $\alpha$  — отношение постоянных потерь к переменным.

Коэффициент  $k_3$  учитывает кратковременный режим работы при максимальной нагрузке по условиям технологии обкатки; его находят из уравнения нагрева двигателя

$$k_3 = \sqrt{\frac{\vartheta_n - \vartheta_e e^{-\frac{t}{T}}}{\vartheta_n (1 - e^{-\frac{t}{T}})}} (\alpha + 1) - \alpha, \quad (9.47)$$

где  $\vartheta_n$  — номинальное превышение температуры электродвигателя;  $\vartheta_e$  — начальное превышение температуры электродвигателя;  $t$  — продолжительность работы при максимальной мощности;  $T$  — постоянная времени нагрева электродвигателя.

Повышение частоты вращения электродвигателя ограничивается механической прочностью обмоток ротора и повышением напряжения на его кольцах. Электродвигатели стендов снабжены усиленным креплением обмоток ротора. Увеличение нагрузки по току и моменту электродвигателя регламентируется допустимой температурой его нагрева.

**Режимы обкатки.** В неавтоматизированном режиме обкатки частота вращения и нагрузка изменяются ступенями при общей продолжительности 3...4 ч. При этом оператор следит за ходом обкатки на каждой ступени и своевременно переводит обкатку с одного режима на другой.

Применение электростендов позволяет автоматизировать управление обкаткой ДВС, точнее соблюдать задаваемый режим и добиться хорошей приработки деталей.

На рисунке 9.9 приведен график режимов обкатки дизельных двигателей на электростенде с автоматическим устройством с плавным нарастанием частоты вращения  $n$ , нагрузки  $M$  и давления  $p$  в цилиндрах. В точке 1 происходит пуск стенда в режиме холодной обкатки, и до точки 2 он работает с нарастающей частотой вращения и уменьшением момента  $M_c$  сопротивления ДВС. В точке 2 останавливается устройство, задающее режим холодной обкатки, и пускается устройство, задающее режим горячей обкатки. В точке 3 обкатываемый двигатель автоматически



запускается и до точки 4 работает на холостом ходу при увеличивающейся частоте вращения. В точке 4 при синхронной частоте вращения электродвигатель стенда переходит в генераторный режим и начинается плавная загрузка ДВС. В точке 5 обкатка двигателя заканчивается, нагрузка снимается и двигатель переходит в режим холостого хода.

Применение асинхронного двигателя с фазным ротором позволяет осуществить описанные выше режимы. Частоты вращения электродвигателя в режиме холодной обкатки и загрузку двигателя внутреннего сгорания в режиме горячей обкатки регулируют, изменяя сопротивление жидкостного реостата.

На рисунке 9.10 показаны естественная 1 и искусственные 2 и 3 механические характеристики асинхронного электродвигателя электростенда в двигательном и генераторном режимах при различных сопротивлениях реостата, механическая характеристика 4 обкатываемого двигателя и ее отображение 4'.

В начале пуска, когда сопротивление реостата  $R1$  достаточно велико, механическая характеристика 3 электродвигателя близка к прямой. При уменьшении сопротивления реостата  $R1$  характеристика электродвигателя изменяется от вида 3 к виду 2, при  $R_1=0$  переходит к виду 1. При уменьшении  $R_1$  пусковой момент электродвигателя увеличивается, становится больше момента трогания ДВС и привод приходит в действие, частота его вращения повышается до значения  $n_A$ , когда  $M_{Ad}=M_{c. д. в. с.}$  в точке А. Изменением сопротивления добиваются, чтобы  $n_A=500...700$  об/мин. В дальнейшем сопротивление уменьшают при помощи вспомогательного привода реостата плавно в течение заданного времени обкатки  $t_1$ . В точке Б привод реостата останавливают и пускают привод тяги регулятора топливного насоса. В двигатель начинает поступать топливо, он запускается и работает вначале на холостом ходу. По мере увеличения поступающего топлива движущий момент (5) вмес-

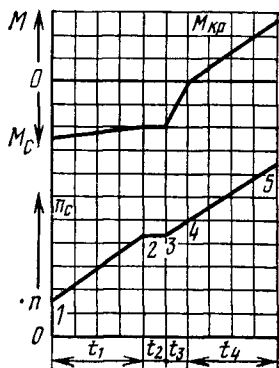


Рис. 9.9. График обкатки дизельных двигателей на электростендах при плавном изменении параметров обкатки.

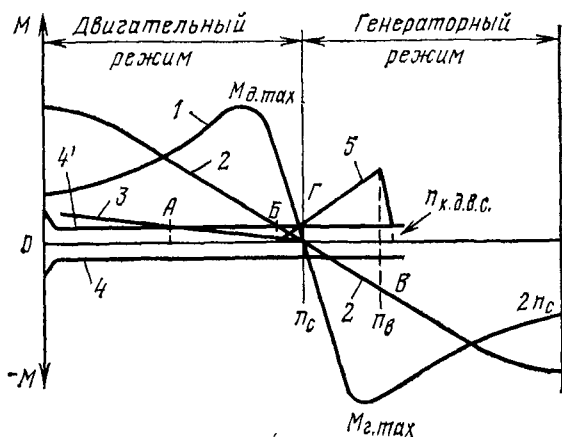


Рис. 9.10. Механические характеристики электропривода станда для обкатки ДВС.

те с частотой вращения ДВС становятся больше и, начиная с синхронной частоты вращения, ДВС принимает возрастающую нагрузку в соответствии с характеристикой 2 в генераторном режиме. Процесс в течение заданного времени подходит к точке *В*, в которой угловая скорость вращения равна номинальной скорости вращения ДВС, а нагрузочный момент составляет 90...95% номинального ДВС. В точке *В* электростанд отключается, а ДВС продолжает работать на холостом ходу, пока не будет отключен оператором.

Точка *В* определяется паспортными данными ДВС:  $n_B = n_{н. \text{двс}}$ ,  $M_B = (0,9...0,95) M_{н. \text{двс}}$ ; точка *В* — графическим построением. На графике проводят прямую линию через точки *В* и  $n_c$  до пересечения с характеристикой 4 в точке *Б*. Отрезок  $n_c - n_B$  пропорционален сопротивлению  $R_B$ , которое должно оставаться постоянным в течение всего времени горячей обкатки.

Если обкатывается серия одинаковых двигателей, то положение электродов реостата, соответствующее точке *В*, легко установить практически по первому обкатанному двигателю. Для этого ДВС загружают до  $(0,9...0,95) M_{н. \text{двс}}$  при  $n_{н. \text{двс}}$  и замечают положение электродов, которое и будет искомым. При обкатке последующих двигателей это положение электродов несколько корректируют.

**Управление электроприводом.** Автоматизированный станд оборудован электроприводом реостата, электроприво-

дом тяги регулятора топливного насоса, шкафом с электроаппаратурой, электронасосом, который перемешивает электролит. Автоматизация обкатки двигателей выполнена по принципу программной разомкнутой системы управления.

Электропривод реостата служит для плавного введения электродов в электролит. При этом частота вращения двигателя при холодной обкатке плавно увеличивается. В электропривод реостата входят электродвигатель, ременная передача, редуктор, кулачковая муфта с тягой включения и фиксатором, червячная пара и конечные выключатели. При помощи ступенчатых шкивов на электродвигателе и редукторе изменяют передаточное число, определяющее ускорение вращения коленчатого вала и длительность холодной обкатки ДВС.

Электропривод тяги регулятора топливного насоса плавно увеличивает подачу топлива по заданной программе. Электродвигатель через шестеренчатую передачу и редуктор приводит в движение профильный кулачок. К кулачку пружиной прижимается ролик коромысла, которое присоединено тягой к регулятору топливного насоса или к дроссельной заслонке. Вал электродвигателя вращается с постоянной частотой, поэтому время обкатки ДВС с нагрузкой, увеличивающейся до максимальной, зависит от передаточного числа пары шестерен, профиля кулачка и регулируемого соотношения плеч коромысла.

Кулачок посажен свободно на выходной вал редуктора и вращается силой трения, возникающей между торцом фланца диска и кулачка через элемент трения. Поэтому его можно поставить в любое начальное положение, а следовательно, и установить любую начальную подачу топлива. К кулачку прикреплена стойка, на которой можно установить в заданном положении упор. При повороте кулачка упор своим концом нажимает на шток конечного выключателя, отключается электротормоз и двигатель начинает работать с максимальной частотой вращения холостого хода. Минимальную частоту вращения холостого хода можно установить, повернув кулачок в обратную сторону.

Для ограничения нагрузочного момента на шестерне весового механизма устанавливают упоры, а на стойке — конечные выключатели, которые срабатывают при перегрузках в холодном и горячем режимах.

Электрическая схема управления обкаточно-тормозным стендом (рис. 9.11) рассчитана на ручное и автоматическое

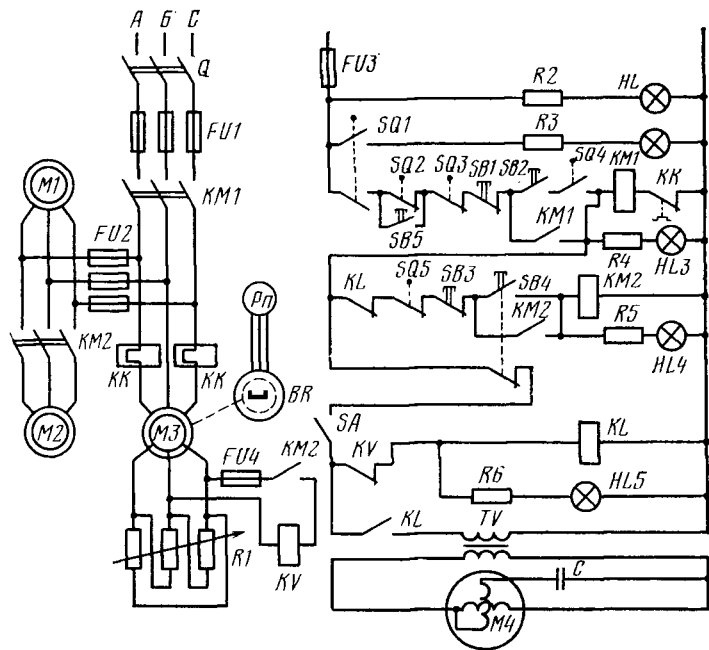
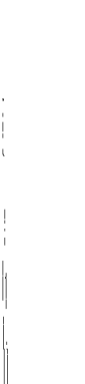


Рис. 9.11. Принципиальная электрическая схема автоматического управления обкаточно-тормозным стендом при плавном изменении параметров обкатки.

управление. Выключателем  $Q$  подают напряжение на схему, загорается лампа  $HL1$ . Кнопкой  $SB2$  пускают главный двигатель  $M3$  и двигатель центробежного насоса  $M1$ . Конечный выключатель  $SQ4$  замкнут при верхнем положении электродов. Загорается сигнальная лампа  $HL3$ . Вручную опускают электроды и устанавливают начальную частоту вращения коленчатого вала 500...550 об/мин при централизованной смазке или 600...700 об/мин при смазке двигателя от собственного масляного насоса. Включают муфту электропривода реостата, нажимают кнопку  $SB4$  и включают тумблер  $SA$ . Происходит пуск двигателя  $M2$ , ножи реостата по заданной программе опускаются в жидкость, сопротивление реостата  $R1$  уменьшается, частота вращения двигателя  $M3$  увеличивается, идет процесс холодной обкатки, горит лампа  $HL4$ .

Для осуществления заданной программы предварительно выбирают соответствующее передаточное число электро-





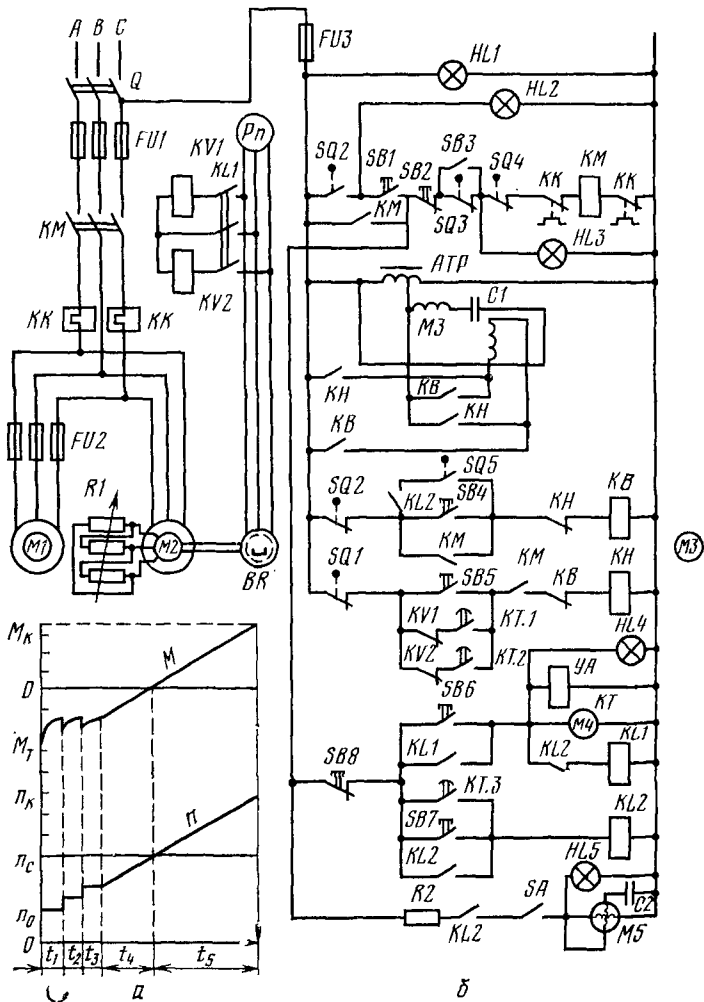


Рис. 9.12. График обкатки дизельных двигателей (а) и принципиальная электрическая схема (б) автоматического управления стендом ГОСНИТИ при ступенчатом изменении параметров холодной обкатки и плавном изменении параметров горячей обкатки.

дов контролируется выключателем  $SQ1$ . Частота вращения ДВС повышается до уровня третьей ступени. При этом в цепи катушки  $KH$  разомкнутся контакты реле  $KV2$ , отрегулированного на напряжение тахогенератора, которое соответствует третьей ступени.

По истечении времени  $t_3$ , отведенного на холодную обкатку третьей ступени, замыкаются контакты  $KT.3$  реле времени в цепи реле  $KL2$ , которое размыкает контакты в цепи реле  $KL1$  и замыкает в цепях двигателя  $M5$  и пускателя  $KB$  и блокирует контакты  $KT.3$ . Реле  $KL1$  отключает реле  $KV1$  и  $KV2$ . Двигатель  $M5$  включается и приводит в действие исполнительный механизм подачи топлива. Начинается процесс пуска ДВС и его горячая обкатка сначала без нагрузки (время  $t_4$ ), а затем с нагрузкой (время  $t_5$ ).

Выключатель  $SQ5$  ограничивает чрезмерное повышение момента нагрузки в режиме горячей обкатки. При этом его контакты включают двигатель  $M3$  на подъем электродов. Сопротивление  $R1$  увеличивается, момент нагрузки уменьшается до  $0,9 M_{н. д.в.с}$ , выключатель  $SQ5$  останавливает двигатель  $M3$ . Момент нагрузки стабилизируется на верхнем уровне.

В конце обкатки выключатель  $SQ4$  исполнительного механизма подачи топлива отключает пускатель  $KM$  и двигатели  $M1$  и  $M2$ . Размыкающие блок-контакты  $KM$  подают напряжение на пускатель  $KB$ . Исполнительный механизм выводит электроды реостата в верхнее исходное положение, в котором его останавливает выключатель  $SQ2$ . Обкатка закончена.

При разомкнутом выключателе  $SA$  обкатка в автоматическом режиме прекращается после холодной. Перевод в горячий режим осуществляет оператор. Отключают стенд кнопкой  $SB2$ . Задерживают обкатку на любом этапе кнопкой  $SB8$ . Лампы на табло сигнализируют о наличии напряжения  $HL1$ , конце горячей обкатки  $HL2$ , включении стенда в работу  $HL3$ , о процессах холодной  $HL4$  и горячей  $HL5$  обкаток.



## **Глава 10. ЭЛЕКТРОПРИВОД АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ**

### **10.1. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ**

**Поточная линия** — это система рабочих машин, механизмов и аппаратов, выполняющая один законченный технологический или производственный цикл, который характеризуется поточностью, непрерывностью и ритмичностью рабочего процесса и выдвигает определенные требования к автоматизированному электроприводу и технике безопасности.

Концентрация машин и оборудования, размещение их в разных местах по площади и уровню, тесная взаимосвязь и регламентированная последовательность их работы в поточных линиях требуют осуществления дистанционного, централизованного и автоматического управления. При этом пульт управления устанавливается в производственном цехе ближе к основным агрегатам в месте с наиболее удобным обзором рабочих машин.

Электрические связи между отдельными элементами поточных линий весьма сложны (большое число связей с контрольной и сигнальной аппаратурой, датчиками и другим электрооборудованием). Тип и мощность электродвигателей и различных токоприемников, аппаратуру управления, сигнализации и защиты выбирают индивидуально для каждого потребителя в соответствии с его работой в технологической схеме. Шкаф с магнитными пускателями, реле и другими аппаратами размещают отдельно от цеха в более сухом и чистом месте.

Схемы автоматического управления поточными линиями должны отвечать следующим основным требованиям.

1. Для безопасности обслуживающего персонала пуску автоматизированного электропривода поточной линии должен предшествовать предупредительный звуковой или (и) световой сигнал.

2. Электродвигатели всех машин и механизмов поточной линии пускают в последовательности, направленной против движения продукта (зерна, дерти, сена, корнеклубнеплодов), а останавливают в последовательности, совпадающей с направлением движения продукта.

3. Для остановки всей поточной линии необходимо сначала остановить головной механизм, обеспечивающий прекращение подачи продукта на поточную линию (закрывать заслонку, шибер, затвор), затем с выдержкой времени — все машины, полностью освободившиеся от продукта.

4. При аварийном отключении одной из машин должны остановиться без выдержки времени все машины, работающие на ее загрузку, а с выдержкой времени, необходимой для полного освобождения от продукта, — все машины, действующие на отгрузку.

5. Схемы должны обеспечивать невозможность неправильного включения и отключения электрических цепей.

6. 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 электродвигателей.

7. С целью защиты от перегрузок в схемах необходимо предусмотреть тепловые реле, размыкающие контакты которых нужно устанавливать в цепь каждой катушки магнитного пускателя. При их последовательном включении в общую цепь питания катушек не обеспечивается должная последовательность остановки электропривода при перегрузках и требуется больше проводов.

8. Для защиты двигателя от холостого хода при обрыве передаточного ремня необходимо на приводной вал рабочей машины устанавливать реле контроля скорости, которое в случае обрыва ремня подает сигнал на остановку поточной линии.

9. Схемы управления должны быть простыми и надежными. В них рекомендуется применять однотипные средства автоматизации с наименьшим числом элементов, входящих в систему. Надежность установки повышается, если выполнены необходимые электрические и механические блокировки.

10. Схемы управления должны обеспечивать достаточную гибкость и удобство управления. Система управления считается гибкой, если допускает простые и быстрые переходы к управлению во всех предусмотренных режимах. Управление более удобно, если его можно осуществлять с нескольких мест, а также если обеспечен контроль при помощи световой и звуковой сигнализации.

11. В схемах должны предусматриваться кнопки аварийного отключения линии в разных местах протяженного

помещения, позволяющие при необходимости быстро отключить линию.

12. Электрические схемы управления и блокировок должны быть составлены таким образом, чтобы обеспечивался контроль исправности системы и максимально упрощался процесс нахождения повреждений. Для этого сложные электрические схемы разбивают на отдельные секции и питают через свои предохранители и выключатели. В схемах используют световую сигнализацию состояния (в работе, вне работы) машин и аппаратов, появления или исчезновения напряжения на отдельных участках схемы.

13. Для наладочных и ремонтных работ в схемах необходимо предусмотреть деблокировочные режимы, обеспечивающие возможность включения отдельных двигателей, обычно работающих в потоке. Это требование относится в большей степени к схемам автоматического и дистанционного управления технологическими процессами, которые при опробовании не позволяют включать всю поточную линию.

В практике сельскохозяйственного производства поточные линии, как правило, имеют относительно малое число электроприводов. Поэтому в процессе наладки разрешается включать всю цепочку электроприводов. Это позволяет проектировать схемы с меньшим числом аппаратуры, контактов и т. п.

14. При размещении оборудования следует учитывать возможность защиты его от влияния вредных воздействий. Как правило, магнитные станции располагают в отдельном помещении. Пульт управления устанавливают непосредственно в производственном цехе, а иногда помещают в изолированную кабину, которая хорошо защищает его и позволяет наблюдать за производственным оборудованием.

15. Монтаж электрических схем управления необходимо разделять на ряд промежуточных операций. Собирать панели магнитных станций, пульта управления, мнемонические щиты и другие блоки со средствами автоматизации нужно в специализированных цехах электромеханических заводов. На месте монтажа объекта (кормоцеха, фермы, зернотока, зернохранилища) устанавливают электрические машины, готовые панели и делают внешние соединения. В этом случае значительно улучшается надежность, удешевляется стоимость и сокращаются сроки монтажа.

16. Элементы системы управления должны иметь по

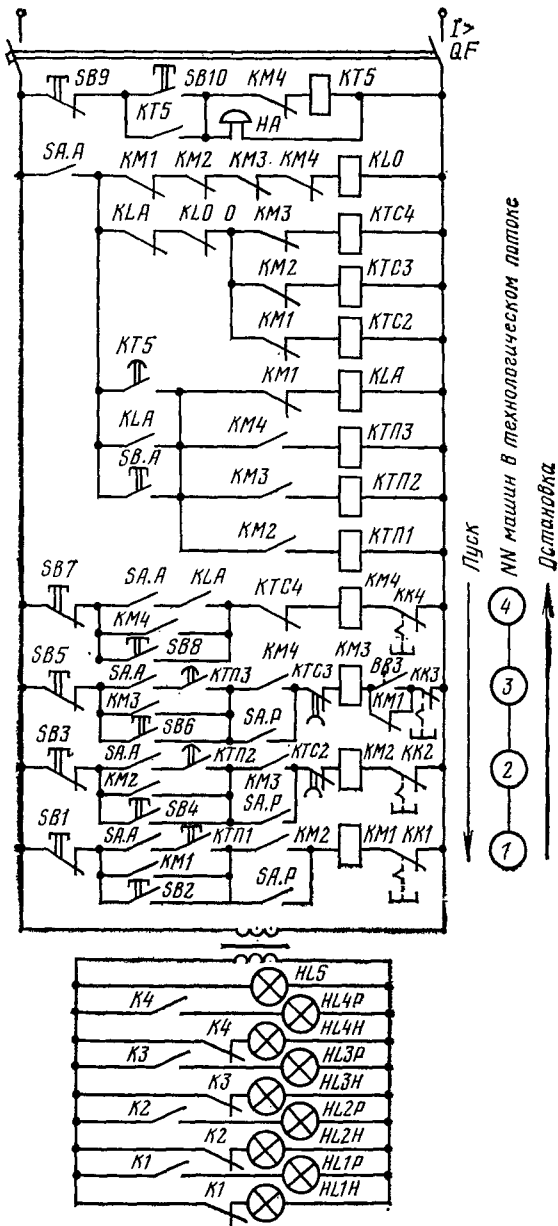


Рис. 10.1. Обобщенная принципиальная электрическая схема управления электроприводом поточной линии с четырьмя электродвигателями.

возможности однотипную аппаратуру минимальных габаритов.

17. Монтаж на панелях следует выполнять жестким проводом типа ПР-500 или монтажным проводом с площадью поперечного сечения 1,5; 2,5 мм<sup>2</sup>. Слаботочные устройства допускают применение проводов с меньшей площадью сечения.

**Обобщенная принципиальная электрическая схема управления электроприводом поточной линии с четырьмя электродвигателями** показана на рисунке 10.1. Напряжение на схему поступает через автоматический выключатель *QF*, снабженный максимальной токовой защитой. Для подачи предварительного сигнала перед пуском поточной линии предусмотрена отдельная цепь, которая состоит из станции с кнопками «Пуск» *SB10* и «Стоп» *SB9*, реле времени *KT5*, задающего длительность сигнала перед пуском и сигнального устройства *HA*.

Для управления поточной линией служат магнитные пускатели *KM1*, *KM2*, *KM3*, *KM4*, кнопочные станции *SB1*, *SB2*, *SB3*, *SB4*, *SB5*, *SB6*, *SB7*, *SB8*, кнопка автоматического пуска *SBA*, реле автоматического пуска *KLA*, реле времени пуска *KTP1*, *KTP2*, *KTP3*, реле остановки *KLO*, реле времени остановки *KTC2*, *KTC3*, *KTC4*, тепловые реле защиты двигателей от перегрузок *KK1*, *KK2*, *KK3*, *KK4*, сигнальные лампы «Машина работает» *HL1P*, *HL2P*, *HL3P*, *HL4P*, сигнальные лампы «Машина не работает» *HL1H*, *HL2H*, *HL3H*, *HL4H*, сигнальная лампа «Напряжение есть» *HL5*.

После подачи выключателем *QF* напряжения на схему загорается сигнальная лампа *HL5*. Ключ управления устанавливается в положение «Автоматический пуск», и контакты *SA.A* закрываются. Нажав пусковую кнопку *SB10*, вводят в цепь тока реле времени *KT5*, которое без выдержки времени контактами *KT5* блокирует кнопку *SB10*. Включается сигнал *HA*, предупреждающий о пуске поточной линии. В цепи автоматического пуска *KLA* с выдержкой времени закрываются контакты реле времени *KT5*. Реле *KLA* блокирует контакты *KT5* и подает напряжение на катушку магнитного пускателя *KM4*, блок-контакты которого шунтируют контакты *KLA*, замыкают цепь тока реле времени пуска *KTP3* и подготавливают пускатель *KM3* к работе. Происходит пуск двигателя последней в технологическом потоке машины 4.

По окончании пуска и выдержки времени закрываются

контакты *КТПЗ* и срабатывает магнитный пускатель *КМЗ*, блок-контакты которого шунтируют контакты *КТПЗ*, подают напряжение на реле *КТП2* и подготавливают к работе цепь пускателя *КМ2*. Контакты датчика скорости *ВРЗ* шунтируют размыкающие блок-контакты *КМ1* в цепи катушки *КМЗ*, подготовив цепь для дальнейшей работы. Осуществляется пуск двигателя третьей в технологическом потоке машины. После пуска и выдержки времени закрываются контакты *КТП2*, срабатывает магнитный пускатель *КМ2*, его блок-контакты шунтируют контакты *КТП2*, подают напряжение на реле *КТП1* и подготавливают к действию пускатель *КМ1*. Происходит пуск второй в технологическом потоке машины.

По истечении заданного времени контакты *КТП1* подают напряжение на первый магнитный пускатель *КМ1*, а его блок-контакты *КМ1* блокируют контакты *КТП1*. Начинает работать первая в технологическом потоке машина. Таким образом, машины всей линии оказываются пущенными последовательно одна за другой с выдержкой времени, необходимой для пуска каждой из них, навстречу технологическому потоку.

При срабатывании магнитных пускателей открываются их блок-контакты в цепях реле *КТ5*, останова *КЛО*, времени *КТС2*, *КТС3*, *КТС4*, автоматического пуска *КЛА*, подготавливая эти цепи к дальнейшему действию. Работу машин контролируют по сигнальным лампам *НЛ1Р*, *НЛ2Р*, *НЛ3Р*, *НЛ4Р*.

Останавливают линию по ходу потока, начиная с первой машины (вариант 1). Для этого нажимают кнопку *SB1*. Теряет питание магнитный пускатель *КМ1*, останавливается первая машина. Поток продукта на технологическую линию прекращается. Чтобы машины освободились от продукта, нужна выдержка времени, которую создают реле времени останова *КТС2*, *КТС3*, *КТС4*. Реле *КТС2* вводится в цепь тока блок-контактами пускателя *КМ1* и через выдержку времени, необходимую для освобождения второй машины, отключает пускатель *КМ2*. Вторая машина останавливается. Блок-контакты *КМ2* подают напряжение на реле *КТС3*, которое обеспечивает выдержку перед отключением третьей машины. После разгрузки третьей машины контакты *КТС3*, отключая *КМЗ*, останавливают ее. Блок-контакты *КМЗ* подают сигнал на реле *КТС4*, которое с выдержкой времени прекращает работу последней в технологическом потоке машины.

Таким образом, все машины остановлены в режиме холостого хода. Об остановке машин сигнализируют лампы *HL1H, HL2H, HL3H, HL4H*.

Быструю (аварийную) остановку предусматривает вариант 2. Нажав кнопку *SB7*, лишают питания пускатель *KM4*, а его блок-контакты размыкают цепь пускателя *KM3*. Аналогично теряют питание пускатели *KM2* и *KM1*. Все машины останавливаются без выдержки времени. Перед последующим пуском их необходимо разгрузить.

При срабатывании одного из тепловых реле *KK1, KK2, KK3, KK4* от перегрузки возможны следующие варианты остановки поточной линии. Если был перегружен первый или четвертый двигатель и сработали реле *KK1* и *KK4*, то процессы остановки будут происходить, как в вариантах 1 и 2. Если сработает реле *KK2*, то машины 2 и 1 остановятся мгновенно, а остальные — с выдержкой времени. Если же сработает реле *KK3*, то машины 3, 2, 1 остановятся мгновенно, а машина 4 — с выдержкой времени.

Если оборвется ремень третьей передачи, сработает датчик скорости третьей машины *BR3*, мгновенно остановятся двигатели 3, 2, 1 и с выдержкой времени двигатель 4.

Таким образом, последовательная остановка машин против потока идет без выдержки времени, а по потоку — с выдержкой времени.

Пусковые опробования электропривода выполняют в деблокированном режиме, для осуществления которого ключ управления ставят в положение ручного управления. При этом закрываются контакты *SA.P* и несблокированным каждым в отдельности приводом управляют вручную своей кнопочной станцией.

## **10.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

Автоматизированный электропривод кормоцеха *КОРК-15-2* для приготовления полнорационных кормосмесей с линией термохимической обработки соломы в непрерывном режиме. Кормоцех *КОРК-15-2* (рис. 10.2) действует в колхозе имени Гастелло Минской области. Он предназначен для приготовления полнорационных кормовых смесей с термохимической обработкой соломы в непрерывном режиме. Комплект машин и оборудования его поточных линий обеспечивает комплексную механизацию всех технологических линий приготовления кормосмесей.

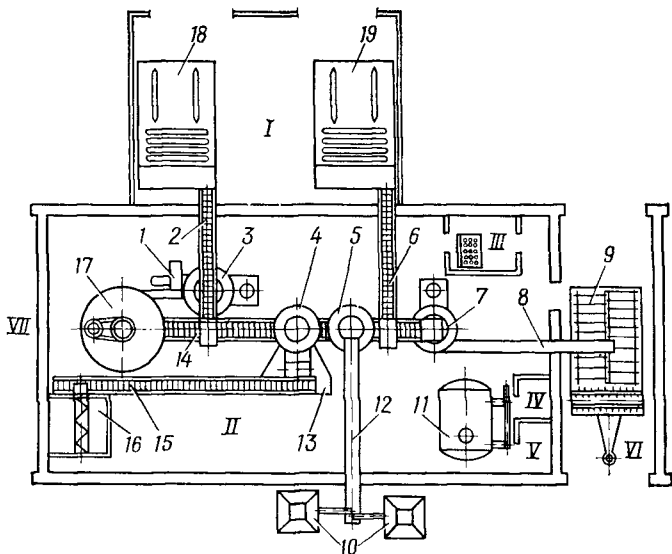


Рис. 10.2. План размещения оборудования кормоцеха КОРК-15-2: 1 — приемное отделение соломы и силоса; 11 — отделение корнеклубнеплодов; III — пульт управления; IV, V — бытовые комнаты; VI — отделение выгрузки; VII — склад компонентов корма; 1 — швырялка соломы; 2 — транспортер соломы; 3 — измельчитель-смеситель ИСК-3 для соломы; 4 — бункер-дозатор корнеклубнеплодов; 5 — бункер-дозатор концкормов; 6 — транспортер силоса и сенажа; 7 — измельчитель-смеситель ИСК-3 для смешивания кормосмеси; 8 — выгрузной транспортер; 9 — кормораздатчик для готовой кормосмеси; 10 — бункер БСК-10 для концкормов; 11 — смеситель мелассы СМ-1,7; 12 — транспортер концкормов; 13 — мойка-измельчитель корнеклубнеплодов ИКМ-5; 14 — сборный транспортер; 15 — транспортер корнеклубнеплодов ТК-5Б; 16 — бункер корнеклубнеплодов; 17 — камера для термохимической обработки соломы; 18 — питатель соломы ПЗМ-1,5М; 19 — питатель силоса и сенажа ПЗМ-1,5М.

Подача исходных компонентов изменяется в широком диапазоне. В кормоцехе имеются следующие технологические линии: термохимической обработки соломы, силоса и сенажа, корнеклубнеплодов, концкормов, химических добавок, смешивания и выдачи готовой кормосмеси.

Линия термохимической обработки соломы (рис. 10.3) состоит из питателя 1, скребкового транспортера 6, измельчителя 14, швырялки 13, камеры 8 для термохимической обработки соломы с дозатором 11 выдачи обработанной соломы. Линия перерабатывает солому, предварительно измельченную, рассыпную и в тюках, для чего питатель ПЗМ-1,5М снабжен измельчающими барабанами 4. Солома поступает в питатель ПЗМ-1,5М из самосвального транспорта. Транспортер 6 подает ее в измельчитель-смеситель



ИСК-3, в который одновременно подается рабочий раствор щелочи 16 из смесителя СМ-1,7. Обработанная щелочью солома подается швырялкой 13 в камеру 8 для тепловой обработки паром.

Силос и сенаж из самосвалных тележек поступает во второй питатель 19 (рис. 10.2). Изменением высоты установки битера питателя регулируют долю силоса (сенажа) в кормосмеси.

Корнеклубнеплоды из приемного бункера 16 транспортируются (15) через мойку-измельчитель 13 в бункер-дозатор корнеклубнеплодов 4.

Концентрированные корма из автозагрузчика сухих кормов ЗСК-10 поступают в бункер БСК-10 (10) и по скребковому транспортеру в бункер-дозатор 5 концкормов.

Сдозированные компоненты кормов из камеры 17 для термохимической обработки, из бункеров-дозаторов корнеклубнеплодов 4 и концкормов 5 и с транспортера-питателя силоса (сенажа) 6 сборным транспортером ТС-40 (14) доставляются во второй измельчитель-смеситель ИСК-3 (7). Компоненты перемешиваются, доизмельчаются и выгружаются (8) в кормораздатчик 9.

Общая производительность цеха 25 т/ч, линии силоса

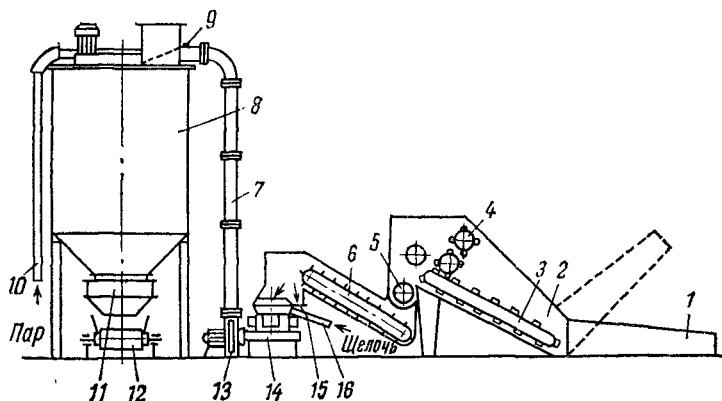


Рис. 10.3. Линия термохимической обработки соломы цеха КОРК-15-2: 1 — приемная часть питателя соломы ПЗМ-1,5М; 2 — бункер питателя ПЗМ-1,5М; 3 — транспортер-дозатор питателя ПЗМ-1,5М; 4 — измельчающий барабан; 5 — подающий шнек; 6 — скребковый транспортер; 7 — пневмопровод подачи соломы швырялки; 8 — камера для термохимической обработки соломы; 9 — затвор подачи соломы; 10 — паропровод; 11 — дозирующее выгрузное устройство камеры; 12 — сборный транспортер ТС-40; 13 — швырялка соломы; 14 — измельчитель-смеситель ИСК-3 для соломы; 15 — ловушка посторонних примесей; 16 — трубопровод подачи раствора щелочи.

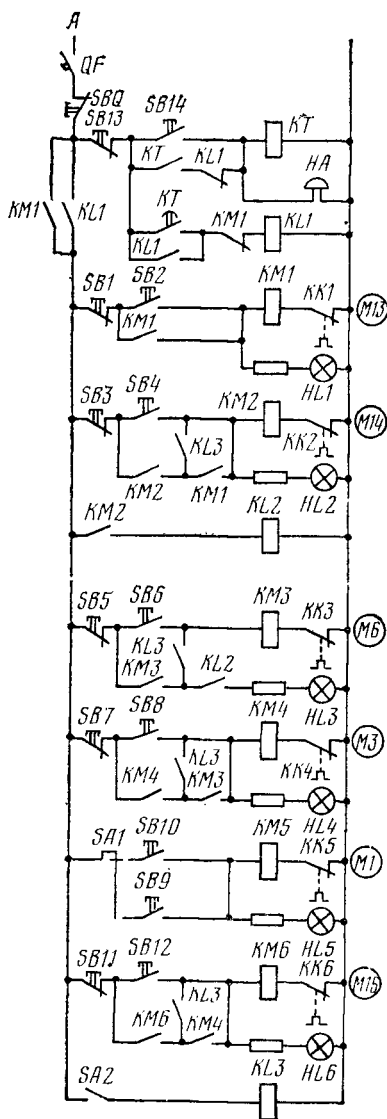


Рис. 10.4. Принципиальная электрическая схема управления приводами линии термохимической обработки соломы.

(сенажа) — 12, термохимической обработки соломы — 1 (только при измельчении соломы — 3), корнеклубнеплодов — 5, концентрированных кормов — 5 т/ч. Обслуживают кормоцех 2 человека: оператор и слесарь. Для нормальной работы кормоцеха необходимо также общехозяйственное оборудование, не входящее в состав кормоцеха: грейферный погрузчик ПЭ-0,8 (для погрузки соломы, силоса или сенажа, корнеклубнеплодов в транспортные средства, подвозящие эти компоненты к кормоцеху), тракторный прицеп 2ПТС-4, два трактора типа МТЗ и автомобильный загрузчик сухих кормов ЗСК-10.

С помощью оборудования, которым оснащен кормоцех КОРК-15, можно готовить влажные кормосмеси (влажность готового продукта до 75%), в состав которых входят солома (россыпью, в рулонах, в тюках), сенаж или силос, корнеклубнеплоды, концентраты, меласса и раствор карбамида.

Комплект оборудования можно использовать во всех сельскохозяйственных зонах СССР на молочнотоварных фермах на 800 ...2000 голов и откормочных фермах до 5000 голов крупного рогатого скота.

Общая установленная

мощность силового электропривода 131,3 кВт. Комплект оборудования для кормоцеха КОРК-15 разработан ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР и ГЭКИ.

Управление всем оборудованием кормоцеха осуществляется дистанционно с пульта управления III (рис. 10.2). Для примера рассмотрим управление линией термохимической обработки соломы (рис. 10.4). Напряжение на схему управления подается автоматическим выключателем *QF*. Перед пуском, нажимая кнопку *SB14*, подают предупредительный звуковой сигнал. С выдержкой времени реле *KT* включает в цепь тока промежуточное реле *KL1*, которое блокирует контакты *KT*, подает напряжение на вторую часть схемы управления и отключает сигнал. Теперь оператор может кнопкой *SB2* пустить привод *M13* швырялки *I3* (рис. 10.3).

Пуск каждого привода контролируется по сигнальным лампам *HL1...HL6* (рис. 10.4). Блок-контакты *KM1* подготавливают цепь тока пускателя *KM2*. Кнопкой *SB4* пускают привод *M14* измельчителя-смесителя *I4* (рис. 10.3). Замыкающие блок-контакты *KM2* (рис. 10.4) через реле *KL2* подготавливают блокировочную цепь пускателя *KM3*. Кнопкой *SB6* пускается привод *M6* скребкового транспортера *6* (рис. 10.3). Замыкающие блок-контакты *KM3* (рис. 10.4) подготавливают блокировочную цепь для пускателя *KM4*. Кнопкой *SB8* пускают привод *M3* питателя ПЗМ-1,5М. Кнопкой *SB12* пускают привод *M16* насоса подачи раствора щелочи. Пуск линии осуществлен навстречу потоку соломы в технологической линии. Приводом *M1* приемной части *I* (рис. 10.2) управляют по толчковой схеме кнопками *SB9* или *SB8* (рис. 10.4) с пульта управления или на месте установки приемной части. Наладку ведут переключателем *SA1*.

Для осуществления наладочного режима включают выключатель *SA2* и реле деблокировки *KL3*. И тогда любой привод можно включить отдельно.

Электропривод поточной линии раздачи гранулированных кормов свиньям с применением автоматического раздатчика кормов РКА-2000 (рис. 10.5). Корм автозагрузчиком *I* ЗСК-10 подается в бункер-хранилище *2*. Шнек *7* и скребковый транспортер *4* загружают кормоприемные бункера *8*. Штанговый с шайбами кормораздатчик РКА-2000 (*6*) через объемные дозаторы раздает гранулы в кормушки *6*. Для управления поточной линией служит автоматическая станция управления ЭСУ-2000М ВИЭСХ, которая

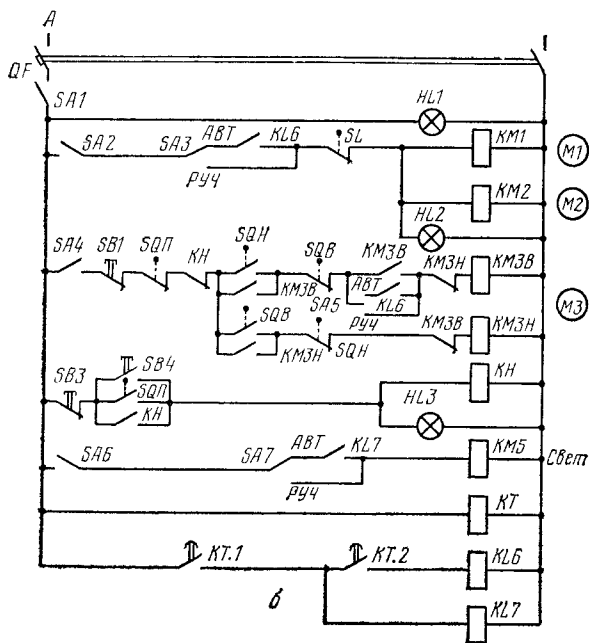
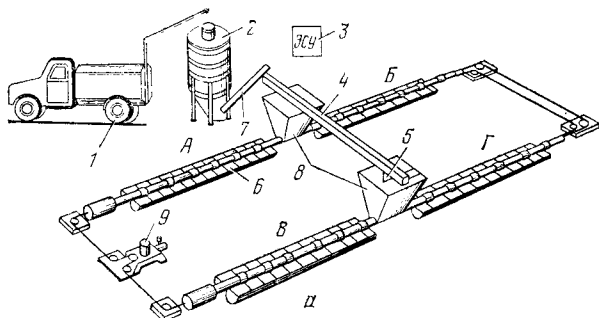


Рис. 10.5. Линия раздачи комбикормов в свинарнике-автомате:

*a* — технологическая схема; *б* — принципиальная электрическая схема управления электроприводами; 1 — автозагрузчик комбикормов ЗСК-10; 2 — бункер-хранилище комбикормов Б-6; 3 — электрическая станция управления ЭСУ-200М; 4 — горизонтальный скребковый транспортер БЦМ-45-03; 5 — датчик ДУК-2 уровня комбикормов; 6 — автоматический кормораздатчик РКА-2000; 7 — шнек; 8 — приемный бункер; 9 — приводная станция.

находится в изолированной от свинарника операторской и позволяет осуществлять автоматическое от программного реле времени  $KT$  или ручное кнопками  $SB$  дистанционное управление электроприводами, контроль за их работой ( $HL1, HL2, HL3$ ), защиту от перегрузок и отключение при коротких замыканиях.

Напряжение на двигатели шнека (0,6 кВт), скребкового транспортера (1,1 кВт) и кормораздатчика (3 кВт) подается индивидуальными автоматическими выключателями АП50-3МТ с электромагнитными и тепловыми расцепителями. Напряжение на схему управления подается автоматическим выключателем  $QF$ , при этом включается сигнальная лампа  $HL1$  и программное реле времени  $KT$  на две программы  $KT.1$  и  $KT.2$ . Первая программа через реле  $KL7$  включает освещение, вторая программа через реле  $KL6$  и пускатели  $KM1, KM2$  и  $KM3B$  включает кормораздаточную линию.

Приводы шнека  $M1$  и скребкового транспортера  $M2$  работают до полного наполнения бункеров 8, когда их отключает датчик уровня  $SL$ . Пускатель  $KM3B$  включает привод  $M3$  штангового транспортера на ход «Вперед». Замыкающие блок-контакты  $KM3B$  шунтируют замыкающие контакты конечного выключателя  $SQH$ . Штанги перемещаются из одного крайнего положения в другое на 44 мм. Корм из бункеров 8 доставляется в объемные дозаторы секций  $A$  и  $Г$  кормушек 6. В конце хода «Вперед» срабатывает конечный выключатель  $SQB$ , двигатель  $M3$  реверсируется пускателями  $KM3B, KM3H$ . Штанги возвращаются в исходное положение.

Из дозаторов корм поступает в секции  $A$  и  $Г$  кормушек. Идет заполнение дозаторов секций  $Б$  и  $В$ . В конце хода «Назад» срабатывает конечный выключатель  $SQH$ , двигатель  $M3$  реверсируется пускателями  $KM3H, KM3B$  на прямой ход, если контакты  $KT.2$  (и  $KL6$  в цепи  $KM3B$ ) закрыты. Время замкнутого состояния  $KT.2$  заранее рассчитывается на заданное число (1, 2, 3) полных циклов раздачи, чтобы выдать определенную норму корма. При перегрузке цепи штанги, например при заклинивании, срабатывает конечный выключатель перегрузки  $SQP$ , отключается привод  $M3$  и включаются аварийное реле  $KH$  и сигнальная лампа  $HL3$ .

Поросята получают гранулированный корм по заданной программе в 4, 8, 12, 16, 20 ч малыми дозами в 2...3 приема

в лотковые двухсторонние кормушки. Их среднесуточные привесы достигают 500 г при затратах 5 кормовых единиц на 1 кг привеса. Поголовье из 2000 поросят обслуживает один оператор.

### 10.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ НА ПТИЦЕФЕРМАХ

Электродвигатели используются для привода кормоприготовительных и кормораздаточных машин, транспортных устройств уборки помета и сбора яиц, насосов и вентиляторов, а также для автоматического управления отдельными узлами и целыми установками.

В современном птицеводстве применяется напольное и клеточное содержание птицы с тенденцией к полному переходу на клеточное содержание.

В многоярусных клеточных батареях типа КБН сухие, мучные, гранулированные, влажные корма раздают птице при помощи бункерного навесного кормораздатчика двухстороннего действия (рис. 10.6). Тележка с двумя секциями по четыре бункера, пометными скребками и яйцесборником для каждого из четырех ярусов перемещается на роликах по верхним уголкам каркаса вдоль каждой батареи. Клеточных батарей может быть 4 (*А, Б, В, Г*) и 6 (*А...Е*). Тележка кормораздатчика приводится в движение электродвигателем *М1* мощностью 0,6 кВт через редуктор и тросо-блочную систему передач. В исходном положении кормораздатчиков *А...Г* закрыты контакты конечных включателей *SQ2, SQ4, SQ6, SQ8*. И если нет корма в последнем бункере *Г*, то закрыты контакты фотореле *ВL*, получает питание пускатель *КМЗ* и пускается привод *МЗ* и следом привод *М2*. Идет поочередная загрузка бункеров кормораздатчика, начиная с первой секции первого бункера *А*. При заполнении последней секции последнего бункера *Г* фотореле *ВL* останавливает приводы *МЗ* и *М2* загрузочной линии.

При автоматическом управлении в соответствии с графиком раздачи корма кратковременно закрываются контакты программного реле времени *КТ* в цепи промежуточного реле *KL*. Реле *KL* замыкает свои контакты в цепях катушек магнитных пускателей *КМ1В (КМ2В, КМ3В, КМ4В)*, которые включают приводы *М1А (М1Б, М1В, М1Г)* раздатчиков кормов, и все раздатчики одновременно начинают раздавать корм в четыре клеточные батареи. На рисунке 10.6 показана схема включения одного привода

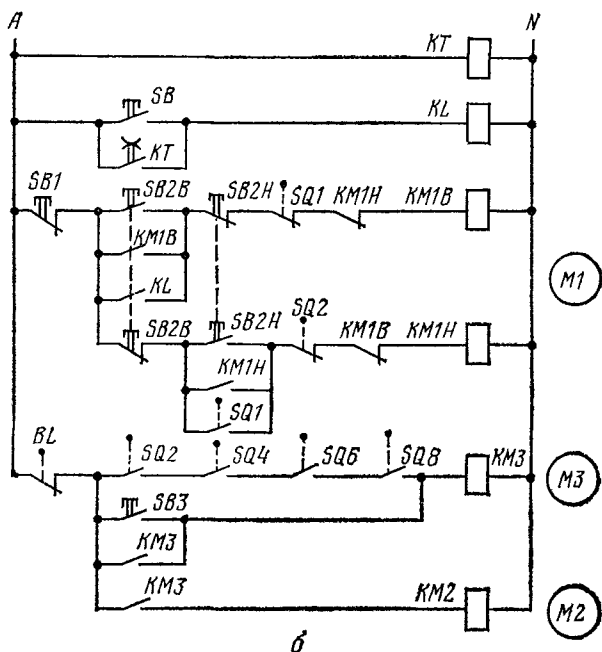
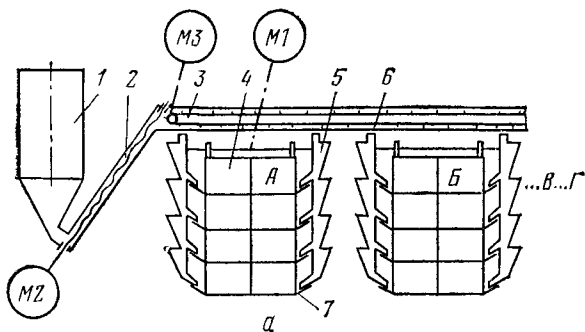


Рис. 10.6. Линия раздачи кормов в многоярусных клеточных батареях типа КБН:

*a* — технологическая схема; *б* — принципиальная электрическая схема управления приводами; 1 — бункер концентрированных кормов; 2 — шнек; 3 — скребковый транспортер; 4 — четырехъярусная клеточная батарея; 5 — секция четырехбункерного кормораздатчика; 6 — выгрузное окно; 7 — кормушка.

*М1А* батареи *А*. Для управления приводами кормораздатчиков клеточных батарей *Б, В, Г* схемы управления аналогичны.

При движении кормораздатчиков от исходного положения к конечному идет одновременно сбор яиц и очистка батарей от помета. Дойдя до конца, упоры скребков четвертых ярусов нажимают на конечные выключатели *SQ1 (SQ3, SQ5, SQ7)*, которые реверсируют приводы кормораздатчиков. Продолжается раздача корма при движении в обратном направлении. При достижении исходного положения упоры скребков третьего яруса нажимают на конечные выключатели *SQ2, SQ4, SQ6, SQ8*. Кормораздатчики останавливаются в исходном положении для загрузки.

Управление приводами *М1, М2, М3* вручную осуществляется кнопками *SB*. Аппаратура управления приводами кормораздатчиков и освещением размещается в специальных шкафах БЦН.

Раздача кормов в одноярусных клеточных батареях ОБН осуществляется цепочно-ленточными транспортерами, огибающими батареи ОБН (рис. 10.7), привод которых осуществляется от электродвигателя *1* мощностью 0,6 кВт через редуктор *2*. Всего двигателей *4 (М1, М2, М3, М4)* по одному на линию раздачи. Четыре привода *М5, М6, М7, М8* работают в линии загрузки бункеров *3*. При работе приводов *М5, М6, М7* бункера *3* последовательно загружаются сухим кормом. При работе приводов *М5, М6, М8* бункера *3* последовательно загружаются влажными кормами.

Автоматическое управление (все *SA* в положении *А*) осуществляется от программного реле времени *КТ*. По первой программе *КТ.1* включаются четыре линии кормораздачи на заданную длительность работы, по второй программе *КТ.2* включается линия загрузки сухого корма (*SA6* в положении *1*) или линия загрузки влажного корма (*SA6* в положении *2*). Отключение линии загрузки осуществляется мембранным датчиком уровней *SL* при заполнении последнего бункера доверху. Для защиты электродвигателей используются тепловые реле *КК1... КК8*.

Для линий уборки помета из каналов при напольном и клеточном содержании птицы применяется канатно-скреперная установка МПС-2М. Установка имеет двигатель *М1* (рис. 10.8) мощностью 2,2 кВт, понижающий редуктор, ведущий и ведомый ролики для троса, два скребка с



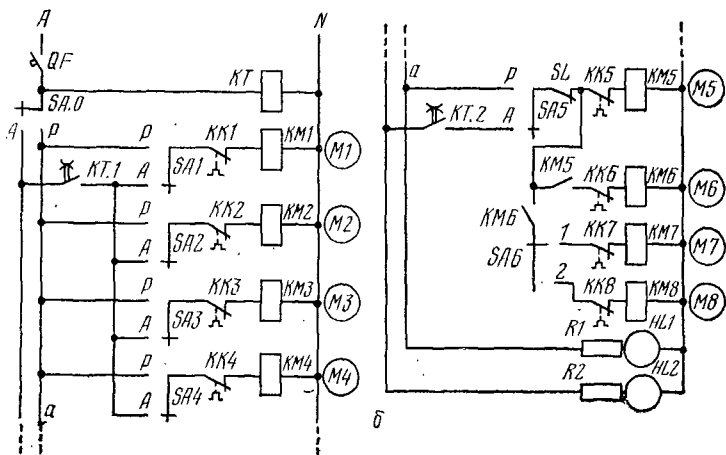
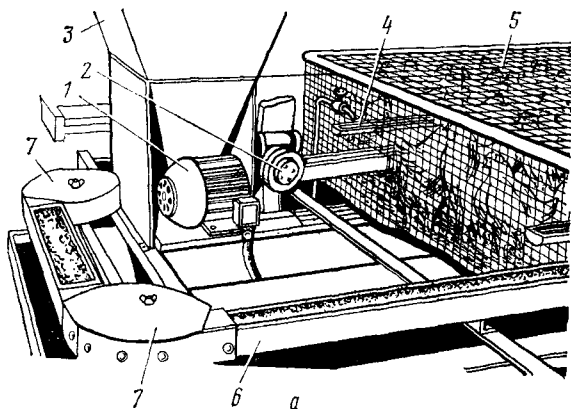


Рис. 10.7. Электропривод кормораздатчика клеточной батареи ОБН-1: а — технологическая часть; б — схема управления; 1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — бункер кормораздатчика; 4 — поилка; 5 — клетки для кур; 6 — кормушки; 7 — поворотные устройства.

шириной захвата 2270 мм, движущихся со скоростью 7,5 м/мин.

Установка МПС-2М с двигателем М1 выгружает помет из канала за пределы клеточной батареи и передает его на скребковый транспортер НКЦ-7, который погружает помет в транспортные средства. Привод НКЦ-7 от двигателя М2.

Схема управления электроприводами М1 и М2 линии

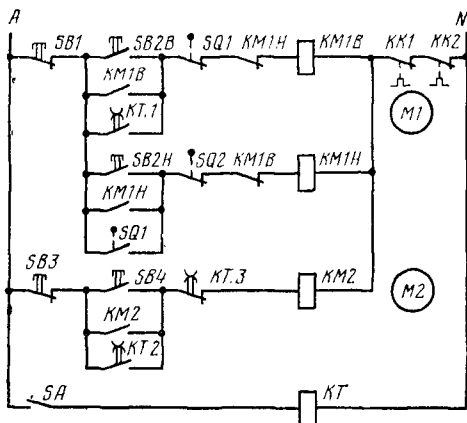


Рис. 10.8. Электропривод пометоуборочной установки.

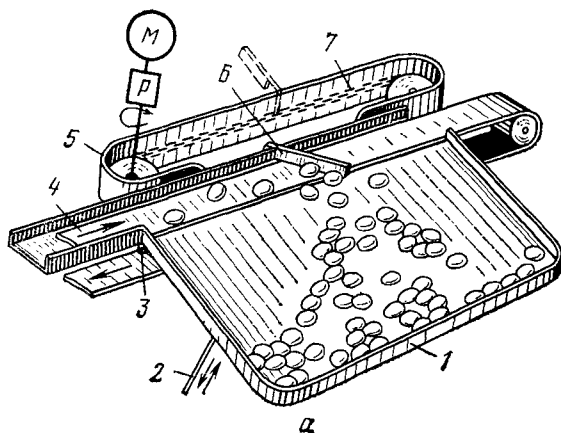
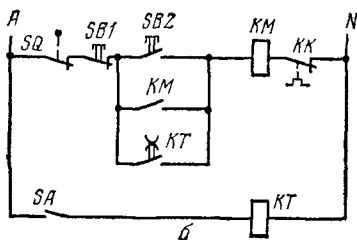


Рис. 10.9. Электропривод линии сбора яиц:

а — кинематическая схема; б — электрическая схема управления; 1 — стол, 2 — телескопический шатун; 3 — шарнир; 4 — транспортер; 5 — упор; 6 — скребок-сбрасыватель; 7 — цепь.



предусматривает автоматический и ручной режимы. В заданное время, например через каждые 4 ч, замыкаются контакты командного прибора *КТ.1* и получает питание катушка *КМ1В* магнитного пускателя хода вперед, пускается двигатель *М1* канатно-скреперной установки. В конце хода вперед конечный выключатель *SQ1* отключает *КМ1В* и включает *КМ1Н*, двигатель *М1* реверсируется. В конце хода назад конечный выключатель *SQ2* отключает двигатель *М1*. Цикл работы первого транспортера закончился. За 1 мин перед подходом скребков с пометом к транспортеру НКЦ-7 контакты *КТ.2* командного прибора через магнитный пускатель *КМ2* пускают двигатель *М2* второго транспортера, который выгружает помет в транспортную тележку. Через 3 мин после пуска контакты *КТ.3* отключают второй привод *КМ2*, *М2*.

Для сбора яиц применяют различные системы ленточных транспортеров. Управление приводом одного из них показано на рисунке 10.9. Яйца периодически подаются на стол *1* ленточным транспортером *4*, приводимым в движение электродвигателем мощностью 0,6 кВт через клиноременную передачу и редуктор. Двигатель яйцесборной линии пускается кнопкой *SB2* при ручном управлении и контактами программного реле времени *КТ* при автоматическом управлении. Остановка двигателя осуществляется кнопкой *SB1* или датчиком загрузки яйцесборного стола с конечным выключателем *SQ*, который срабатывает под действием веса полностью загруженного яйцесборного стола.

#### **10.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ НА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ПУНКТАХ**

Технологическая схема зерноочистительного пункта ЗАВ-20. Для зерноочистительно-сушильных пунктов промышленность выпускает многодвигательные электроприводы с системой автоматизированного управления. Сюда относятся зерноочистительные агрегаты очистительно-сушильных комплексов КЗС-5, КЗС-10, КЗС-20, зерносушильные агрегаты очистительно-сушильных комплексов КЗС-5 с двумя сушилками СЗПБ-2, КЗС-10 с одной сушилкой СЗСБ-8, КЗС-20 с двумя сушилками СЗСБ-8 и одной сушилкой СЗШ-16.

В таблице 10.1 приведены общие технические данные этих агрегатов.

## 10.1. Общие технические данные зерноочистительных агрегатов

| Агрегат               | Станция управления | Число электродвигателей | Установленная мощность, кВт |
|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|
| ЗАВ-10                | ШАИ-5918-13АЗ      | 5                       | 12                          |
| ЗАВ-20                | ШАИ-5919-13АЗ      | 8                       | 27                          |
| ЗАВ-40                | ШАИ-5920-23БЗ      | 13                      | 40                          |
| КЗС-5                 | ШАИ-5921-13АЗ      | 5                       | 12                          |
| КЗС-10                | ШАИ-5922-13БЗ      | 7                       | 26                          |
| КЗС-20                | ШАИ-5924-23БЗ      | 10                      | 30                          |
| КЗС-5 и 2 шт. СЗПБ-2  | ШАИ-5906-23АЗ      | 7                       | 20                          |
| КЗС-10 и СЗПБ-8       | ШАП-5909-23АЗ      | 8                       | 34                          |
| КЗС-20 и 2 шт. СЗСБ-8 | ШАП-5911-33АЗ      | 15                      | 65                          |
| КЗС-20 и СЗШ-16       | ШАП-5915-43АЗ      | 17                      | 27                          |

Зерноочистительные агрегаты типа ЗАВ предназначены для тех зон страны, где влажность зерна в период уборки не превышает 16% и нет необходимости в его искусственной сушке.

Базовая модель — зерноочистительный агрегат ЗАВ-20 (рис. 10.10) производительностью 20 т/ч продовольственного и 10 т/ч семенного зерна — состоит из строительной части, включающей завальный бункер 2, приямок норри, фундаменты под опоры металлической арматуры агрегата, площадку для установки автомобилеподъемника 1, пандус для въезда автомашин на автомобилеподъемник, и набора машин и оборудования, куда входят автомобилеподъемник 1, загрузочная норрия 3, две воздушно-решетные зерноочистительные машины 4, два триерных блока 7, централизованная воздушная система 5 с пневмотранспортером, два передаточных транспортера 6 и 8, пульт управления с системой автоматического контроля уровней фракций в секциях блока бункеров, зернопроводы, блок бункеров с опорами и арматурой перекрытия. Блок бункеров объединяет бункер очищенного зерна 9, секцию отходов 10, секцию фуража 11 и бункер резерва 12.

Все машины и оборудование увязаны между собой по производительности и смонтированы на блоке бункеров, к которому крепится перекрытие. Расстановка технологи-

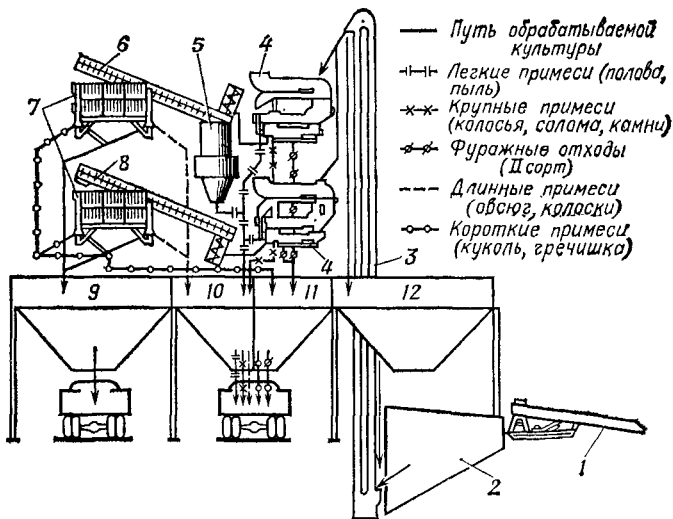


Рис. 10.10. Технологическая схема зерноочистительного агрегата ЗАВ-20:

1 — автомобилеподъемник; 2 — завальный бункер; 3 — нория; 4 — воздушные решетные машины; 5 — централизованная воздушная система агрегата; 6, 8 — транспортеры; 7 — триеры; 9 — бункер чистого зерна; 10 — секция отходов; 11 — секция фуража; 12 — бункер резерва.

ческого оборудования агрегата ЗАВ-20 и блокировка пульта управления позволяют работать по шести различным технологическим схемам. Основная схема при очистке на двух параллельных линиях: воздушно-решетная очистка — триерная очистка — блок бункеров. Из автомобиля зерно выгружается автомобилеподъемником 1 с двигателем мощностью 4,5 кВт в завальный бункер 2. Через окно бункера оно поступает в нижнюю головку загрузочной нории 3. Количество поступающего зерна регулируют заслонкой, которой управляет механик со своего рабочего места. Нория поднимает зерно вверх, где распределительный клапан разделяет его на две равные части, и по зернопроводам поступает в приемные камеры двух параллельно работающих воздушно-решетных машин 4.

Система распределительных клапанов и устройств направляет зерно на воздушно-решетные машины в бункер резерва. Из приемных камер машин зерновой материал при помощи питающих валков с пружинными клапанами подается в воздушные каналы, подключенные системой воз-

духоводов к централизованной воздушной системе 5 агрегата. Излишек зернового материала из приемных камер сбрасывается в бункер резерва 12.

В воздушных каналах выделяются легкие примеси, которые по системе воздуховодов поступают в осадочную камеру централизованной воздушной системы. Из камеры воздух, очищенный от примесей вентилятором, попадает в атмосферу, а примеси — в секцию отходов 10. Очищенный от легких примесей зерновой материал подается на решетную очистку машин и здесь делится на три фракции: очищенное, фуражное зерно и примеси. Очищенное зерно поступает в шнековые боковые питатели передаточных транспортеров 6 и 8, а из них по наклонным желобам в триерные блоки 7. Фуражное зерно и примеси через воронки и систему зернопроводов направляются в соответствующие бункера.

Очистка зернового материала триерными цилиндрами может быть настроена на отделение длинных примесей, а при необходимости еще и коротких. Очищенное зерно и длинные примеси по зернопроводам самотеком поступают соответственно в бункер чистого зерна 9 и секцию отходов 10. Фуражные отходы пневмотранспортер подает через отстойник примесей в секцию 11.

Другие схемы работы агрегата составляют часть основной схемы. Например, при малом поступлении зерна или неисправности одной из машин может действовать только первая или вторая линия. В зависимости от назначения зерна все схемы могут работать без триеров. Если наблюдаются перебои в подвозе зерна, используют зерно из резервного бункера.

Агрегаты производительностью 5 и 10 т/ч однопоточные и имеют двухсекционный блок бункеров. В агрегате производительностью 40 т/ч перед триерными блоками по технологической цепочке установлен центробежно-пневматический сепаратор, а в конце — четырехсекционный блок бункеров.

**Управление электроприводами ЗАВ-20.** Машинами и механизмами агрегата управляют дистанционно с пульта. В схеме предусмотрены цепи блокировок и сигнализации. Блокировочные электрические связи между отдельными машинами позволяют при аварийном и случайном выходе из строя одной из машин автоматически выключить все предыдущие машины и механизмы технологической линии. Сигнализация облегчает наблюдение за ходом процесса и работой оборудования.

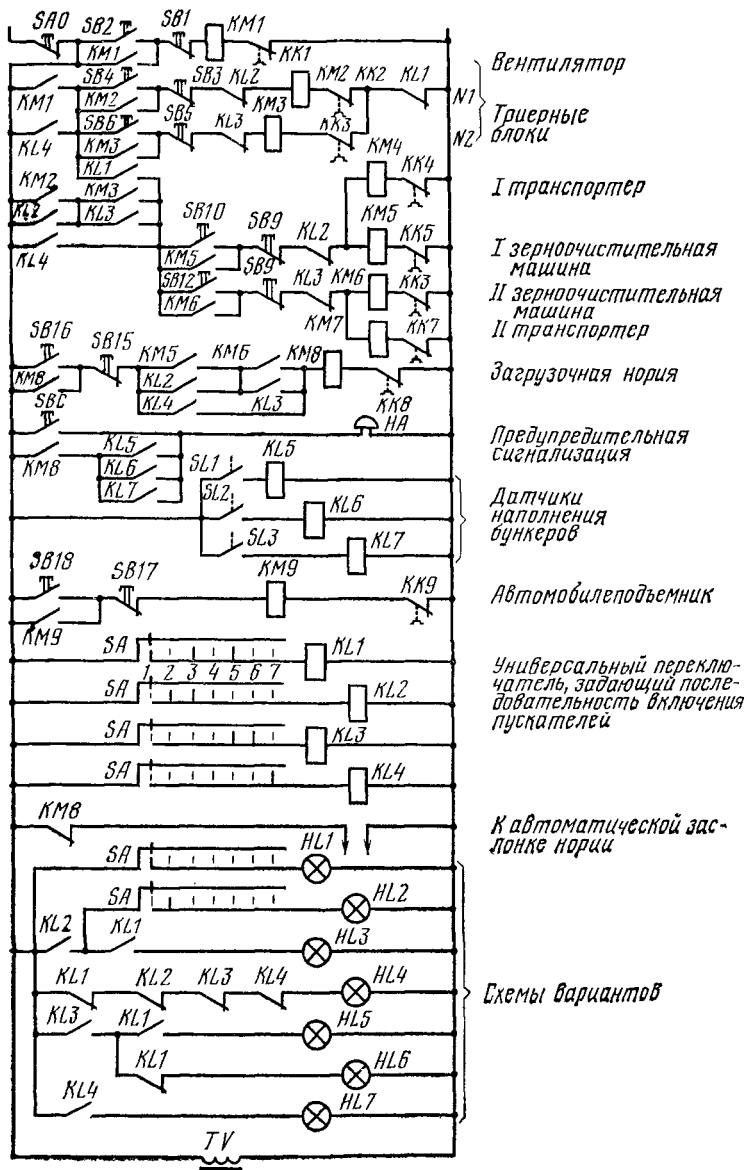
Перед пуском зернопункта выбирают в соответствии с требуемой технологией номер технологической схемы и ставят универсальный переключатель SA в определенное положение (рис. 10.11).

Кнопкой SBC подают сигнал, кнопкой SB2 пускают выбранную технологическую линию в последовательности, определяемой таблицей 10.2. Например, технологическую схему № 4 пускают следующим образом. Кнопкой SB2 включают пускатель KM1, в работу вступает двигатель вентилятора мощностью 14 кВт. Замыкающие блок-контакты KM1 закрываются и кнопками SB4 и SB6 вводят в действие блоки триеров 7 (рис. 10.10) с двигателями мощностью 3 кВт каждый. Закрываются блок-контакты KM2 и KM3 (рис. 10.11) в цепи пускателей KM4 и KM5, KM6 и KM7, начинают работать обе зерноочистительные машины № 4 с двигателями мощностью по 1,1 кВт и транспортеры, передающие зерно в блоки триеров, с двигателями по 3 кВт. После закрытия контактов KM5 и KM6 оказывается возможным пустить в ход двигатель загрузочной норрии мощностью 3 кВт. Другие технологические потоки вступают в работу аналогичным образом.

#### 10.2. Последовательность включения магнитных пускателей агрегата ЗАВ-20

| Положения рукоятки SA | Последовательность включения магнитных пускателей KM | Номер технологической схемы |
|-----------------------|--|-----------------------------|
| 1                     | 1, 4, 5, 6, 7, 8                                     | 1                           |
| 2                     | 1, 3, 6, 7, 8  | 2                           |
| 3                     | 1, 6, 7, 8   | 3                           |
| 4                     | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8                               | 4                           |
| 5                     | 1, 4, 5, 8   | 5                           |
| 6                     | 1, 2, 4, 5, 8  | 6                           |
| 7                     | Произвольная   | —                           |

После пуска нужной технологической линии открывают задвижку завального бункера, начинается обработка зерна. Привод заслонки может быть ручным и электрическим с автоматическим управлением. При остановке машин первым закрывается приемное окно загрузочной норрии. Электровинтовой затвор приемного окна приводится в действие двигателем мощностью 0,6 кВт при 1350 об/мин. Вращение



См. следующую страницу



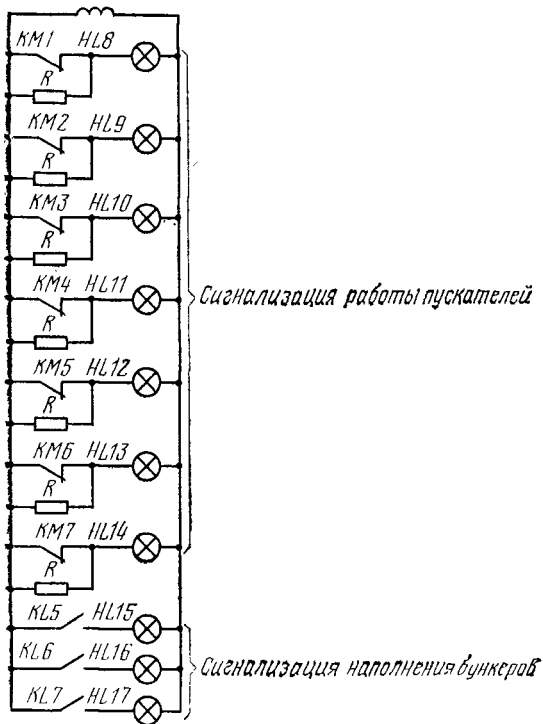


Рис. 10.11. Схема управления и сигнализации агрегата ЗАВ-20:

SAO — кнопка аварийной остановки; SB1...SB16 — кнопки управления; KL1...KL7 — промежуточные реле; SL1...SL3 — датчики наполнения бункеров; SA — универсальный переключатель; HL1...HL17 — сигнальные лампы; KM1...KM9 — магнитные пускатели.

от двигателя передается на винт, по которому перемещается гайка со штоком и тягой заслонки. В зависимости от направления вращения заслонка открывается или закрывается. Вручную затвором управляют штурвалом 12 (рис. 10.12, а), которым через шестерни 6 и 2 вращают винт 18. Этот винт перемещает шток с гайкой и заслонку загрузочного окна нории.

При эксплуатации зерноочистительных агрегатов могут возникнуть аварийные отключения напряжения. Если не предусмотреть специальных мер, двигатели и приводимые ими машины остановятся, затвор же останется открытым и зерно, поступающее самотеком, завалит норию загрузки.

Управление электроприводом затвора в нормальном и аварийном режимах осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 10.12, б.

В первый момент после отключения двигателя норрии от сети его угловая скорость близка к номинальной. Если к статорной обмотке двигателя  $M8$  подключить батарею конденсаторов, то он начнет работать в генераторном режиме, питая токком двигатель затвора  $M10$ . В зависимости от емкости конденсаторов и количества кинетической энергии, запасенной в маховых массах системы двигатель — норрия, можно получить необходимую длительность работы двигателя в режиме генератора с достаточно устойчивым напряжением, близким к номинальному.

В нормальном режиме кнопкой  $SB10$  напряжение подают на катушку пускателя  $KM10B$ , который включает двигатель затвора  $M10$  на открытие. Для закрытия затвора достаточно нажать кнопку  $SB9$ . Ход затвора ограничивают конечные выключатели  $SQ1$  и  $SQ2$ . Длительность периодов открытия и закрытия затвора составляет 3 с.

При исчезновении напряжения питания агрегата все пускатели приводов машин отключаются. Размыкающие блок-контакты  $KM8$  подключают катушку  $KM10H$  к клеммам двигателя  $M8$ , работающего в режиме генератора. Пускатель  $KM10H$  соединяет двигатель  $M10$  с двигателем  $M8$ . Образуется самостоятельная система: двигатель  $M8$ , работающий в режиме генератора, и двигатель  $M10$ , который начинает действовать и закрывает затвор.

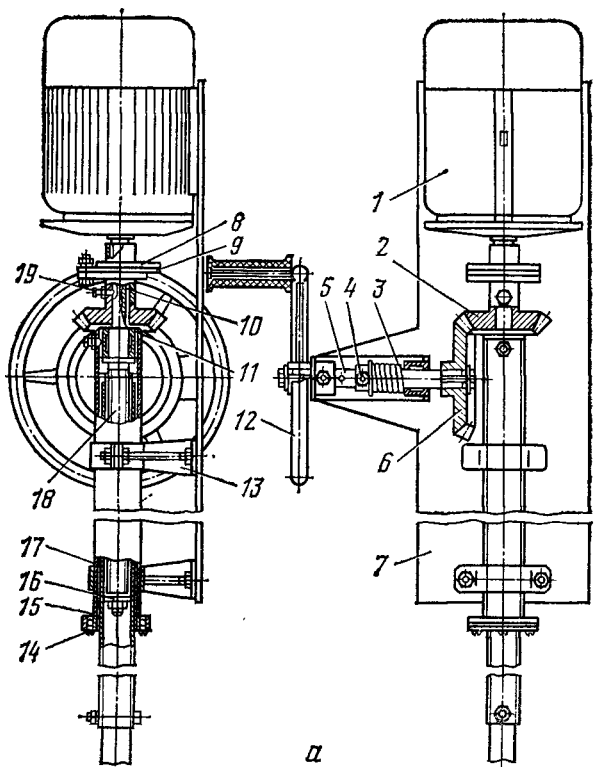
Катушка пускателя  $KM10H$  рассчитана на напряжение 220 В. При нормальной эксплуатации цепи управления подключены к напряжению 380 В, поэтому к катушке  $KM10H$  присоединено добавочное сопротивление  $R$ . В случае потери питания это сопротивление шунтируется контактами  $KM8$ , что обеспечивает длительное включение пускателя  $KM10H$ , так как напряжение на двигателе  $M10$  и пускателе  $KM10H$  уменьшается по мере снижения угловой скорости двигателя  $M8$ . Для устойчивой работы асинхронного двигателя в режиме генератора необходима емкость

$$C = (3 \dots 4) C_n. \quad (10.1)$$

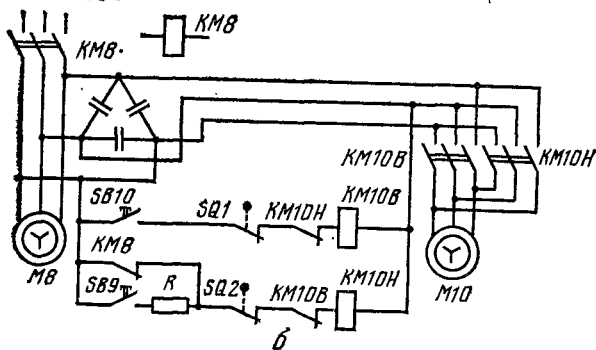
Номинальную емкость  $C_n$  (мкФ) находят по формуле

$$C_n = 3185 I_{он} U_n^{-1}, \quad (10.2)$$

где  $I_{он}$  — номинальный фазный ток намагничивания двигателя (реактивная составляющая тока холостого хода двигателя), А;  $U_n$  — линейное напряжение, В.



*a*



*b*

Рис. 10.12. Электропривод затвора ВНИИМЭСХ:

*a* — кинематическая схема; *b* — электрическая схема; 1 — электродвигатель; 2, 6 — шестерни ручного привода; 3 — пружина; 4 — стойка; 5 — вал ручного привода; 7 — плита затвора; 8 — муфта; 9 — резиновая прокладка; 10 — шпика; 11 — шпика; 12 — ручной привод; 13 — стойка корпуса затвора; 14 — уплотнение; 15 — шток затвора с гайкой; 16 — центрирующий ролик; 17 — цилиндрический корпус затвора; 18 — винт; 19 — штуцер для смазки.

Асинхронный генератор должен работать в течение времени, необходимого для полного закрытия затвора, с напряжением на зажимах не менее  $0,7 U_H$ .

Значение момента инерции системы двигатель — нория, необходимое для устойчивой работы двигателя  $M8$  в генераторном режиме в период закрытия электровинтового затвора, определяют по формуле

$$J_{\text{сист}} = \frac{t_2 (M_T + M_c)}{\omega_{\text{возб}}}, \quad (10.3)$$

где  $t_2$  — необходимое время работы двигателя  $M8$  в генераторном режиме, с;  $M_c$  — момент сопротивления нории, Н·м;  $\omega_{\text{возб}} = 0,9\omega_H \sqrt{C_H/C}$  — угловая скорость, при которой прекращается возбуждение, рад/с.

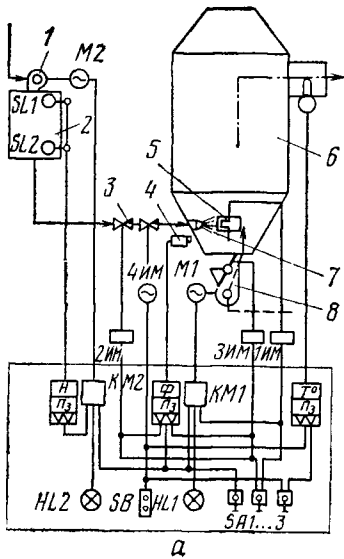
Тормозной момент  $M_T$  (Н·м), создаваемый подключенной емкостью, определяют по экспериментальной формуле

$$M_T = 10,9C : C_H - 0,294C^2 : C_H^2 - 7,84. \quad (10.4)$$

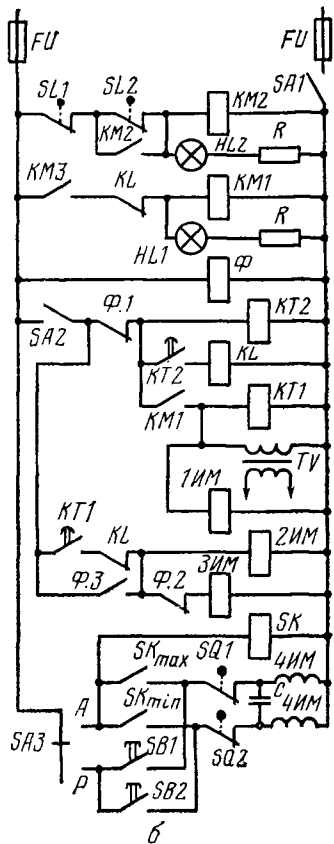
Опытом установлено, что двигатель затвора в случае питания от асинхронного двигателя А2-31-4 нории загрузки НЗ-20, находящегося в режиме генератора, устойчиво работает при подключенной к каждой фазе емкости 24...30 мкФ. Момент инерции системы электродвигатель — нория составляет  $0,418 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . Чтобы надежно закрыть затвор, когда питание агрегата прекращено, необходимо увеличить момент инерции приводного шкива двигателя  $M8$  до  $0,175 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

**Управление электроприводами топки зерносушилки.** Топки зерносушилок являются одним из основных агрегатов зерносушильных линий. Для управления работой топок на жидком топливе разработаны автоматические устройства для розжига топки, контроля ее работы и регулирования температуры теплоносителя. В комплект аппаратуры управления входят: регулятор уровня топлива  $H$  (рис. 10.13), состоящий из датчиков верхнего и нижнего уровней  $SL1$  и  $SL2$  и двигателя  $M2$ , электромагнитный топливный клапан  $3$ , устройство  $\Phi$  для контроля пламени с датчиком  $4$ , электрический запальник  $5$ , воздушная заслонка с электромагнитным приводом  $ЗИМ$ , регулятор теплоносителя, в который входят термореле  $СК$  и исполнительный механизм  $4ИМ$ , выключатели  $SA1$ ,  $SA2$ , переключатель  $SA3$  и сигнальные лампы  $HL1$ ,  $HL2$ .

Предварительно пускается основной вентилятор сушилки. Блок-контакты магнитного пускателя  $КМ3$ , включаю-



а



б

Рис. 10.13. Схемы автоматического управления топкой:

а — технологическая; б — электрическая; 1 — насос; 2 — топливный бак; 3 — топливный клапан; 4 — датчик контроля пламени; 5 — спираль накаливания; 6 — топка; 7 — форсунка; 8 — вентилятор; ИИМ... — исполнительные механизмы; — — — топливо; - - - - - холодный воздух; · · · · · теплоноситель.

щего электродвигатель основного вентилятора, замыкаются в цепи пускателя *KM1* привода вентилятора 8 топки. Выключателем *SA1* подают напряжение на схему управления. Пускается привод вентилятора 8 топки, а на пульте управления загорается лампа *HL1*, сигнализирующая о наличии напряжения в схеме и о начале продувки топки. Если в баке нет топлива, то контакты датчиков уровней *SL1* и *SL2* закрыты и при замыкании выключателя *SA1* получает питание пускатель *KM2* и включает топливный насос 1. Загорается сигнальная лампа *HL2*, предупреждая оператора о том, что топка к пуску не готова. При наполнении бака до верхнего уровня датчик *SL1* отключает *KM2*.

Топку включают в работу выключателем *SA2*. Подается напряжение на реле времени *KT1*, *KT2*. Исполнительный

механизм запальника *ИМ* выдвигает спираль накаливания из защитного чехла. Спираль *5* присоединена к понижающему трансформатору *TV*. В течение периода, определяемого выдержкой реле времени *КТ1*, происходит продувка топki при включенном запальнике. Контакты *КТ1* включают электромагнитный привод *2ИМ* топливного клапана и *3ИМ* привода заслонки вентилятора *8*, переводя ее в положение «Закрyто». Поступающее топливо распыляется форсункой *7*, и смесь топлива с воздухом воспламеняется от соприкосновения со спиралью запальника.

При появлении пламени срабатывает устройство его контроля  $\Phi$ , которое контактами  $\Phi.1$  отключает зажигание и питание реле времени *КТ1* и *КТ2*, а контактами  $\Phi.2$  — привод *3ИМ* заслонки вентилятора. Под действием пружины заслонка открывается, подача воздуха, необходимого для полного сгорания смеси, увеличивается. Замыканием контактов  $\Phi.3$  обеспечивается питание электромагнитного топливного клапана *2ИМ*.

Если воспламенение топлива не произошло, срабатывает реле *КТ2* и включает промежуточное реле *KL*, контакты которого отключают вентилятор топki, топливный клапан *2ИМ* и электромагнит привода воздушной заслонки *3ИМ*. Блок-контакты *KM1* отключают устройство зажигания и реле времени *КТ1*.

Чтобы повторно разжечь топку, выключателем *SA2* выводят из цепи тока реле *КТ2* и снова включают питание пусковой системы.

Если пламя гаснет во время работы, то контакты  $\Phi.1$  замыкаются и происходит автоматический пуск с последовательностью первого варианта.

Когда в топке установился рабочий режим, переключателем *SA3* включают систему регулирования температуры теплоносителя. В случае превышения температуры теплоносителя по отношению к заданной замыкаются контакты  $SK_{\max}$  и исполнительный механизм с двигателем *4ИМ* уменьшает подачу топлива. При замыкании контактов  $SK_{\min}$  подача топлива увеличивается. Пределы изменения подачи топлива ограничиваются конечными выключателями *SQ1* и *SQ2*. Пусковыми кнопками *SB1* и *SB2* регулируют подачу топлива во время наладки схемы. Уровень топлива в промежуточном баке контролируется датчиками *SL1* и *SL2* типа РУС-3, воздействующими на магнитный пускатель *KM2* топливного насоса. Размыкающие контакты датчика нижнего уровня *SL2* шунтируются блок-контактами

*SA2 Пускатель KM2*

магнитного пускателя *КМ2*. Поэтому насос работает до того момента, пока под действием топлива не разомкнутся контакты датчика верхнего уровня *SL1*.

### **10.5. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ В ОВОЩЕВОДСТВЕ**

Электропривод в овощеводстве используется для привода вентиляторов (гл. 3), насосов (гл. 2), ручных электрифицированных машин (гл. 7), узлов автоматики, транспортных устройств и при заготовке тепличных грунтов.

Технологическая линия приготовления тепличных грунтов, применяемая в совхозе «Советский» Воронежской области, показана на рисунке 10.14. Комплекс технологического оборудования обеспечивает подачу и дозирование компонентов, взвешивание, улавливание металлических включений, дробление, просеивание и смешивание.

Торф, навоз, древесные опилки и другие компоненты завозят самосвалами и укладывают в бурты 2. Затем бульдозер 1 сдвигает их в приемные бункера 31, откуда ленточные транспортеры 27 подают их в накопительный бункер 26. Над каждым транспортером установлены магнитные колонки 28, удаляющие из компонентов ферромагнитные включения. Если торф, навоз, древесные опилки сильно загрязнены обрезками досок и пнями, их отбирают на решетке, расположенной над приемным устройством. Освобожденная от примесей масса через автоматические весы 29 поступает в барабанную пальцевую дробилку 24 и через регулирующий клапан 23 в смеситель 21 или 15. Готовая смесь направляется в бункер-накопитель 20 или 16. Транспортер 18 подает ее в отвал или грузит в транспортные средства. Управляют линией с пульта 25, контролируя процесс по сигнальным лампам.

Линия приготовления питательной смеси для выращивания рассады в горшочках — составная часть линии приготовления тепличных грунтов. Первая линия имеет устройство для предварительного смешивания микродобавок с порцией опилок. С основной линией она связана загрузочным шкафом 13 и клапаном 14 через смеситель компонентов 15. В смеситель 15 компоненты подаются через регулирующий клапан 23 и сито 22.

Для приготовления и загрузки микродобавок их взвешивают на лабораторных весах 5 и через дозатор 9 подают

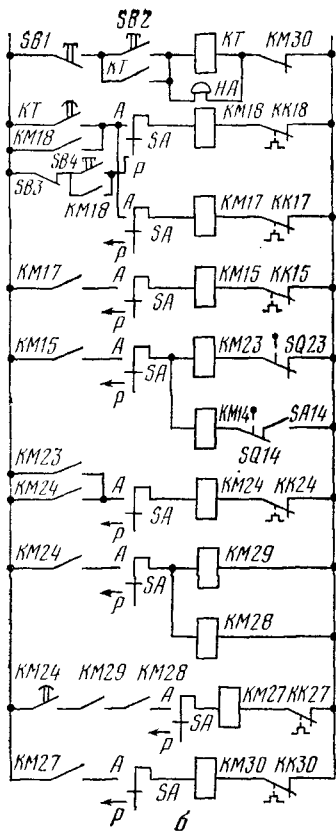
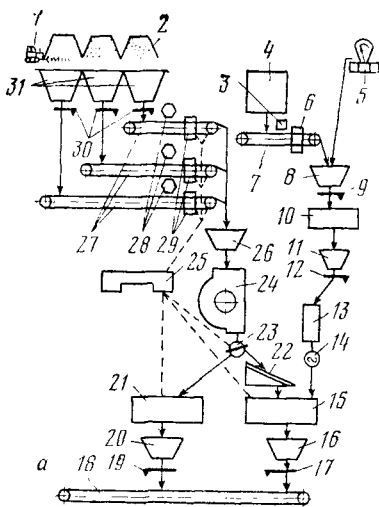


Рис. 10.14. Линия приготовления тепличных грунтов и питательных смесей для выращивания рассады в горшочках:

*а* — технологическая схема; *б* — электрическая схема; 1 — бульдозер; 2 — бурты; 3, 28 — магнитные колонки; 4 — склад опилок; 5 — лабораторные весы; 6 — ковшовые весы; 7, 18 и 27 — ленточные транспортеры; 8, 11, 16, 20, 26 и 31 — бункера; 9, 12, 17, 19 и 30 — ячеистые дозаторы; 10, 15 и 21 — смесители; 13 — загрузочный шкаф; 14 и 23 — клапаны; 22 — сито; 24 — пальцевая дробилка; 25 — пульт управления; 29 — автоматические ленточные весы.

в смеситель 10 для первоначального смешивания с порцией опилок. Полученная смесь поступает в распределительный бункер 11 и через загрузочный шкаф 13 в смеситель 15, где компоненты смешиваются с микродобавками. Готовая масса поступает в распределительный бункер 16 и ленточным транспортером 18 загружается в транспортные средства.

Фрагмент электрической схемы управления поточной линией показан на рисунке 10.14, б. Номера магнитных пускателей соответствуют позициям машин в технологиче-



ской схеме. Настройка на автоматический (А) режим работы осуществляется переключателями SA. Цепи ручного управления показаны для пускателя KM18, остальные — аналогичны. Срабатывание каждого пускателя сопровождается загоранием сигнальной лампы на пульте управления оператора.

Для пуска линии в работу нажимают кнопку SB2, включается предупредительный сигнал HA, а через выдержку времени — пускатель KM18 с приводом выходного транспортера 18 и пускатель KM17 с приводом дозатора 17. Далее блок-контактами KM17 включаются пускатель KM15 привода смесителя, блок-контактами KM15 — пускатель KM23 привода клапана 23, пускатель KM14 (при включенном SA14) привода клапана 14, блок-контактами KM23 вводится в цепь тока катушка пускателя KM24 привода дробилки. Блок-контакты KM24 вводят в цепь тока катушки магнитных пускателей KM29 и KM28, включаются автоматические весы и магнитные колонки. С выдержкой времени, необходимой для разбега дробилки, от пристроенного к пускателю KM24 механического реле времени при условии срабатывания KM29 и KM28 вводится в цепь тока катушка пускателя KM27, которая лавинообразно включает катушку KM30. Включаются ленточные транспортеры 27 и дозаторы 30. Пуск линии закончен навстречу технологическому потоку. Идет приготовление грунта.

Автоматизированный электропривод системы полива дождеванием каплями менее 100 мкм позволяет не только поливать почву, но и увлажнять воздух в теплицах, а также подкармливать растения растворами минеральных удобрений. В качестве примера рассмотрим принципиальную электрическую схему (рис. 10.15) управления приводами автомата РА-48. Схема предусматривает возможность задания времени начала полива, кратности (1...5) повторений и продолжительности полива. Вручную автомат включают переключателем SA2 и кнопкой SB при включенном выключателе SA1, автоматически — при помощи реле времени KT1. Для задания полива выключатель реле KT1 ставят в положение «Предварительно», а указатель рукоятки ставят на деление (1...24), указывающее, через сколько часов должно произойти включение.

При включении катушки магнитного пускателя KM2 в цепь тока происходит блокировка кнопки пуск SB и контактов KT1 и подготовка цепи двигателя M1 и катушки шагового искателя KM1. Дисковый переключатель с двига-

телем  $M1$  последовательно замыкает свои контакты  $1, 2...50$ , и одновременно с каждым из них (кроме  $50$ ) размыкается контакт  $51$ . В исходном положении контакт  $51$  замкнут, поэтому блок-контакты  $KM2$  вводят в цепь тока катушку пускателя  $KM3$ , который включает двигатель  $M1$  привода дискового переключателя.

Переключатели  $SA3.1...SA3.48$  электромагнитных приводов  $YA.1...YA.48$  ставят в положение  $ПЛ$ , если в данной секции необходим полив, и в положение  $ПР$ , если полив данной секции пропускается. При  $SA3.1$  в положении  $ПЛ$  в момент замыкания контактов  $M1.1$  и размыкания контактов  $M1.51$  срабатывает электромагнитный вентиль  $YA.1$ , включая полив первого участка теплицы. Контакты  $M1.51$  выводят из цепи тока пускатель  $KM3$ , который отключает привод  $M1$  и включает реле времени  $KT2$ . Через период времени, необходимый для полива участка, реле  $KT2$  включает привод  $M1$  дискового многопозиционного переключателя, контакты  $M1.1$  размыкаются, а  $M1.51$  замыкаются. Привод  $M1$  работает до тех пор, пока контакты  $M1.2$  не закроются, а  $M1.51$  не откроются. При  $SA3.2$  в положении  $ПЛ$  электромагнитный вентиль  $YA.2$  включает полив второго участка на время, определяемое уставкой реле  $KT2$ .

Для пропуска полива участка его переключатель, например  $SA3.3$ , ставят в положение  $ПР$ . И тогда в третьей позиции переключателя с двигателем  $M1$  пускатель  $KM3$  остается включенным и двигатель  $M1$  продолжает работать, а диск переключателя продолжает обход своих контактов.

Если переключатель числа поливов  $ПП$  стоит в положении  $1$  и контакты  $M1.50$  закрыты, в цепь тока вводится катушка шагового искателя  $KM1$ , его контакты переходят в положение  $1$ , катушка пускателя  $KM2$  шунтируется, схема отключается, цикл полива заканчивается. Катушка реле  $KM1$  получает питание через размыкающий контакт пускателя  $KM2$  и проворачивает оцифрованный диск до самоотключения в положение  $0$ .

Если переключатель числа поливов  $ПП$  предварительно поставлен в положение  $2$  (в общем случае  $n=1, 2, 3, 4, 5$ ), то при закрытии контактов  $M1.50$  и срабатывании шагового искателя  $KM1$  шунтирование катушки  $KM2$  не произойдет, привод дискового переключателя будет повторно включать полив (в общем случае  $n$  раз), после чего остановится.

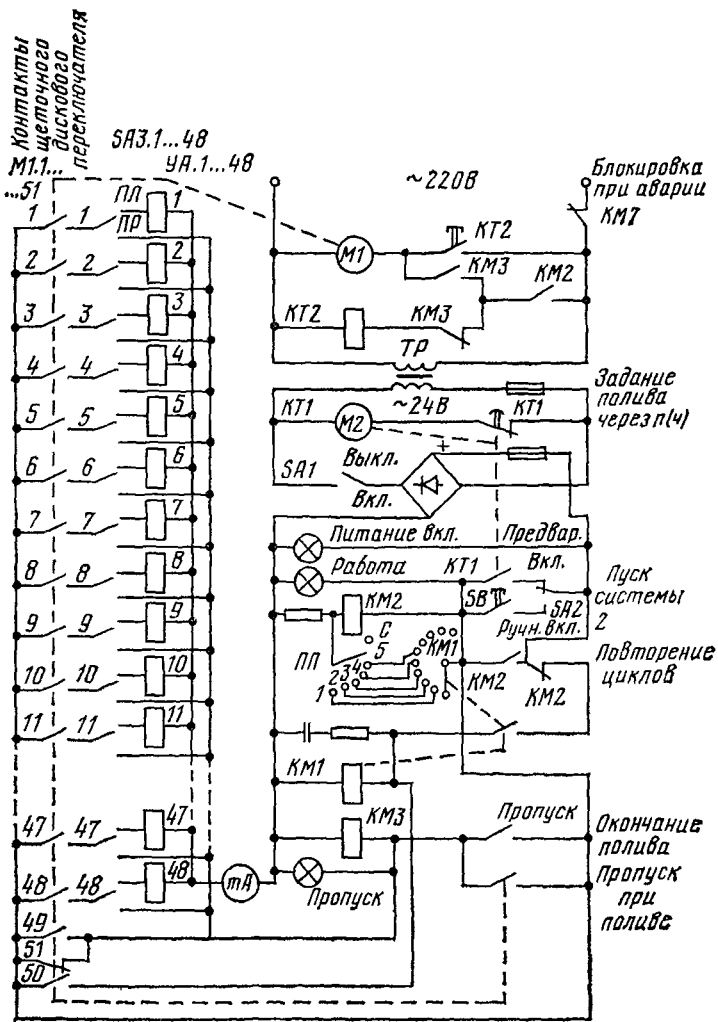


Рис. 10.15. Принципиальная электрическая схема поливочного автомата РА-48.

Если же переключатель числа поливов ПП поставить в положение С, то циклы поливов будут следовать один за другим до отключения автомата оператором.

Наряду с дождеванием защищенного грунта все большее распространение получает капельное орошение, при-

менение которого позволяет экономить до 40% воды. Оросительная система с капельницами-микротрубками состоит из бака-смесителя, тканевого фильтра, электронасоса, распределительного трубопровода, автоматического клапана, водомера и вентиля. К распределительному полиэтиленовому трубопроводу диаметром 32 мм присоединены увлажнители диаметром 10 мм, от которых отходят микротрубки диаметром 0,7 мм, длиной 0,5...0,7 м. Концы капельниц подвешивают на проволоке у каждого растения на высоте 2...3 см от поверхности грядки.

Испытания ВНИИГиМ и ТСХА показали, что наибольшая равномерность подачи воды капельницами достигается при напоре 20...22 кПа, отклонения от среднего значения не превышают 6%. Длительность разового полива целесообразна не более 20 мин. Система капельного полива позволяет подавать минеральный раствор с экономией до 20% удобрений, не снижая урожайности культур.

# Глава 11. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

## 11.1. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

Приведенный момент инерции может быть определен несколькими методами.

**1. Метод затухающего вращения маховиков.** Для определения момента инерции рабочей машины нужно сделать два опыта выбега с двумя дополнительными маховиками с одинаковыми массами и формами, моменты инерции которых  $J_{1\text{доп}}$  и  $J_{2\text{доп}}$ . Указанные условия необходимы для того, чтобы закон изменения статических сопротивлений холостого хода был одинаковым в обоих опытах.

В опыте выбега, когда электродвигатель отключен от сети ( $M_d=0$ ), уравнение движения привода имеет вид

$$-M_c = (J_m + J_d + J_{\text{доп}}) \frac{d\omega}{dt}, \quad (11.1)$$

где  $M_c$  — момент сопротивления;  $J_m$  — момент инерции рабочей машины, приведенный к валу двигателя;  $J_d$  — момент инерции приводного двигателя;  $J_{\text{доп}}$  — момент инерции дополнительного маховика;  $\omega$  — угловая скорость двигателя;  $t$  — время выбега.

Время выбега привода с первым дополнительным маховиком от начальной скорости  $\omega_{\text{нач}}$  до полной остановки

$$t_1 = - (J_m + J_d + J_{1\text{доп}}) \int_{\omega_{\text{нач}}}^0 \frac{d\omega}{M_c}. \quad (11.2)$$

Время выбега привода со вторым дополнительным маховиком от той же начальной скорости до полной остановки:

$$t_2 = - (J_m + J_d + J_{2\text{доп}}) \int_{\omega_{\text{нач}}}^0 \frac{d\omega}{M_c}. \quad (11.3)$$

Совместное решение уравнений (11.2) и (11.3) дает момент инерции привода

$$- \int_{\omega_{\text{нач}}}^0 \frac{d\omega}{M_c} = \frac{t_1}{J_m + J_d + J_{1\text{доп}}} = \frac{t_2}{J_m + J_d + J_{2\text{доп}}}, \quad (11.4)$$

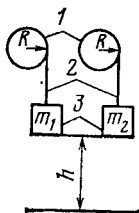


Рис. 11.1. Схема определения приведенного момента инерции по методу падающих грузов:

1 — шкив; 2 — трос; 3 — грузы.

откуда

$$J_m + J_d = \frac{J_{2\text{доп}}t_1 - J_{1\text{доп}}t_2}{t_2 - t_1} = J_{\text{арр}} \quad (11.5)$$

Момент инерции рабочей машины

$$J_m = J_{\text{арр}} - J_d \quad (11.6)$$

**2. Метод падающих грузов.** Для определения момента инерции машины проводят два опыта разгона. На приводной шкив 1 радиусом  $R$  (рис. 11.1) наматывают трос 2, к концу которого попеременно крепят грузы 3 с массами  $m_1$  и  $m_2$ , создающие постоянные движущие моменты, большие момента сопротивления машины. При опускании груза привод приходит в движение с постоянным ускорением на участке  $h$ , одинаковом для обоих опытов выбега. В процессе опытов записывают время  $t_1$  и  $t_2$  опускания грузов на отрезок  $h$ .

Ускорения грузов

$$a_1 = 2h/t_1^2 \text{ и } a_2 = 2h/t_2^2.$$

Уравнения движения привода в двух опытах:

$$m_1g - F_{c1} - m_1a_1 - m_x a_1 = 0 \quad (11.7)$$

и

$$m_2g - F_{c2} - m_2a_2 - m_x a_2 = 0, \quad (11.8)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;  $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$  — приведенные к поступательному движению силы сопротивления машины (принимаются равными для обоих опытов).

Совместное решение уравнений (11.7) и (11.8) дает значение приведенной к поступательному движению массы вращающихся частей машины:

$$m_x = \frac{m_2(g - a_2) - m_1(g - a_1)}{a_2 - a_1}. \quad (11.9)$$

Приведенный к валу момент инерции машины

$$J_x = m_x R^2. \quad (11.10)$$

**3. Метод самоторможения с использованием кривой выбега и механической характеристики рабочей машины.** Для

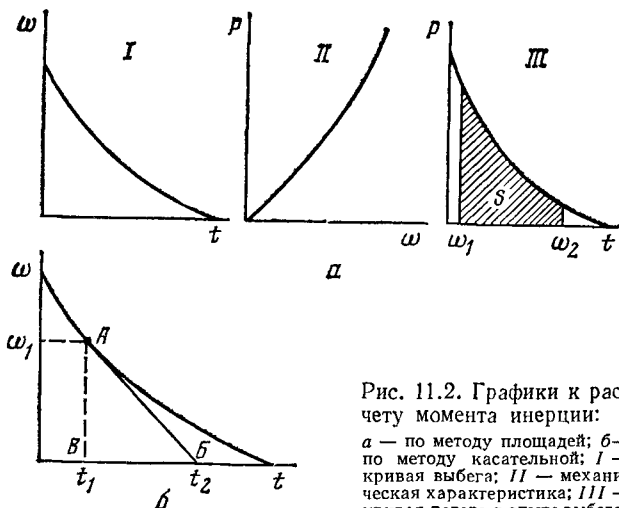


Рис. 11.2. Графики к расчету момента инерции:  
*a* — по методу площадей; *б* — по методу касательной; *I* — кривая выбега; *II* — механическая характеристика; *III* — кривая потерь в опыте выбега.

определения момента инерции снимают кривую выбега  $\omega=f(t)$  (рис. 11.2). Ее записывают при помощи регистрирующего вольтметра и тахогенератора постоянного тока. Тахогенератор соединяют с валом испытуемой машины, а напряжение с него подают на вольтметр. После отключения двигателя скорость привода снижается, пропорционально ей уменьшается ЭДС генератора, а на бумаге регистрирующего вольтметра вычерчивается график  $\omega=f(t)$ .

1. Используя кривые выбега и потерь холостого хода агрегата  $P=\varphi(\omega)$ , строят график потерь в опыте выбега  $P=\psi(t)$ . При самоторможении от угловой скорости  $\omega_1$  до угловой скорости  $\omega_2$  запас кинетической энергии

$$A = J_x \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} \quad (11.11)$$

расходуется на преодоление механических потерь, которые пропорциональны площади  $S$ , ограниченной кривой потерь, осью времени и вертикалями  $\omega=\omega_1$  и  $\omega=\omega_2$ . Поэтому

$$J_x = \frac{2A}{\omega_1^2 - \omega_2^2} = \frac{2}{\omega_1^2 - \omega_2^2} S m_P m_t, \quad (11.12)$$

где  $\omega_1$  — угловая скорость в начале опыта выбега, рад/с;  $\omega_2$  — угловая скорость в конце опыта выбега, рад/с;  $S$  — площадь, мм<sup>2</sup>;  $m_P$  — масштаб мощности, Вт/мм;  $m_t$  — масштаб времени, с/мм.

2. На кривой выбега выбирают точку  $A$  (рис. 11.2, б), механические потери агрегата  $P_c$  которой известны. Через точку  $A$  проводят касательную  $AB$  и находят отрезок  $\Delta t = t_2 - t_1 = \overline{BB}$ . Этот отрезок определял бы время выбега агрегата, если бы за время изменения его скорости от номинальной до полной остановки тормозной момент оставался постоянным. Кинетическая энергия привода  $J_x \omega_A^2 / 2$  в точке  $A$  расходовалась бы на преодоление механических потерь  $P_c \Delta t / 2$ . Поэтому момент инерции агрегата

$$J_x = P_c \Delta t / \omega_A^2 = M_c / \varepsilon_A, \quad (11.13)$$

где  $M_c = P_c / \omega_A$  и  $\varepsilon_A = \omega_A / \Delta t$ .

Чтобы увеличить достоверность результатов, момент инерции вычисляют для нескольких точек кривой выбега и в расчет принимают среднее значение.

При отсутствии механической характеристики потери  $P_c$  определяют по мощности на валу  $P_2$  приводного асинхронного двигателя для начальной угловой скорости  $\omega_{нач}$ :

$$P_c = P_2 \eta_n,$$

где  $\eta_n$  — КПД передачи.

Мощность на валу двигателя

$$P_2 = [P_1 - P_{1x} - 3R_1 (I_1^2 - I_{1x}^2)] \frac{\omega_{нач}}{\omega_1} - 0,005 P_1, \quad (11.14)$$

где  $P_1$ ,  $I_1$  — присоединенная мощность и ток фазы статора двигателя при скорости  $\omega_{нач}$  и напряжения  $U_1$ ;  $P_{1x}$ ,  $I_{1x}$  — присоединенная мощность и ток фазы статора при холостом ходе двигателя и том же напряжении  $U_1$ ;  $\omega_1$  — синхронная угловая скорость;  $0,005 P_1$  — добавочные потери.

Сопrotивление фазы статора  $R_1$  определяют измерением или по номинальным данным и опыту холостого хода:

$$R_1 = \frac{P_{2н} \left[ \frac{1}{\eta_n} - \left( 1 + \frac{0,005}{\eta_n} \right) \frac{\omega_1}{\omega_n} \right] - P_{1x}}{3(I_{1н}^2 - I_{1x}^2)}. \quad (11.15)$$

Чтобы исключить влияние температуры на сопротивление фазы статора, измерения под нагрузкой и на холостом ходу электродвигателя проводят при одной и той же температуре обмоток двигателя. Предпочтение отдают стандартной температуре  $75^\circ\text{C}$ .



## 11.2. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

Знание момента трогания  $M_{\text{тр}}$  рабочей машины необходимо для выбора приводного двигателя по пусковым свойствам. Пусковой момент двигателя  $M_{\text{п}}$  при номинальном напряжении должен удовлетворять условию

$$K_U M_{\text{п}} \geq M_{\text{тр}} + 0,25M_{\text{н}}, \quad (11.16)$$

где  $K_U = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{н}}}$  — отношение напряжения  $U_{\text{п}}$  на зажимах двигателя при пуске его к номинальному напряжению  $U_{\text{н}}$ ;  $M_{\text{н}}$  — номинальный момент электродвигателя, Н·м.

Момент трогания измеряют на холостом ходу и под нагрузкой в зависимости от условий пуска машины. Общий момент трогания сложной машины определяют как сумму отдельных моментов трогания, приведенных к одному валу:

$$M_{\text{тр}} = M_{\text{тр}1} + M_{\text{тр}2} + \dots + M_{\text{тр}k}, \quad (11.17)$$

где 1, 2, ...,  $k$  — порядковый номер отдельных узлов машины.

При наличии свободного хода или гибкой связи между отдельными узлами общий момент трогания может быть и меньше суммы отдельных моментов.

Экспериментально момент трогания приводного вала машины находят несколькими способами.

1. На приводной шкив 1 (рис. 11.3, а) радиусом  $R$  наматывают гибкий трос 2 и подвешивают груз 3, сила тяжести которого

$$F = mg. \quad (11.18)$$

Массу груза постепенно увеличивают до тех пор, пока вал не тронется с места. Опыт проводят несколько раз и для различных положений приводного вала, поворачивая его перед опытом на  $90^\circ$ . Момент трогания подсчитывают по формуле

$$M_{\text{тр}} = FR, \quad (11.19)$$

где  $F$  — максимальный вес груза вместе с подвеской, Н.

2. Для определения больших моментов трогания пользуются рычагом (рис. 11.3, б). В этом случае момент трогания

$$M_{\text{тр}} = FR + M_R, \quad (11.20)$$

где  $M_R$  — момент, создаваемый собственно рычагом (может быть сведен к нулю путем его уравновешивания).

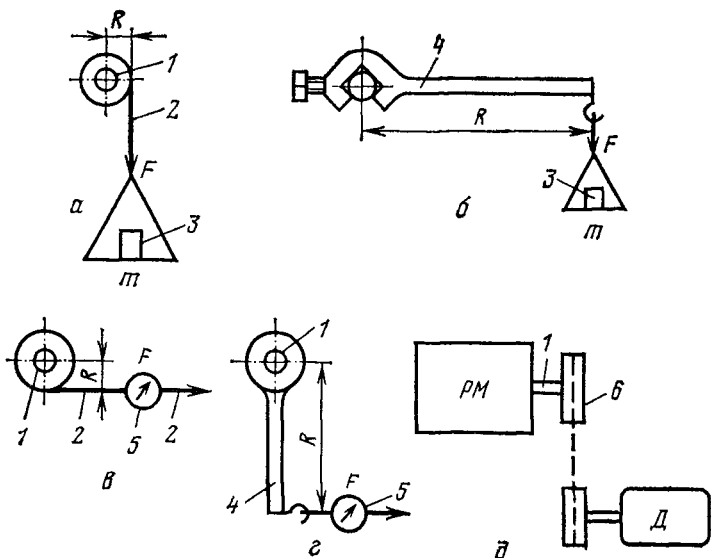


Рис. 11.3. Схемы для определения момента трогания:

1 — вал рабочей машины; 2 — трос; 3 — груз; 4 — рычаг; 5 — динамометр; 6 — динамограф типа РДД.

3. На приводной шкив 1 (рис. 11.3, в) наматывают трос 2, к концу которого прикрепляют динамометр 5 с показывающей и фиксирующей стрелками. Плавно натягивая трос, добиваются того, чтобы приводной вал трогался с места. Динамометр фиксирует наибольшее усилие трогания. Момент трогания подсчитывают по формуле (11.19).

4. В предыдущей схеме может быть применен рычаг (рис. 11.3, г).

5. При испытании сельскохозяйственных машин, когда между приводным двигателем Д постоянного тока независимого возбуждения и рабочей машиной РМ на ее валу крепится ротационный динамометр-звездочка РДД, момент трогания может быть записан на бумагу осциллографа (рис. 11.3, д). Во время пуска приводного двигателя включают осциллограф и записывают момент. Пуск двигателя в этом опыте происходит при постепенном повышении напряжения на якоре двигателя (от нуля и до значения, при котором двигатель преодолет момент трогания). На бумаге осциллографа регистрируется постепенное увеличение момента до максимума. После трогания с места момент не-

сколько спадает. Максимум момента по кривой и будет искомым моментом трогания.

Кроме проверки по пусковому моменту, двигатель проверяют по допустимому времени пуска:

$$t_{\text{пуск}} \leq t_{\text{пуск. доп}}, \quad (11.21)$$

где  $t_{\text{пуск}}$  — фактическое время пуска;  $t_{\text{пуск. доп}}$  — табличное значение по ОСТ 70.2—79.

Число пусков в час не должно превышать допустимого числа пусков по каталогу:

$$h \leq h_0 \quad (11.22)$$

или его определяют по формуле (2.25).

### 11.3. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ МАШИН

Механические характеристики рабочих машин  $M_{с. р. м} = f(\omega_{р. м})$ , необходимые для оценки условий пуска и режимов работы приводного двигателя, определяют различными методами динамометрирования. Чтобы построить эти характеристики, нужно знать момент сопротивления рабочей машины на холостом ходу или под нагрузкой при различных угловых скоростях приводного вала.

**Определение механической характеристики при помощи тарированной машины постоянного тока независимого возбуждения.** Электромагнитный момент машины постоянного тока независимого возбуждения при постоянном магнитном потоке пропорционален току якоря  $I_{я}$ :

$$M_{эм} = C I_{я}, \quad (11.23)$$

где  $C$  — постоянная, обусловленная конструктивными особенностями машины и принятым значением магнитного потока, Н·м/А.

Чтобы исключить влияние реакции якоря, магнитный поток должен быть создан при намагничивающей силе, превышающей номинальную, для чего увеличивают или число витков обмотки возбуждения, или ток в обмотке возбуждения. При этом необходимо вести контроль за температурой обмотки возбуждения, чтобы она находилась на уровне 75°C.

С другой стороны, известно, что электромагнитный момент машины постоянного тока параллельного возбуждения

$$M_{эм} = P_{эм}/\omega = E I_{я}/\omega, \quad (11.24)$$

где  $P_{эм}$  — электромагнитная мощность машины постоянного тока, Вт;  $\omega$  — угловая скорость, рад/с;  $E$  — ЭДС якоря, В.

Из сравнения формул (11.23) и (11.24) следует, что

$$C = E/\omega. \quad (11.25)$$

Зависимость  $E=C\omega$  определяют экспериментально, вращая тарированную машину вспомогательной машиной с разными скоростями  $\omega_i$  в пределах до  $(1...1,3)\omega_n$ . Из полученной зависимости

$$C = \frac{1}{k} \left( \frac{E_1}{\omega_1} + \frac{E_2}{\omega_2} + \dots + \frac{E_k}{\omega_k} \right), \quad (11.26)$$

где  $k$  — число опытных точек.

Постоянную  $C$  можно найти и по данным опыта холостого хода тарированной машины в режиме двигателя. Машину пускают на холостом ходу при выбранном постоянном токе возбуждения  $i_b$  и разных напряжениях на зажимах цепи якоря и записывают напряжение  $U_y$  якорной цепи, ток  $I_{я.х}$ , угловую скорость якоря  $\omega_2$ . Электродвижущую силу вычисляют по формуле

$$E = U_y - \Delta U_{я}. \quad (11.27)$$

Падение напряжения в якорной цепи

$$\Delta U_{я} = I_{я.х} R_{я} + 2\Delta U_{щ}, \quad (11.28)$$

где  $R_{я}$  — сопротивления цепи якоря;  $\Delta U_{щ}$  — потери напряжения в щеточном контакте.

Вычислив  $C$ , можно найти момент холостого хода тарированной машины:

$$M_{х.т.м} = CI_{я.х}. \quad (11.29)$$

Чтобы определить механическую характеристику рабочей машины, ее соединяют с тарированной машиной и прокручивают при различных угловых скоростях в пределах от нуля до  $\omega_{р.м} = (1...1,1)\omega_{р.м.н}$ . В процессе опыта записывают напряжение  $U_y$ , ток  $I_y$  и угловую скорость  $\omega_y$  якоря. Момент сопротивления рабочей машины на каждой скорости подсчитывают по формуле

$$M_{с.р.м} = CI_y - M_{х.т.м}. \quad (11.30)$$

Результаты испытаний записывают в следующую таблицу:

| №<br>п/п | Опыт        |             |                      |                | Расчет            |                   |
|----------|-------------|-------------|----------------------|----------------|-------------------|-------------------|
|          | $U_{я}$ , В | $I_{я}$ , А | $\omega_{я}$ , рад/с | $M_{эм}$ , Н·м | $M_{х.г.м}$ , Н·м | $M_{с.р.м}$ , Н·м |

1  
2  
3

По данным колонок  $\omega_{я}$  и  $M_{с.р.м}$  строят механическую характеристику рабочей машины, приведенную к валу двигателя.

**Определение механической характеристики при помощи динамографа.** Момент на валу машины измеряют ротационным динамографом-звездочкой типа РДД (рис. 11.3,  $\delta$ ). Для получения сигнала, пропорционального угловой скорости, используют тахогенераторы постоянного тока, например, типа ТЭ-204. Сигналы, пропорциональные моменту и угловой скорости, фиксируются на бумаге осциллографа.

Обрабатывая осциллограмму, находят зависимость  $M_{с.р.м} = f(\omega_{р.м})$ . При использовании двухкоординатного самопишущего прибора на бумаге сразу записывается механическая характеристика.

**Определение механической характеристики по кривой выбега.** При известном моменте инерции машины ее механическую характеристику можно определить по кривой выбега (рис. 11.4,  $a$ ). После получения кривой выбега проводят ее графическое дифференцирование. На кривой  $\omega = f(t)$  выбирают точки 1, 2, 3, 4, через которые проводят касательные  $\overline{1-5}$ ,  $\overline{2-6}$ ,  $\overline{3-7}$ ,  $\overline{4-8}$ . Из точки 5 проводят линии  $\overline{2-5}$ ,  $\overline{3-5}$ ,  $\overline{4-5}$ , параллельные касательным  $\overline{2-6}$ ,  $\overline{3-7}$ ,  $\overline{4-8}$ . Отрезки  $\overline{1'-0}$ ,  $\overline{2'-0}$ ,  $\overline{3'-0}$ ,  $\overline{4'-0}$  пропорциональны ускорениям в точках 1, 2, 3, 4. Далее строят кривую  $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$  (рис. 11.4,  $b$ ), которая в определенном масштабе представляет собой механическую характеристику  $M = M(\omega)$ , так как для опыта выбега уравнение движения имеет вид

$$-M_c = J \frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon. \quad (11.31)$$

Масштаб скорости  $m_\omega$  и времени  $m_t$  выбирают произвольно, но с тем расчетом, чтобы отрезки  $\overline{1-0}$  и  $\overline{8-0}$  были примерно равны.

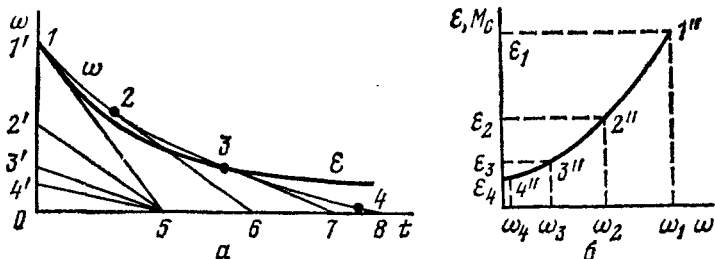


Рис. 11.4. Графоаналитический метод определения механической характеристики:

*a* — кривые выбега и ускорений; *b* — механическая характеристика.

Масштаб ускорений

$$m_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{0-1} = \frac{\omega_1}{0-5m_t 0-1}. \quad (11.32)$$

Масштаб моментов

$$m_m = m_\varepsilon J. \quad (11.33)$$

При использовании двухкоординатного самопишущего прибора на бумаге сразу может быть записана механическая характеристика, для чего на вход  $X$  подают сигнал, пропорциональный угловой скорости, а на вход  $Y$  — сигнал, пропорциональный ускорению в опыте выбега.

Масштаб скорости

$$m_\omega = \frac{\omega_{\text{нач}}}{\bar{X}_{\text{нач}}}. \quad (11.34)$$

Масштаб моментов

$$m_m = \frac{M_{\text{с.нач}}}{\bar{Y}_{\text{нач}}}. \quad (11.35)$$

Уравнение движения при выбегае (11.31) может быть решено аналитически.

1. При постоянном моменте сопротивления угловая скорость при выбегае изменяется линейно:

$$\omega = \omega_{\text{нач}} - \frac{\omega_{\text{нач}}}{t_{\text{кон}}} t \quad (11.36)$$

от начальной угловой скорости  $\omega_{\text{нач}}$  до нуля за все время опыта  $t_{\text{к}}$ . Угловое ускорение при выбегае

$$\varepsilon = \omega_{\text{нач}}/t_{\text{кон}} \quad (11.37)$$

постоянно.

Момент сопротивления при известном моменте инерции определяют по формуле

$$M_c = J\varepsilon. \quad (11.38)$$

2. При линейной механической характеристике

$$M_c = a + b\omega \quad (11.39)$$

решение уравнения (11.31) показывает, что угловая скорость при выбеге уменьшается по экспоненте

$$\omega = A \left[ \left( 1 + \frac{\omega_{\text{нач}}}{A} \right) e^{-Bt} - 1 \right], \quad (11.40)$$

где  $A = a/b$ ;  $B = b/J$ .

Выбрав характерные точки на кривой выбега с координатами  $t=0$  и  $\omega = \omega_{\text{нач}}$ ,  $t=t_{\text{кон}}$  и  $\omega = 0$ ,  $t_1 = t_{\text{кон}}/2$  и  $\omega = \omega_1$ , определяют коэффициенты

$$B = \frac{1}{t_1} \ln \left( \frac{\omega_{\text{нач}}}{\omega_1} - 1 \right) \quad (11.41)$$

и

$$A = \omega_{\text{нач}} \frac{1}{e^{Bt_{\text{кон}}} - 1}. \quad (11.42)$$

При известном моменте инерции определяют коэффициенты для механической характеристики (11.39):

$$b = BJ; \quad a = Ab. \quad (11.43)$$

При неизвестном моменте инерции его определяют. Ускорение в опыте выбега

$$\varepsilon = -AB \left( 1 + \frac{\omega_{\text{нач}}}{A} \right) e^{-Bt} \quad (11.44)$$

позволяет вычислить начальное ускорение

$$\varepsilon_{\text{нач}} = -AB \left( 1 + \frac{\omega_{\text{нач}}}{A} \right) \quad (11.45)$$

и момент инерции по формуле (11.38).

3. При вентиляторной механической характеристике

$$M_c = a + c\omega^2 \quad (11.46)$$

угловая скорость при выбеге

$$\omega = A \operatorname{tg} [B(t_{\text{кон}} - t)]. \quad (11.47)$$

$$A = \frac{\omega_{\text{нач}}}{\text{tg}(Bt_{\text{кон}})} \quad (11.48)$$

и

$$E = \frac{2}{t_{\text{кон}}} \text{arctg} \sqrt{1 - \frac{2\omega_1}{\omega_{\text{нач}}}} \quad (11.49)$$

дают возможность определить коэффициенты для механической характеристики (11.46):

$$a = ABJ; \quad c = \frac{B}{A} J. \quad (11.50)$$

В формуле (11.49)  $\omega_1$  соответствует  $t_1 = t_{\text{кон}}/2$ .

Ускорение при выбеге

$$\epsilon = -AB \frac{1}{\cos^2 [B(t_{\text{кон}} - t)]}$$

позволяет определить начальное ускорение в опыте выбега

$$\epsilon_{\text{нач}} = -\frac{AB}{\cos^2(Bt_{\text{кон}})} \quad (11.51)$$

и момент инерции по формуле (11.38).

#### 11.4. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ НАГРУЗОЧНЫХ ДИАГРАММ ПРИВОДА

**Методы получения нагрузочных диаграмм.** Нагрузочные диаграммы рабочей машины и приводного двигателя  $M_c = f_1(t)$ ,  $M_c = f_2(\alpha, L)$ ,  $P_c = f_3(t)$ ,  $M_d = \varphi_1(t)$ ,  $P_d = \varphi_2(t)$  и  $I_d = \varphi_3(t)$  необходимы для выбора мощности приводного двигателя и определения его режима работы.

Зависимость  $M = f(t)$  находят при помощи ротационных динамометров и записывают момент на бумагу или пленку осциллографа.

Для испытаний электроприводов сельскохозяйственных машин мощностью до 25 кВт в производственных условиях в МИИСП разработан комплект аппаратуры (рис. 11.5), в который входят измерительный щит с кабельным устройством для подключения его к сети, шлейфовый осциллограф, а также комплекты регистрирующих и измерительных приборов. Щит подключают к сети и электродвигателю через блоки рубильник — предохранитель  $Q$ . Максимально допустимая площадь сечения плавких вставок предохранителей 2 мм<sup>2</sup>. Для измерения напряжения в каждой фазе на щите расположен вольтметр  $PVI$  с пере-



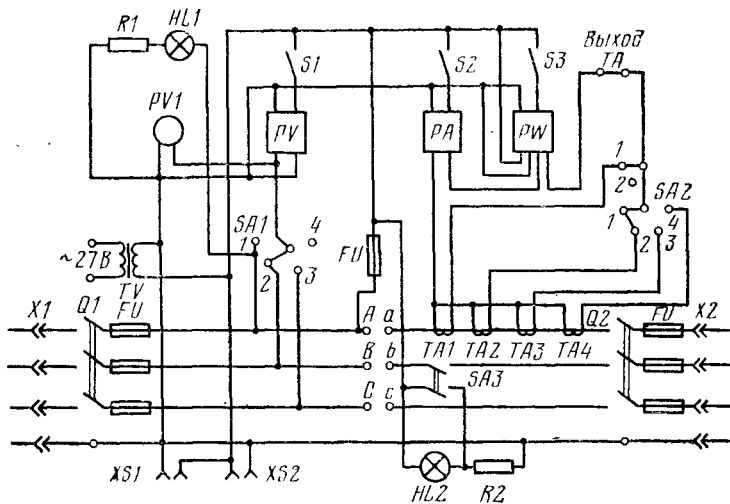


Рис. 11.5. Электрическая схема измерительного щита.

кнопкой  $SA1$ . О наличии напряжения сигнализирует лампа  $HL1$ . Измерительный комплект приборов К-50, включаемый на клеммы  $A, B, C, a, b, c$ , позволяет определить ток, напряжение, мощность двигателя. Характер изменения напряжения, тока и мощности записывают на бумажную ленту приборов  $PV, PA, PW$  типов Н344, Н353, Н350. Трансформаторы тока УТТ-5 позволяют изменять пределы записываемых величин. При помощи переключателя  $SA2$  составляют различные схемы соединения этих трансформаторов.

В первом положении переключателя вторичные обмотки  $TA1$  и  $TA2$  соединены параллельно при последовательно включенных первичных обмотках. Коэффициент трансформации такой схемы равен 1,5, а каждого трансформатора — 3. Во втором положении переключателя вторичная цепь трансформатора  $TA1$  разомкнута, а трансформатора  $TA2$  остается подключенной к приборам. Коэффициент трансформации его равен 3. В третьем положении в работу вводится трансформатор  $TA3$  с коэффициентом трансформации 10, а в четвертом —  $TA4$  с коэффициентом трансформации от 20 до 60. Таким образом, пределы записываемых токов в зависимости от положения переключателя  $SA2$  составляют 0...7,5, 0...15, 0...50, 0...100А; а мощностей — 0...1,5, 0...3, 0...10, 0...20 кВт.

Переключатель SA2 действует без отключения электродвигателя от сети и позволяет записать характер изменения пусковых и рабочих токов, активной мощности. Искусственный обрыв фазы создают пакетным выключателем SA3, один контакт которого расшунтирует лампу HL2, сигнализирующую о наличии неполнофазного режима. Для записи тока на пленку или бумагу осциллографа сигнал снимается с клемм ТА при убранной перемычке. Для записи напряжения сигнал снимается с клемм А, В, С или розетки XS2. Осциллограф получает питание от розетки XS1.

Кабельное устройство измерительного щита имеет две катушки, на которые намотано 50 м четырехжильного гибкого кабеля с площадью поперечного сечения 16 мм<sup>2</sup>. Сопротивление кабеля меньше 0,03 Ом, поэтому оно не влияет на условия электроснабжения испытуемого электропривода. Кабель к щиту присоединяют штепсельными разъемами X1 и X2 после разматывания катушек. Измерительный щит крепят на каркасе кабельного устройства и устанавливают в крытый кузов грузового автомобиля.

Опыт показал, что такой комплект аппаратуры сокращает время испытаний, не нарушает технологический процесс работы машин и обеспечивает соблюдение правил техники безопасности.

**Порядок записи нагрузочных диаграмм.** 1. Записывают в протокол испытаний (форма протокола приведена ниже) основные технические характеристики.

| Основные технические характеристики | Значения параметров |
|-------------------------------------|---------------------|
|-------------------------------------|---------------------|

*Рабочая машина*

Тип  
 Производительность, кг/с  
 Номинальная частота вращения приводного вала, об/мин  
 Режим работы

*Окружающая среда*

Наименование помещения  
 Категория помещения  
 Температура окружающего воздуха, °С  
 Влажность воздуха, %

*Электродвигатель*

Тип  
 Номинальная мощность двигателя, кВт

Номинальная частота вращения, об/мин  
 Схема соединения обмоток статора  
 Номинальный ток, А  
 Кратность пускового тока  
 Кратность пускового момента  
 Кратность максимального момента  
 Коэффициент мощности  
 Коэффициент полезного действия

#### *Аппаратура*

Тип рубильника или автоматического выключателя  
 Тип предохранителя  
 Тип пускового устройства  
 Тип защитного аппарата  
 Ток уставки теплового реле или расцепителя, А

#### *Источник питания*

Номинальная мощность, кВ·А  
 Длина, площадь сечения и материал питающего фидера

2. Подсчитывают необходимый коэффициент трансформации тока и выбирают положение переключателя SA2. Номинальный первичный ток трансформатора тока должен быть несколько больше измеряемого тока. На период пуска коэффициент трансформации увеличивают в соответствии с пусковым током.

3. Выбирают необходимую скорость движения бумаги регистрирующих приборов, чтобы график изменялся по возможности плавно.

4. Выбирают продолжительность измерений. Длительность одного измерения принимают от 1 до 10 мин, но не менее времени протекания одного технологического цикла.

5. Опробуют схему и проверяют правильность выбранных пределов измерения приборов.

6. Записывают на бумагу регистрирующих приборов номер диаграммы согласно протоколу и делают не менее трех измерений в каждом возможном режиме работы.

**Обработка нагрузочных диаграмм.** 1. Для двигателей с длительным режимом работы нагрев определяется значением эквивалентного по нагреву тока нагрузки:

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{ц}}} \int_0^{t_{\text{ц}}} I^2 dt}, \quad (11.52)$$

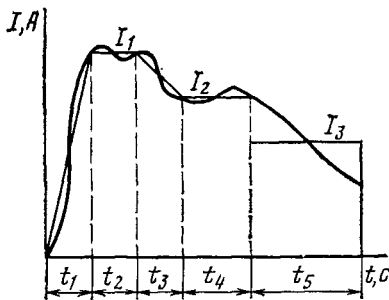


Рис. 11.6. Токовая нагрузочная диаграмма.

При этом максимальная разность между ординатами кривой тока и аппроксимирующей прямой не должна превышать половины среднего значения ординат прямой. Эквивалентный ток для диаграммы, показанной на рисунке 11.6,

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 \frac{1}{3} + I_2^2 t_2 + (I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2) t_3 \frac{1}{3} + I_3^2 t_4 + I_3^2 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} \quad (11.53)$$

По условиям нагрева должно выполняться соотношение

$$I_{\text{экв}} \leq I_{\text{н}}, \quad (11.54)$$

где  $I_{\text{н}}$  — номинальный ток двигателя.

Если самовентилируемый двигатель работает с переменной скоростью, то в формулу (11.53) следует ввести поправочные коэффициенты, учитывающие ухудшение охлаждения двигателя во время паузы, пуска и торможения. Для этого вместо  $t_{\text{ц}}$  нужно подставить

$$t'_{\text{ц}} = \beta t_{\text{п}} + t_{\text{р}} + \beta t_{\text{т}} + \beta_0 t_0, \quad (11.55)$$

где  $\beta = \frac{1 + \beta_0}{2}$ ,  $\beta = 0,25 \dots 0,35$  для защищенных двигателей с самовентиляцией,  $\beta_0 = 0,45 \dots 0,54$  для двигателей закрытого исполнения с самовентиляцией;  $t_{\text{п}}$ ,  $t_{\text{р}}$ ,  $t_{\text{т}}$ ,  $t_0$  — продолжительность пуска, работы в установившемся режиме, торможения и отключения (определяют по токовой диаграмме).

В том случае, когда в продолжительном режиме работы разность между максимальным и средним значениями тока не превышает половины среднего значения тока,

где  $I$  — ток в момент времени  $t$ ;  $t_{\text{ц}}$  — время периода, за который подсчитывается среднеквадратичный ток.

Практически кривая тока аппроксимируется отрезками прямых. Аппроксимирующую прямую проводят таким образом, чтобы площади под кривой тока и под аппроксимирующей прямой были одинаковы.

При этом максимальная

среднеквадратичное значение тока мало отличается от среднего значения, поэтому соответствие нагрузке номинальной мощности двигателя оценивается по формуле

$$I_{\text{ср}} \leq I_{\text{н}}, \quad (11.56)$$

где  $I_{\text{ср}} = \frac{Sm_I}{l}$  — среднее значение тока в цепи статора двигателя;  $S$  — площадь диаграммы, мм<sup>2</sup>;  $l$  — длина обрабатываемого участка диаграммы, мм;  $m_I$  — масштаб тока, А/мм.

Аналогично находят среднее значение мощности, потребляемой двигателем.

2. Для двигателей с кратковременным режимом работы эквивалентное значение тока двигателя по нагрузочной диаграмме

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_{\text{п}}^2 t_{\text{п}} + I_{\text{р}}^2 t_{\text{р}}}{\beta t_{\text{п}} + t_{\text{р}}}}, \quad (11.57)$$

где  $I_{\text{п}}$  — пусковой ток, А;  $t_{\text{п}}$  — продолжительность пуска двигателя, с;  $I_{\text{р}}$  — рабочий ток двигателя, А;  $t_{\text{р}}$  — продолжительность работы, с.

Общая продолжительность работы двигателя

$$t_{\text{x}} = t_{\text{п}} + t_{\text{р}}. \quad (11.58)$$

По условиям нагрева должны выполняться следующие неравенства:

$$t_{\text{к}} \geq t_{\text{x}}, \quad (11.59)$$

$$I_{\text{н.к}} \geq I_{\text{экв}} \quad (11.60)$$

или

$$P_{\text{н.к}} \geq P_{\text{экв}}, \quad (11.61)$$

где  $t_{\text{к}}$  — длительность стандартного периода неизменной номинальной нагрузки (по ГОСТ 183—74 может быть 10, 30, 60, 90 мин);  $I_{\text{н.к}}$  и  $P_{\text{н.к}}$  — номинальные ток и мощность двигателя по каталогу для кратковременного режима работы;  $P_{\text{экв}}$  — эквивалентная мощность по нагрузочной диаграмме на валу двигателя.

При соблюдении неравенств (11.59), (11.60) и (11.61) двигатель будет выбран с некоторым запасом по нагреву. Каталожная мощность может быть уточнена по формуле

$$P_{\text{н.к}} \geq P_{\text{экв}} \frac{1 - \eta_{\text{x}}}{\eta_{\text{x}}} \cdot \frac{\eta_{\text{н}}}{1 - \eta_{\text{н}}} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{t_{\text{x}}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{\text{к}}}{T}}}, \quad (11.62)$$

где  $\eta_{\text{н}}$  — номинальный КПД двигателя, выбранного по неравенству (11.61);  $\eta_{\text{x}}$  — КПД двигателя при нагрузке  $P_{\text{экв}}$ ;  $T$  — постоянная времени нагрева двигателя,

3. Для двигателей с повторно-кратковременным режимом работы эквивалентное значение тока

$$I_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{I_{\text{п}}^2 t_{\text{п}} + I_{\text{р}}^2 t_{\text{р}} + I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}}{\beta t_{\text{п}} + t_{\text{р}} + \beta t_{\text{т}}}}, \quad (11.63)$$

где  $I_{\text{т}}$  — ток при торможении двигателя, А;  $t_{\text{т}}$  — продолжительность торможения двигателя, с.

Общая продолжительность работы двигателя

$$t_{\text{р.о}} = t_{\text{п}} + t_{\text{р}} + t_{\text{т}}. \quad (11.64)$$

Относительная продолжительность включения двигателя по нагрузочной диаграмме

$$ПВ_x = \frac{t_{\text{р.о}}}{t_{\text{р.о}} + t_0} 100, \quad (11.65)$$

где  $t_0$  — время паузы, с.

По условиям нагрева должны быть соблюдены следующие неравенства:

$$ПВ_{\text{ст}} \geqslant ПВ_x, \quad (11.66)$$

$$I_{\text{н.пк}} \geqslant I_{\text{экр}} \quad (11.67)$$

или

$$P_{\text{н.пк}} \geqslant P_{\text{экр}}, \quad (11.68)$$

где  $ПВ_{\text{ст}}$  — стандартная относительная продолжительность включения ГОСТ 183—74 может быть 15, 25, 40, 60%;  $I_{\text{н.пк}}$  и  $P_{\text{н.пк}}$  — номинальные ток и мощность двигателя для повторно-кратковременного режима работы по каталогу.

Каталожная мощность может быть уточнена по формуле

$$P_{\text{н.пк}} \geqslant P_{\text{экр}} \sqrt{\frac{ПВ_x [ПВ_{\text{ст}} + \beta (1 - ПВ_{\text{ст}})]}{ПВ_{\text{ст}} [ПВ_x + \beta (1 - ПВ_x)]}} (\alpha + 1) - \alpha, \quad (11.69)$$

где  $\alpha$  — отношение постоянных потерь двигателя к переменным;  $ПВ_{\text{ст}}$ ,  $ПВ_x$  — здесь в относительных единицах.

4. Для двигателей с перемежающимся режимом работы эквивалентное значение тока по нагрузочной диаграмме

$$I_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{I_{\text{р}}^2 t_{\text{р}} + I_{\text{х}}^2 t_{\text{х}}}{t_{\text{р}} + t_{\text{х}}}}, \quad (11.70)$$

где  $I_{\text{х}}$  — ток при холостом ходе привода, А;  $t_{\text{х}}$  — продолжительность холостого хода привода, с.

Продолжительность цикла

$$t_{ц} = t_p + t_x. \quad (11.71)$$

Продолжительность нагрузки по диаграмме

$$ПН_x = \frac{t_p}{t_{ц}} 100. \quad (11.72)$$

По условиям нагрева должны быть соблюдены следующие неравенства:

$$ПН_{ст} \geq ПН_x, \quad (11.73)$$

$$I_{н.п} \geq I_{вкв} \quad (11.74)$$

или

$$P_{н.п} \geq P_{вкв}, \quad (11.75)$$

где  $ПН_{ст}$  — стандартная относительная продолжительность нагрузки, по ГОСТ 183—74 может быть 15, 25, 40, 60%;  $I_{н.п}$  и  $P_{н.п}$  — номинальный ток и мощность двигателя для перемежающегося режима работы по каталогу.

5. При случайном характере нагрузки для обработки нагрузочных диаграмм применяют методы теории вероятности.

а. Регистрирующим амперметром, например Н-390, записывают токовую нагрузочную диаграмму электропривода. Для качественного анализа диаграммы достаточна скорость движения ленты 1,5 мм/с. Длительность записи должна составлять не менее 300 с при установившемся стационарном процессе.

б. Спектральным анализом нагрузочной диаграммы определяют приближенное значение преобладающей частоты, с которой изменяется нагрузка, и период изменения нагрузки  $T_{пр}$  (с).

в. Определяют длительность участка диаграммы, подлежащей обработке,

$$T_{д.мин} \geq 10T_{пр}. \quad (11.76)$$

г. Определяют интервал выборки

$$\Delta t \leq 0,2T_{пр} \quad (11.77)$$

и составляют таблицу выборок:

|          |       |       |       |       |                 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| № точки  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5 ... n         |
| $I_i, A$ | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $I_4$ | $I_5 \dots I_n$ |

Минимальный объем выборок составит

$$n = T_{д.мин} / \Delta t \geq 50. \quad (11.78)$$

д. Оценку математического ожидания среднего значения тока  $M^*(I)$  делают по среднеарифметическому значению тока, подсчитанному по формуле

$$M^*(I) \approx \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}, \quad (11.79)$$

где  $I_i$  — текущие дискретные значения тока;  $n$  — число отдельных значений тока, которые берут из таблицы выборок.

е. Оценку дисперсии тока  $D^*(I)$  ведут по выборочной дисперсии:

$$D^*(I) \approx \frac{\sum_{i=1}^n [I_i - M^*(I)]^2}{n-1}. \quad (11.80)$$

ж. По математическому ожиданию и дисперсии подсчитывают средний квадратичный ток

$$I_{\text{ср. кв}} = \sqrt{M^{*2}(I) + D^*(I)}, \quad (11.81)$$

который должен удовлетворять условию

$$I_{\text{н. дв}} \geq I_{\text{ср. кв}}. \quad (11.82)$$

6. Обработка нагрузочных диаграмм машин с периодической переменной нагрузкой ведется с использованием гармонического анализа по руководящему техническому материалу РТМ 105-0-051—78, разработанному ВНИИКОМЖ и МИИСП.

Вращающий момент электродвигателя  $M_d$  в системе электропривод — рабочая машина равен сумме статического момента сопротивления рабочей машины  $M_c$  и динамического момента сопротивления на его валу:

$$M_d = M_c/i + F_J J_d (d\omega_d/dt), \quad (11.83)$$

где  $i = \omega_{\text{д.н}}/\omega_{\text{м.н}}$  — передаточное число электропривода;  $\omega_{\text{д.н}}$  — номинальная угловая скорость вращения двигателя;  $\omega_{\text{м.н}}$  — номинальная угловая скорость вращения приводного вала машины;  $F_J = J/J_d$  — коэффициент инерции;  $J = J_m + J_d$  — суммарный приведенный момент инерции электропривода;  $J_m$  — момент инерции машины, приведенный к валу двигателя;  $J_d$  — момент инерции ротора электродвигателя;  $t$  — время.

При сложной форме периодической нагрузочной диаграммы реальную нагрузку  $M_c(t)$  заменяют суммой гар-



монических нагрузок различных амплитуд, частот и фаз:

$$M_c = M_{c.\min} + \frac{M_{c.\max} - M_{c.\min}}{2} \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(kvt + \gamma_k) \right], \quad (11.84)$$

где  $M_{c.\min}$  и  $M_{c.\max}$  — минимальный и максимальный моменты сопротивления, приведенные к валу электродвигателя;  $a_k$  — отношение амплитуды колебаний нагрузки  $k$ -й гармонической составляющей к амплитуде колебаний момента сопротивления электропривода  $M_{c.a} = (M_{c.\max} - M_{c.\min})/2$ ;  $v$  — угловая частота изменения нагрузки,  $v = 2\pi/T$ ;  $T$  — период колебания нагрузки;  $\gamma_k$  — угол запаздывания по фазе текущего значения  $k$ -й гармоники момента сопротивления.

В этом случае, если принять механическую характеристику двигателя линейной, то момент двигателя

$$M_d = M_{c.\min} + M_{c.a} \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \rho_k \cos(kvt + \gamma_k + \beta_k) \right], \quad (11.85)$$

где  $\rho_k$  — коэффициент смягчения нагрузки  $k$ -й гармоники, обусловленный действием суммарного приведенного момента инерции электропривода,

$$\rho_k = \frac{M_{d.\max k} - M_{d.\min k}}{M_{c.\max k} - M_{c.\min k}}; \quad (11.86)$$

$\beta_k$  — угол запаздывания  $k$ -й гармоники вращающего момента электродвигателя,  $\beta_k = \arccos \rho_k$ .

Коэффициент смягчения нагрузки  $k$ -й гармоники зависит от отношения электромеханической постоянной времени  $B$  системы электропривод — рабочая машина к периоду  $T$  колебания нагрузки:

$$\rho_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2 k^2 (B/T)^2}}, \quad (11.87)$$

где  $B = \frac{J\omega_0 s_H}{M_H}$ ;  $\omega_0$  — синхронная угловая скорость двигателя;  $s_H$  — номинальное скольжение двигателя;  $M_H$  — номинальный момент двигателя.

Относительные амплитуды  $k$ -х гармоник момента сопротивления  $M_c$  можно вычислить непосредственно из аналитической зависимости  $M_c(t)$ :

$$a_k = R_e \left\{ \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} [M_c(t) - M_{c.\min}] e^{-jkvt} dt \right\}, \quad (11.88)$$

где  $R_e$  — действительная часть комплексной величины в фигурных скобках,

или взять из приложения к РТМ105-0-051—78, а также можно пользоваться разложением в гармонический ряд, приведенным для многих функций в математических справочниках. Для практических вычислений число гармонических составляющих ограничивают 3...5 (табл. 11.1).

Зависимость (11.85) позволяет вычислить основные параметры электропривода при наличии расчетной или экспериментальной диаграммы момента сопротивления рабочей машины.

Основной критерий правильного выбора электродвигателя по нагреву

$$M_{\text{н}} \geq k_{\text{ф.д}} M_{\text{ср}}, \quad (11.89)$$

где  $k_{\text{ф.д}} = M_{\text{д.э}} / M_{\text{ср}}$  — коэффициент формы нагрузочной диаграммы двигателя;  $M_{\text{д.э}}$  — эквивалентный момент нагрузочной диаграммы двигателя;  $M_{\text{ср}}$  — средний момент сопротивления, приведенный к валу электродвигателя,  $M_{\text{ср}} = M_{\text{ср.д}}$ .

Коэффициент формы нагрузочной диаграммы двигателя

$$k_{\text{ф.д}} = \sqrt{1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 \rho_k^2 \delta_m^2}, \quad (11.90)$$

где  $\delta_m$  — степень неравномерности момента сопротивления,

$$\delta_m = (M_{\text{с.мах}} - M_{\text{с.мин}}) / M_{\text{ср}}. \quad (11.91)$$

Расчеты по выбору электродвигателя ведут в следующем порядке.

а. Подсчитывают средний момент сопротивления, приведенный к валу электродвигателя с номинальной угловой скоростью  $\omega_{\text{д.н}}$ :

$$M_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{с}} m_M m_t}{T}, \quad (11.92)$$

где  $S_{\text{с}}$  — площадь ( $\text{мм}^2$ ), ограниченная приведенной нагрузочной диаграммой  $M_{\text{с}}(t)$  за период  $T$  (с);  $m_M$  — масштаб моментов ( $\text{Н} \cdot \text{м} / \text{мм}$ );  $m_t$  — масштаб времени (с/мм).

б. По каталогу выбирают двигатель мощностью

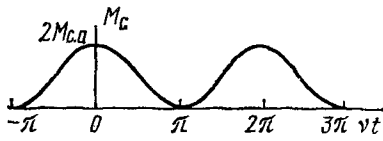
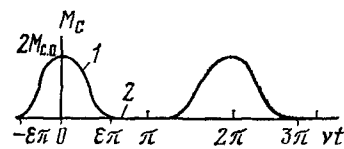
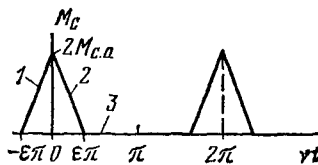
$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{расч}} = (1,1 \dots 1,3) M_{\text{ср}} \omega_{\text{д.н}} \quad (11.93)$$

и выписывают его паспортные данные, в том числе  $P_{\text{н}}$ ,  $\omega_0$ ,  $s_{\text{н}}$ ,  $J_{\text{д}}$ ,  $M_{\text{н}} = P_{\text{н}} / \omega_{\text{д.н}}$ ,  $\mu_{\text{к}} = M_{\text{к}} / M_{\text{н}}$ .

в. По формуле (11.90) определяют коэффициент формы нагрузочной диаграммы двигателя.

г. По формуле (11.89) проверяют правильность выбора двигателя по нагреву. При необходимости берут двигатель

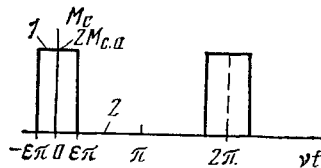
### 11.1. Относительные амплитуды $k$ -х гармонических составляющих $a_k$ момента сопротивления (коэффициенты Фурье)

| № | График $M_c(t) = M_c(t+T)$   | $\frac{a_0}{2}$ | $a_k$  |
|---|--|-----------------|--|
| 1 | <p>Косинусоидальный импульс</p> $M_c = M_{c.a} + M_{c.a} \cos vt$    | 1               | $a_1 = 1$  |
| 2 | <p>Косинусоидально-прямоугольный импульс</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>M_c = M_{c.a} + M_{c.a} \cos \frac{v}{\varepsilon} t</math></li> <li><math>M_c = 0</math></li> </ol>   | $\varepsilon$   | $\frac{2 \sin(k\varepsilon\pi)}{k\pi(1-k^2\varepsilon^2)}$ |
| 3 | <p>Симметричный треугольный импульс</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>M_c = 2M_{c.a} + 2M_{c.a} \frac{vt}{\varepsilon\pi}</math></li> <li><math>M_c = 2M_{c.a} - 2M_{c.a} \frac{vt}{\varepsilon\pi}</math></li> <li><math>M_c = 0</math></li> </ol>  | $\varepsilon$   | $\frac{8 \sin^2(k\varepsilon\pi/2)}{k^2\varepsilon\pi^2}$  |

| № | График $M_c(t) = M_c(t+T)$ | $\frac{a_0}{2}$ | $a_k$ |
|---|----------------------------|-----------------|-------|
|---|----------------------------|-----------------|-------|

## 4 Прямоугольный импульс

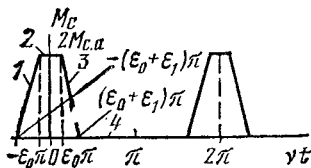
- $M_c = 2M_{c,a}$
- $M_c = 0$

 $2\varepsilon$ 

$$\frac{4 \sin(k\varepsilon\pi)}{k\pi}$$

## 5 Симметричный трапецеидальный импульс

- $M_c = 2 \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_1}{\varepsilon_1} M_{c,a} \times \left(1 + \frac{vt}{(\varepsilon_0 + \varepsilon_1)\pi}\right)$
- $M_c = 2M_{c,a}$
- $M_c = 2 \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_1}{\varepsilon_1} M_{c,a} \times \left(1 - \frac{vt}{(\varepsilon_0 + \varepsilon_1)\pi}\right)$
- $M_c = 0$

 $\varepsilon_0 + \varepsilon_1$ 

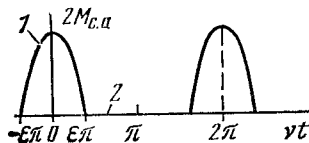
$$\frac{8 \sin\left[\frac{k\pi}{2}(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)\right] \times (\varepsilon_0 - \varepsilon_1) k^2 \pi^2}{1} \times \sin\left[\frac{k\pi}{2}(\varepsilon_0 + \varepsilon_1)\right]$$

| № | График $M_c(t) = M_c(t+T)$ | $\frac{a_n}{2}$ | $a_k$ |
|---|----------------------------|-----------------|-------|
|---|----------------------------|-----------------|-------|

## 6 Полусинусоидальный импульс

1.  $M_c = 2M_{c.a} \sin\left(\frac{vt}{2\varepsilon} + \frac{\pi}{2}\right)$

2.  $M_c = 0$



$\frac{4\varepsilon}{\pi}$

$$2\varepsilon \left\{ \frac{\sin\left[\frac{\pi}{2}(2k\varepsilon - 1)\right]}{\frac{\pi}{2}(2k\varepsilon - 1)} + \frac{\sin\left[\frac{\pi}{2}(2k\varepsilon + 1)\right]}{\frac{\pi}{2}(2k\varepsilon + 1)} \right\}$$

большей мощности или увеличивают маховые массы системы электропривод — рабочая машина.

д. Подсчитывают максимально допустимый вращающий момент электродвигателя:

$$M_{д.маx} = k_U^2 k_0 k_i \mu_K M_n, \quad (11.94)$$

где  $k_U$  — коэффициент, учитывающий допустимое отклонение напряжения в сети от номинального  $U_n$ ,  $k_U = U_c / U_n = 0,925$ ;  $k_0$  — коэффициент, учитывающий допустимое отклонение максимального вращающего момента электродвигателя, по ГОСТ 183—74  $k_0 = 0,9$ ;  $k_i$  — коэффициент, учитывающий нелинейность зависимости вращающего момента электродвигателя  $M_d$  от тока статора в области критического скольжения,  $k_i = 0,9$ ;  $\mu_K$  — кратность максимального вращающего момента электродвигателя, по ГОСТ 183—74  $\mu_K \geq 1,6$ .

е. Подсчитывают фактический максимальный вращающий момент электродвигателя по его нагрузочной диаграмме:

$$M_{ф.маx} = M_{ср} + M_{с.а} \sum_{k=1}^{\infty} a_k \rho_k. \quad (11.95)$$

Практически под знаком суммы достаточно 3...5 слагаемых.

ж. Проверяют перегрузочную способность электродвигателя. При

$$M_{д.маx} \geq M_{ф.маx} \quad (11.96)$$

перегрузочная способность двигателя достаточна.

з. При необходимости электродвигатель проверяют на перегрузочную способность по условию допустимой степени неравномерности вращения:

$$\delta_{\omega} = \frac{\delta_{м\rho}}{(M_n / M_{ср} S_n) - 1}, \quad (11.97)$$

где  $\rho$  — общий коэффициент смягчения неравномерности момента сопротивления,  $\rho = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} a_k \rho_k}{\sum_{k=1}^{\infty} a_k}$ ,  $k=1, 2, 3, 4, 5...$

Полученное значение  $\delta_{\omega}$  сравнивают с  $\delta_{\omega \text{ доп}}$  — максимально допустимой по технологии и  $\delta_{\omega \text{ max}}$  — максимально допустимой по условиям нагрузки электродвигателя. Оно должно быть меньше меньшей из двух степеней неравномерности вращения или равняться ей. Степень неравномерности вращения, максимально допустимую по условиям нагрузки электродвигателя, определяют по формуле

$$\delta_{\omega \text{ max}} = 2 (M_{д.маx} / M_n - 1) (\omega_0 / \omega_n - 1), \quad (11.98)$$

где  $M_{д.маx}$  — максимально допустимый вращающий момент электродвигателя.

и. Пусковые свойства двигателя проверяют по формулам (11.16) и (11.21).

### 11.5. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИВОДА

Удельную энергоёмкость  $a$  (кВт·ч/т) определяют по показаниям счетчика активной электрической энергии:

$$a = W_a / K \quad (11.99)$$

и по нагрузочным диаграммам

$$a = P_{ср} / \Pi, \quad (11.100)$$

где  $W_a$  — расход электрической энергии за время работы машины, кВт·ч;  $K$  — количество переработанной продукции за время работы машины, т;  $P_{ср}$  — средняя подводимая мощность двигателя для типичного режима работы двигателя по диаграмме, кВт;  $\Pi$  — производительность машины при типичном режиме работы, т/ч.

Средний коэффициент загрузки электродвигателя по активной мощности:

$$K_3 = \frac{P_{ср} \eta_n}{P_n}, \quad (11.101)$$

где  $P_n$ ,  $\eta_n$  — номинальная мощность и КПД электродвигателя.

Коэффициент загрузки электродвигателя, работающего в продолжительном режиме, должен удовлетворять условию

$$1 \geq K_3 > 0,7. \quad (11.102)$$

Коэффициент мощности подсчитывают на основании данных нагрузочных диаграмм:

$$\cos \varphi = \frac{P_{ср}}{\sqrt{3} U_{ср} I_{ср}},$$

где  $U_{ср}$ ,  $I_{ср}$  — линейные напряжение и ток,

и по показаниям электрических счетчиков активной  $W_a$  и реактивной  $W_p$  энергии:

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}.$$

Для сельскохозяйственных потребителей желательно иметь  $\cos \varphi > 0,92$ , при этом вводится скидка к тарифу за электроэнергию, а при  $\cos \varphi < 0,9$  вводится надбавка.

#### 11.6. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ТОКОВ ПЕРЕГРУЗКИ И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Автоматические выключатели и магнитные пускатели проверяют на соответствие номинальному току двигателя

$$I_{н.ап} \geq I_{н.дв} \quad (11.103)$$

и напряжению сети, в которую включается двигатель,

$$U_{н.ап} \geq U_c. \quad (11.104)$$

Тепловые реле проверяют на соответствие их номинального тока  $I_{р.н}$ , номинального тока теплового элемента  $I_{т.э}$ , верхнего  $I_{уст.мах}$  и нижнего  $I_{уст.мин}$  пределов регулирования тока уставки и выставленного тока уставки  $I_{уст.р}$  номинальному току двигателя  $I_{н.дв}$ :

$$I_{р.н} \geq I_{т.э} \geq I_{н.дв}; \quad (11.105)$$

$$I_{уст.мах} \geq I_{н.дв} \geq I_{уст.мин}; \quad (11.106)$$

$$I_{уст.р} = I_{н.дв}. \quad (11.107)$$

Для электродвигателей с малым коэффициентом загрузки в целях повышения надежности защиты используют соотношение

$$1,1 I_{раб.дв} \leq I_{уст.р} \leq I_{н.дв}. \quad (11.108)$$

Максимально токовые электромагнитные расцепители проверяют на соответствие пусковому току двигателя:

$$I_{эм.мах} \geq 1,5 I_{пуск} \geq I_{эм.мин}. \quad (11.109)$$

При управлении группой двигателей в количестве  $n$  используют соотношение

$$I_{эм.мах} \geq 1,5 \left[ \sum_{i=1}^{i=n-1} I_{н.i} + I_{пуск.мах} \right] \geq I_{эм.мин}. \quad (11.110)$$

Плавкие предохранители проверяют на соответствие напряжению сети:

$$500 \text{ В} \geq U_{н.пр} \geq U_c; \quad (11.111)$$



рабочему току двигателя:

$$I_{н.пр} > I_{р.дв}; \quad (11.112)$$

номинальному току плавкой вставки:

$$I_{н.вст} = \frac{I_{н.дв} k_i}{\alpha}, \quad (11.113)$$

где  $k_i$  — кратность пускового тока электродвигателя;  $\alpha=2,5$  при редких пусках длительностью до 2,5 с;  $\alpha=2,5...2$  при нечастых пусках длительностью 2,5...10 с;  $\alpha=1,6...2$  при частых пусках длительностью более 10 с.

Для защиты групповой цепи с несколькими ( $n$ ) двигателями

$$I_{н.вст} = \frac{\sum_1^{n-1} I_{н.дв} + I_{н.дв.мах} k_i}{\alpha}, \quad (11.114)$$

где  $I_{н.дв.мах}$  — номинальный ток наибольшего по мощности двигателя в группе.

При соблюдении условий (11.103)...(11.114) аппаратура управления и защиты и электродвигатели будут работать в номинальном режиме.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

- Материалы XXVI съезда КПСС.— М.: Политиздат, 1982.
- Продовольственная программа СССР на период до 1990 года и меры по ее реализации.— М.: Политиздат, 1981.
- Бороздин И. Ф., Кириллин Н. И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов.— М.: Колос, 1977.
- Зимин Е. Н., Преображенский В. И., Чувашов И. И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок.— М.: Энергоиздат, 1981.
- Зуев Ф. Г., Лотков Н. А., Полухин А. И. Подъемно-транспортные машины зерноперерабатывающих предприятий.— М.: Колос, 1978.
- Листов П. Н., Воробьев В. А. Электрификация сельскохозяйственного производства.— М.: Колос, 1979.
- Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм.— М.: Колос, 1978.
- Оборудование для создания микроклимата на фермах / Д. Н. Мурусидзе, В. А. Оленев, А. В. Павлов и др.— М.: Колос, 1972.
- Рекомендации по внедрению кормораздатчика КЭС-1,7 при реконструкции существующих и строительстве новых свиноводческих ферм./В. В. Гопка, А. А. Артюшин, О. Ф. Сакал и др.— Запорожье, 1980.
- Рыжов С. В. Механизация переработки соломы на корм.— М.: Колос, 1983.
- Сельскохозяйственная техника. Каталог, ч. 2/А. Е. Авдеев, Е. А. Арсеменко, Н. В. Богдасаров и др.— М.: ЦНИИТЭИ Госкомсельхозтехники СССР, 1982.
- Судаченко В. Н. Механизация и автоматизация работ в защищенном грунте.— Л.: Колос, 1982.
- Электрооборудование животноводческих предприятий и автоматизация производственных процессов в животноводстве / И. Ф. Кудрявцев, В. А. Карасенко, А. В. Корсаков и др.— М.: Колос, 1979.
- Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / Л. С. Герасимович, Л. А. Калинин, А. В. Корсаков и др.— М.: Колос, 1980.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоматизация вентиляции 48, 58

- дробилок 123
- затвора 243
- кормоприготовительных машин 113
- культиватора 181
- лебедочного агрегата 177
- насосных установок 15, 43
- обкатки ДВС 215
- охлаждения молока 147
- подачи 204
- полива 251
- уборки помета 234
- пуска сепаратора 153
- раздачи кормов 228, 231, 233
- сбора яиц 234
- толки 245
- транспортеров 81, 87

Гармонический анализ 272

Коэффициент загрузки 279

- формы нагрузочной диаграммы 139, 274
- cos φ 279

Метод гармонического анализа 272

- затухающего вращения маховиков 253
- падающих грузов 254
- самоторможения 254

Методы испытаний электроприводов 253

- обработки нагрузочных диаграмм 267
- определения механических характеристик 259, 261
- — момента инерции 253
- — — трогания 257
- — энергетических показателей 279
- оценки аппаратуры управления 280
- — — защиты 280
- получения нагрузочных диаграмм 264

Механическая характеристика 5, 6, 252, 263

- — вакуум-насоса 7

— — вентилятора 7, 50

— — глиномялки 7

— — ДВС 210

— — дробилки 7

— — жатки 180

— — зерновой норрии 83

— — измельчителя кормов «Волгарь-5» 116

— — комбайна 7

— — льномялки 7

— — насоса 7, 38

— — пилорамы 198

— — сеносооломопресса 136

— — сепаратора 150, 153

— — соломосилосорезки 115

— — стригальной машинки 160, 161

— — центробежной муфты 154

Нагрузочная диаграмма подъемного механизма 109

— — с косинусоидальным импульсом 279

— — с косинусоидально-прямоугольным импульсом 275

— — соломосилосорезки 115

— — с полусинусоидальным импульсом 277

— — с прямоугольным импульсом 276

— — с симметричным трапецеидальным импульсом 276

— — с симметричным треугольным импульсом 275

— — электролебедки 177

— — электронасоса 19

Нагрузочные диаграммы жаток 182

— — компрессоров 149

— — рабочих машин с переменной нагрузкой 7

— — электропривода дробилки 122, 125

— — — измельчителя 129

— — — пилорамы 201

— — — пресса 137

— — — сепаратора 151

Оборудование «Климат-3» 65

— «Климат-4» 58

— ОРТХ 72

## Оборудование ОПТХ-М 77

- Погружной электронасос 29
- Преобразователь частоты тока 162, 165
- Приводные характеристики измельчителя 116
  - — пресса 137
  - — сельскохозяйственных машин 5, 7
  - — сепаратора 154
  - — соломосилосорезки 115
- Приточно-вытяжные установки 58
- Пуск асинхронного двигателя 10, 39
- Расчет  $\cos \varphi$  279
  - коэффициента загрузки 279
  - момента инерции 244, 253. . . 256
  - — сопротивления 260, 261, 263
  - — трогания 257
  - пусковых сопротивлений 41
  - эквивалентного тока 267. . . 272
  - электропривода вакуум-насоса 145
  - электропривода вентилятора 50
    - — деревообрабатывающих станков 194, 195, 197, 198
    - — дробилок кормов 121
    - — жатки 181
    - — измельчителя корнеклубнеплодов 117, 119
    - — компрессоров 149
    - — кормораздатчика 96
    - — кранов 107
    - — лебедок 176
    - — металлообрабатывающих станков 185
    - — насоса 15, 35
    - — обкаточных стендов 206
    - — пилорам 198
    - — сеносоломопрессов 136, 137
    - — сепараторов молока 150
    - — соломосилосорезки 113
    - — стригальных машинок 164
    - — транспортеров 81. . . 83, 85, 86
  - энергоемкости 279
- Регулирование подачи воды 22

- — воздуха 54
- — пиломатериала 205
- — продукта в дробилку 123
- температуры теплоносителя 246
- Режимы обкатки ДВС 208, 209
  - работы вентиляции 49
  - — электронасосов 18

- Схема агрегата АВМ 130
  - вакуум-насоса 145
  - водоподъемной установки 20, 22, 23, 29
  - дробилки ДБ-5 125, 126
  - зерноочистительного агрегата 237
  - измельчителя корнеклубнеплодов 119
  - измельчителя-смесителя ИСК-3 127
  - измерительного щита 265
  - кормораздатчика КЭС-1,7 94
  - охладителя молока 147
  - тали 110
  - тросошайбового кормораздатчика 88
- Схемы транспортеров 82
  - электровентиляторов 51

- Требования к аппаратуре управления и защиты 280, 281
  - к времени пуска 259
  - к источнику питания 13, 14
  - к  $\cos \varphi$  280
  - к критическому моменту 14, 141, 278
  - к номинальной мощности 109, 178, 202, 207, 269, 270, 271
  - к номинальному моменту 138, 274
  - к пусковому моменту 13, 143, 202, 257
  - к электроприводу поточных линий 217

- Характеристики зернового шнека 87
  - насосов 17, 37
  - привода кормодробилки 122
  - — сепаратора 153
  - тали 111
  - электровентиляторов 52, 62

- Электрогайковерт 167
- Электромотыга 169, 170

- Электроножницы 167
- Электропила 169
- Электропогрузчик 101
- Электропривод бункеров активного вентилирования 77, 79
- вакуум-насосов 144
- вентиляторов 48
- дробилок 121
- деревообрабатывающих станков 194
- жаток 181
- затвора 243
- измельчителей 113, 114, 117
- кормоприготовительных агрегатов 129
- — машин 113
- кормораздатчика 94
- крановых механизмов 103
- лебедек 176
- лесопильных рам 199
- машин для обработки молока 144
- металлообрабатывающих станков 185
- мобильных машин 93, 174
- молочных насосов 156
- насосов 15, 35
- обкаточных стенов 205
- поточных линий в животноводстве 223
- — — в овощеводстве 247
- — — в теплице 248
- Электропривод ручных инструментов 157, 168
- сверлильных машинок 166
- стригальных машинок 163
- сенокосилок 179
- сеносоомопрессов 136
- сепараторов молока 150
- соломосилосорезки 113
- талей 109
- токарного станка 190
- транспортеров 81
- холодильных машин 146
- Электрорубанок 169
- Электротележка 98
- Электротрансмиссия 183, 184
- Электрофреза 171
- Электротягодоуборочная машина 172, 173
- Энергоемкость 279

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| Глава 1. | <b>Общие вопросы автоматизированного электропривода . . . . .</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1.     | Электропривод в сельскохозяйственном производстве . . . . .   | 3         |
| 1.2.     | Приводные характеристики сельскохозяйственных машин и условия работы сельскохозяйственных электроприводов . . . . . | 5         |
| 1.3.     | Проверка возможности прямого пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя . . . . .                               | 10        |
| Глава 2. | <b>Электропривод и автоматизация насосных установок . . . . .</b>   | <b>15</b> |
| 2.1.     | Выбор типа и мощности водоснабжающей установки . . . . .  | 15        |
| 2.2.     | Режим работы привода и допустимая частота включений . . . . .   | 18        |
| 2.3.     | Регулирование подачи электронасосных установок . . . . .  | 22        |
| 2.4.     | Автоматизация насосных установок . . . . .  | 24        |
| 2.5.     | Выбор электропривода установок для орошения . . . . .   | 35        |
| 2.6.     | Пуск электродвигателей привода оросительных установок . . . . .   | 39        |
| 2.7.     | Автоматизация электронасосных оросительных установок . . . . .  | 43        |
| Глава 3. | <b>Электропривод и автоматизация вентиляционных установок . . . . .</b>   | <b>48</b> |
| 3.1.     | Режимы работы и типы вентиляционных установок . . . . .   | 48        |
| 3.2.     | Выбор типа и мощности электропривода вентиляционных установок . . . . .   | 50        |
| 3.3.     | Регулирование подачи электровентиляционных установок . . . . .  | 54        |
| 3.4.     | Автоматизация вентиляционных установок . . . . .  | 58        |
| Глава 4. | <b>Электропривод и автоматизация подъемно-транспортных устройств и механизмов . . . . .</b>                         | <b>81</b> |
| 4.1.     | Выбор типа и мощности электропривода для стационарных транспортеров . . . . .                                       | 81        |
| 4.2.     | Автоматизация стационарных транспортеров . . . . .  | 87        |
| 4.3.     | Электропривод мобильных машин . . . . .   | 93        |
| 4.4.     | Электропривод крановых механизмов . . . . .   | 103       |

|                  |   |            |
|------------------|---|------------|
| <b>Глава 5.</b>  | <b>Электропривод и автоматизация кормоприготовительных машин и агрегатов . . . . .</b>      | <b>113</b> |
| 5.1.             | Электропривод измельчителей кормов . . . . .  | 113        |
| 5.2.             | Электропривод дробилок кормов . . . . .   | 121        |
| 5.3.             | Электропривод кормоприготовительных агрегатов . . . . .                                     | 129        |
| 5.4.             | Электропривод поршневых сеносоломопрессов   | 136        |
| <b>Глава 6.</b>  | <b>Электропривод машин для доения и первичной обработки молока . . . . .</b>                | <b>144</b> |
| 6.1.             | Общие сведения . . . . .  | 144        |
| 6.2.             | Электропривод ротационных вакуум-насосов доильных установок . . . . .                       | 144        |
| 6.3.             | Электропривод холодильных машин . . . . .   | 146        |
| 6.4.             | Электропривод сепараторов молока . . . . .  | 150        |
| 6.5.             | Электропривод молочных насосов . . . . .  | 156        |
| <b>Глава 7.</b>  | <b>Электропривод ручных электрифицированных машин . . . . .</b>                             | <b>157</b> |
| 7.1.             | Требования к электроприводу ручных электрифицированных машин . . . . .                      | 157        |
| 7.2.             | Двигатели и источники питания . . . . .   | 159        |
| 7.3.             | Электропривод стригальных машинок . . . . .   | 163        |
| 7.4.             | Электропривод других электрифицированных ручных машин . . . . .                             | 166        |
| <b>Глава 8.</b>  | <b>Электропривод мобильных машин и агрегатов</b>  | <b>174</b> |
| 8.1.             | Способы снабжения электрической энергией  | 174        |
| 8.2.             | Привод электролебедок . . . . .   | 176        |
| 8.3.             | Электропривод прицепных машин . . . . .   | 179        |
| 8.4.             | Электротрансмиссии . . . . .  | 183        |
| <b>Глава 9.</b>  | <b>Электропривод металло- и деревообрабатывающих станков и стенов для обкатки . . . . .</b> | <b>185</b> |
| 9.1.             | Электропривод металлообрабатывающих станков   | 185        |
| 9.2.             | Электропривод деревообрабатывающих станков  | 194        |
| 9.3.             | Электропривод лесопильных рам . . . . .   | 198        |
| 9.4.             | Электропривод стенов для обкатки и испытания автотракторных двигателей . . . . .            | 205        |
| <b>Глава 10.</b> | <b>Электропривод автоматизированных поточных линий . . . . .</b>                            | <b>217</b> |
| 10.1.            | Требования к электроприводу поточных линий  | 217        |
| 10.2.            | Электропривод поточных линий в животноводстве   | 223        |
| 10.3.            | Электропривод поточных линий на птицефермах   | 230        |
| 10.4.            | Электропривод поточных линий на зерноочистительных пунктах . . . . .                        | 235        |
| 10.5.            | Электропривод поточных линий в овощеводстве   | 247        |

|  |     |
|--|-----|
| Глава 11. Методика испытаний электроприводов сельскохозяйственных машин . . . . .  | 253 |
| 11.1. Методы экспериментального определения приведенного момента инерции рабочей машины . . . . .                        | 253 |
| 11.2. Методы экспериментального определения момента трогания рабочей машины . . . . .                                    | 257 |
| 11.3. Методы экспериментального определения механических характеристик рабочих машин . . . . .                           | 259 |
| 11.4. Методы получения и обработки нагрузочных диаграмм привода . . . . .  | 264 |
| 11.5. Методы экспериментального определения энергетических показателей привода . . . . .                                 | 279 |
| 11.6. Методы оценки аппаратуры управления и защиты электродвигателей от токов перегрузки и короткого замыкания . . . . . | 280 |
| Указатель литературы . . . . .   | 282 |
| Предметный указатель . . . . .   | 283 |

**Александр Павлович Фоменков**

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН, АГРЕГАТОВ И ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ**

Зав. редакцией А. И. Гераськина

Редактор В. М. Никитина

Художественный редактор О. М. Соркина

Технический редактор Н. В. Суржева

Корректоры М. И. Бынеев, Н. В. Карпова, Э. О. Волоткевич

**ИБ № 3619**

Сдано в набор 08.12.83. Подписано к печати 20.06.84. Т-12293. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,12+0,21 форзац. Усл. кр.-отт. 15,54. Уч.-изд. л. 15,34+0,33 форзац. Изд. № 132. Тираж 20 000 экз. Заказ № 1026. Цена 85 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Набрано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первой Образцовой типографии имени А. А. Жданова Союзполнграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054, Москва, М-51, Валовая, 28.

Отпечатано с матриц в области ордена «Знак Почета» типографии им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли. 214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.