

# **ЛЕКЦИИ ПО ЭЛЕКТРОПРИВОДУ**

**ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В РЕЖИМАХ S1,S2,S3  
НАДЕЖНОСТЬ ЭП**

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S1

По характеру изменения нагрузки на валу работа двигателей подразделяется на восемь режимов, условно обозначенных S1...S8.

*Продолжительный номинальный режим (S1)* двигателя характеризуется неизменной нагрузкой в течение времени, за которое перегрев всех его частей достигает установившегося значения. Признаком режима S1 является выполнение условия  $t > 3T_n$ , где  $t$  — время работы двигателя. Работа в режиме S1 может происходить с постоянной или переменной циклической нагрузкой. При постоянной продолжительной нагрузке дополнительных расчетов по определению нагрева двигателя не требуется.

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S1

Так как двигатель выбирается по условию  $P \leq P_{\text{ном}}$ , то выполняются условия

$$\Delta P \leq \Delta P_{\text{ном}} \quad \text{и} \quad \tau_{\text{max}} = \tau_{\text{уст}} \leq \tau_{\text{доп}}.$$

Мощность электродвигателя при постоянной длительной нагрузке определяется по формуле

$$P = P_1 / (\eta_m \eta_n),$$

где  $P_1$  — нагрузка приводимой машины, кВт (задана или рассчитана по производительности рабочего механизма);  $\eta$ ,  $\eta_n$  — КПД машины и передачи.

В соответствии с полученной мощностью  $P$  по каталогу выбирают двигатель ближайшей мощности для длительного режима работы, который проверяют по пусковому моменту  $M_{\text{пуск}}$ :

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} M_{\text{ном}} \geq (1,2 \dots 1,5) M_{\text{тр}},$$

где  $M_{\text{пуск}}$ ,  $M_{\text{ном}}$  — соответственно пусковой и номинальный моменты электродвигателя, Н·м;  $\mu_{\text{пуск}}$  — кратность пускового момента;  $M_{\text{тр}}$  — момент трогания рабочей машины.

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S1

Если при продолжительном режиме нагрузка на валу двигателя не остается постоянной, то будут изменяться также его ток, момент и потери. Проверка двигателя в этом случае выполняется методами средних потерь или эквивалентных величин.

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S2

*Кратковременный номинальный режим (S2)* характеризуется чередованием периодов неизменной нагрузки с периодами отключения двигателя. При этом за время включения  $t$  превышение температуры не достигает установившегося уровня, а за время отключения  $t_0$  все части двигателя охлаждаются до температуры окружающей среды. Стандартная продолжительность рабочего периода составляет 10, 30, 60 и 90 мин. Режим S2 соответствует условиям  $t < 3T_{\text{ном}}$ ,  $t_0 > 3T_0$ .

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S2

Если двигатель рассчитан на продолжительный режим работы, то при кратковременном режиме его следует перегружать для лучшего использования по мощности, так как к концу рабочего периода превышение температуры не достигнет установившегося значения. Возможность перегрузки определяется через коэффициенты термической и механической перегрузки. *Коэффициентом термической перегрузки*  $k_{\text{терм}}$  называется отношение потерь мощности при кратковременном режиме  $\Delta P_{\text{к}}$  к номинальным потерям  $\Delta P_{\text{ном}}$ . Для режима S2

$$k_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{\Delta P_{\text{ном}}} = \frac{1}{1 - e^{-t/T_{\text{н}}}}.$$

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S2

*Коэффициентом механической перегрузки  $k_{\text{мех}}$*  называется отношение мощности нагрузки двигателя в кратковременном режиме ( $P_{\text{к}}$ ) к номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$  в продолжительном режиме:

$$k_{\text{мех}} = P_{\text{к}} / P_{\text{ном}}.$$

Коэффициент механической перегрузки может быть выражен с помощью коэффициента термической перегрузки:

$$k_{\text{мех}} = \sqrt{k_t (\alpha + 1) - \alpha},$$

где  $\alpha = \Delta P_{\text{э}} / \Delta P_{\text{л}}$  — коэффициент потерь (для АД  $\alpha = 0,5 \dots 0,7$ ).

Допустимая мощность

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{экв}} / k_{\text{мех}},$$

где  $P_{\text{экв}}$  — эквивалентная мощность за время работы:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_i P_i^2}{\sum_{i=1}^n t_i}}.$$

## Допустимая мощность

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{экв}} / k_{\text{мех}},$$

где  $P_{\text{экв}}$  — эквивалентная мощность за время работы:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_i P_i^2}{\sum_{i=1}^n t_i}}.$$

Если  $P_{\text{доп}} \leq P_{\text{ном}}$ , то двигатель проходит по условиям нагрева. Затем его проверяют по условиям пуска и преодоления максимальной нагрузки.

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S3

Повторно-кратковременный режим S3 (рис. 1.66) характеризуется чередованием периодов неизменной нагрузки  $t$  с периодами отключения двигателя  $t_0$  (паузами), причем эти периоды недостаточно длительны для того, чтобы превышения температуры достигли установившихся значений. Режиму S3 соответствует условие  $t < 3T_{\text{ном}}$  (рис. 1.66). Он характеризуется относительной продолжительностью включения  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + 0,5 \sum_{i=1}^n t_{0i}},$$

где  $t_i, t_{0i}$  — продолжительность работы и паузы;  $i$  — номер участка нагрузочной диаграммы.

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S3

Проверка двигателя по нагреву в этом режиме проводится сопоставлением номинальных и эквивалентных тока, момента или мощности двигателя, определяемых по нагрузочным диаграммам.

Коэффициент механической перегрузки электродвигателя для режима S3  $k_{\text{мех}} = 1/\sqrt{\epsilon}$ .

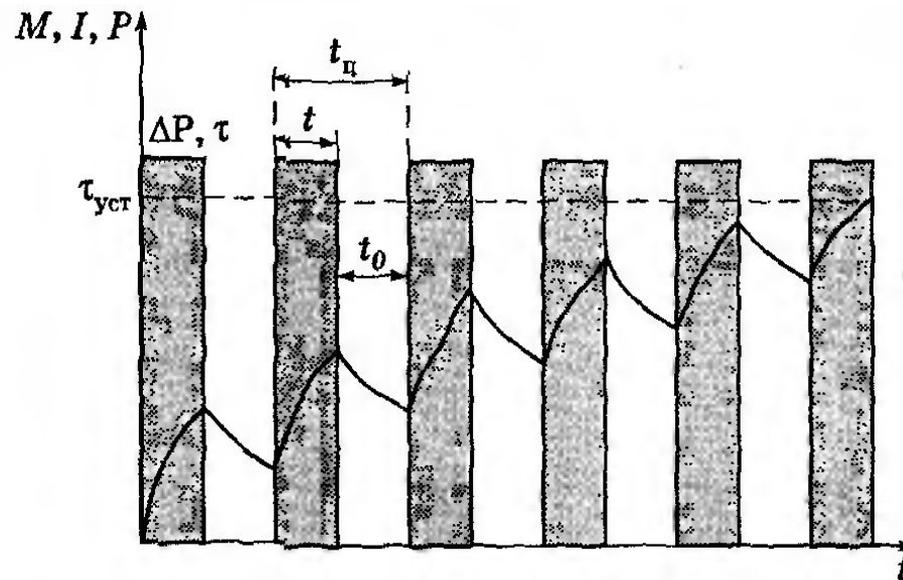


Рис. 1.66. График повторно-кратковременного режима работы электродвигателя

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S3

Для повторно-кратковременного режима работы выпускаются специальные серии двигателей. В каталогах указывается их номинальная мощность  $P_{\text{НОМ}}$  при стандартной относительной продолжительности работы  $\epsilon_{\text{НОМ}} = 0,15; 0,25; 0,40; 0,60$ . Длительность рабочего цикла  $t_{\text{д}}$  таких двигателей не должна превышать 10 мин; при большей длительности цикла двигатель считается работающим в продолжительном режиме.

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РЕЖИМА S3

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

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{экв}} \sqrt{\epsilon / \epsilon_{\text{ном}}} \quad (1.24)$$

В этом случае потребную мощность электродвигателя определяют по формуле (1.24) при условии, что  $\epsilon_{\text{ном}} = 1$ , т.е.

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{экв}} / k_{\text{мех}} = P_{\text{экв}} \sqrt{\epsilon}.$$

Если  $P_{\text{доп}} < P_{\text{ном}}$ , то электродвигатель подходит для работы с данной нагрузочной диаграммой по условиям нагрузки.

Выбранный двигатель проверяют по условиям пуска и допустимой перегрузке.

Для двигателей продолжительного режима работы, у которых теплоотдача в период пауз ухудшается, необходимо учитывать этот фактор при оценке нагрева. Расчетные формулы для этого случая приводятся в работах [6, 17].

Рассмотренные режимы S1, S2, S3 являются основными и наиболее характерными для электродвигателей. Кроме них классифицируются еще пять режимов (S4...S8), которые являются разновидностями первых трех и встречаются гораздо реже. Проверка двигателей по нагреву при их работе в этих режимах проводится методами средних потерь или эквивалентных величин.

# НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ. КОЭФФИЦИЕНТНЫЙ МЕТОД НАДЕЖНОСТИ ЭП

Электропривод относится к восстанавливаемым системам. Для них характерны следующие *показатели надежности*.

## 1. Вероятность наработки между отказами:

$R(t) >$  заданного значения, (5.1)  
где  $T_z$  – заданное время работы (в часах).

$$R(t) = e^{-\Lambda T_z} \quad (5.2)$$

где- параметр потока отказов.

$$\Lambda = \sum_i^N \lambda_i \quad (5.3)$$

## 2. Параметр потока отказов

где  $\lambda_i$  - интенсивность отказа  $i$ -того элемента.

## 3. Нарботка на отказ:

$$\bar{t}_H = \frac{1}{\Lambda} \quad (5.4)$$

## НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ. КОЭФФИЦИЕНТНЫЙ МЕТОД НАДЕЖНОСТИ ЭП

- Показатели **ремонтпригодности**:

1. Среднее время восстановления системы  $\bar{\tau}_в$  ;

2. Вероятность восстановления системы в заданное время:

$$\Theta(\bar{\tau}_з) = 1 - \left(1 + 2 \frac{\bar{\tau}_з}{\bar{\tau}_в}\right) e^{-\frac{2\bar{\tau}_з}{\bar{\tau}_в}}, \text{ где}$$

$\bar{\tau}_в$  - минимальное время (ч), заданное техническими условиями для восстановления системы, чтобы не нарушить технологический процесс; это время может быть принято равным допустимому времени простоя оборудования.

3. Коэффициент готовности

$$K_2 = \frac{\bar{t}_н}{\bar{t}_н + \bar{\tau}_в}$$

# НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ. КОЭФФИЦИЕНТНЫЙ МЕТОД НАДЕЖНОСТИ ЭП

## Методика коэффициентного метода расчета показателей надежности

Этот метод применяется на стадии проектирования электропривода.

Сущность его состоит в том, что в расчете используется не интенсивность отказа отдельных элементов, а коэффициент ненадежности  $K_i$  (чем больше этот коэффициент, тем ненадежней элемент):

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\text{баз.элемента}}} \quad \text{где}$$

$\lambda_i$  интенсивность отказа  $i$ -того элемента;

$\lambda_{\text{баз.элемента}}$  - интенсивность отказа базового элемента;  
 $\lambda_{\text{баз.элемента}} = 0,03 \times 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$

## КОЭФФИЦИЕНТНЫЙ МЕТОД НАДЕЖНОСТИ ЭП

- Важной особенностью коэффициентного метода является простой и удобный способ учета режима работы и условий окружающей среды с помощью поправочных коэффициентов.

Определение параметров надежности производится по следующим формулам:

1. Параметр потока отказов,  $\lambda$

$$\lambda = 0,03 \cdot 10^{-6} \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_i$$

2. Вероятность наработки между отказами

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot T}$$

где  $T$  – время работы в году, ч.

## КОЭФФИЦИЕНТНЫЙ МЕТОД НАДЕЖНОСТИ ЭП

3. Нарботка на отказ  $\bar{t}_H = \frac{1}{\Lambda}$

4. Среднее время восстановления системы  $\bar{\tau}_B$

5. Среднее время восстановления системы

в заданное время  $\bar{\tau}_3$

$$\Theta(\bar{\tau}_3) = 1 - \left(1 + 2 \frac{\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B}\right) e^{-\frac{2\bar{\tau}_3}{\bar{\tau}_B}}$$

6. Коэффициент готовности

$$K_2 = \frac{\bar{t}_H}{\bar{t}_H + \bar{\tau}_B}$$

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В простых системах управления электроприводом применяются разомкнутые структуры, не содержащие обратных связей между исполнительными и управляющими органами. Такие системы применяются при невысоких требованиях к показателям регулирования параметров движения исполнительных органов рабочих машин.

На рис. 2.25 приведена схема разомкнутой системы регулирования скорости электропривода с ДПТ НВ. Якорь двигателя подключен к выходу управляемого выпрямителя УВ, получающего питание от трехфазной сети переменного тока. Выходное напряжение выпрямителя  $U_{УВ}$  устанавливается с помощью

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

напряжение выпрямителя  $U_{ув}$  устанавливается с помощью задатчика  $R_3$ . Контроль частоты вращения вала электродвигателя осуществляется по измерительному прибору (ИП), получающему питание от тахогенератора (ТГ), механически связанного с валом электродвигателя. Отклонение скорости электропривода от заданной при изменении нагрузки на валу двигателя устанавливается оператором вручную с помощью задатчика.

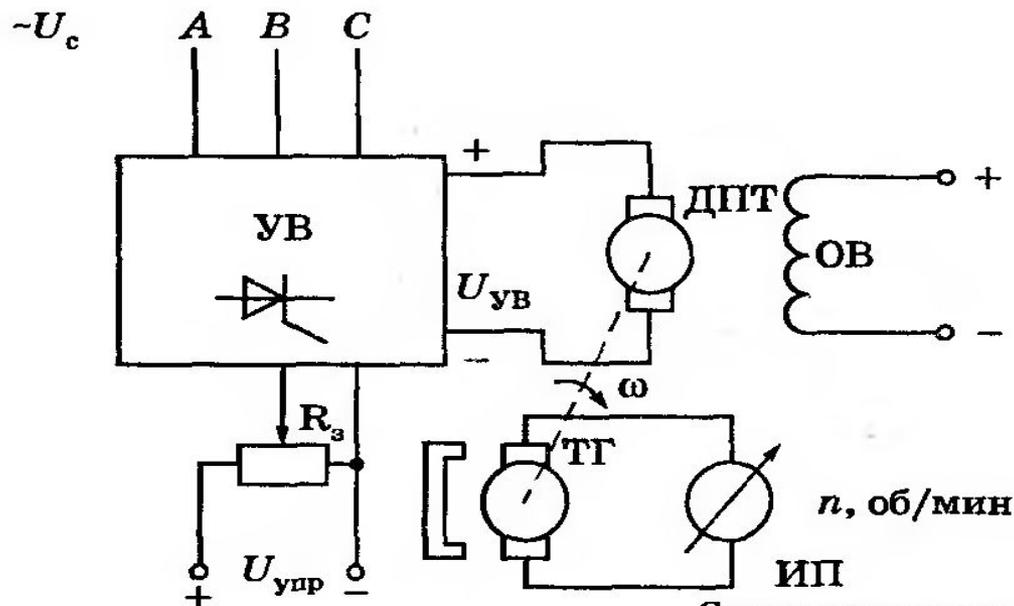


Схема разомкнутой системы регулирования скорости электропривода с ДПТ НВ

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Разомкнутые приводы, осуществляющие параметрическое регулирование, просты по исполнению, но не обеспечивают стабильность частоты вращения вала двигателя при изменении нагрузки и имеют малый диапазон регулирования скорости.

Если необходим широкий диапазон регулирования, схему электропривода усложняют введением одной или нескольких обратных связей, переходя таким образом к замкнутой системе регулирования.

Замкнутые структуры электроприводов строятся по принципу компенсации возмущения и отклонения (по принципу обратной связи). Схема замкнутой структуры электропривода с компен-

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

сацией возмущения представлена на рис. 2.26, где приняты следующие обозначения:  $U_{з.с}$  — задающий сигнал скорости;  $U_M = k_M M_c$  — сигнал, пропорциональный моменту нагрузки  $M_c$ ;  $U_\Delta$  — суммарный сигнал управления, который автоматически изменяется в нужную сторону при колебаниях момента нагрузки, обеспечивая с помощью системы управления поддержание скорости электропривода на заданном уровне.

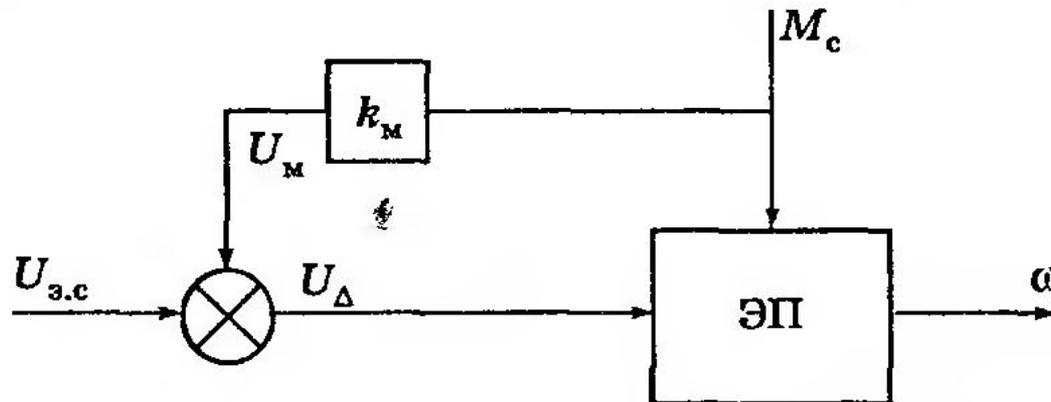


Рис. 2.26. Схема замкнутой структуры электропривода с компенсацией возмущения

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Электропривод, построенный по схеме, приведенной на рис. 2.26, эффективен, но требует применения надежных датчиков вращающего момента.

Большинство замкнутых структур управления строится по принципу отклонения. Пример автоматического регулирования скорости по отклонению с ОС по скорости показан на рис. 2.27, где приняты следующие обозначения:  $U_{OC} = k_{OC}\omega$  — сигнал обратной связи, который вычитается из  $U_{з.с}$ ;  $U_{\Delta}$  — суммарный сигнал управления, который автоматически изменяется в зависимости от рассогласования сигнала задания скорости и сигнала ОС и с помощью системы управления электроприводом устраняет отклонение скорости.

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

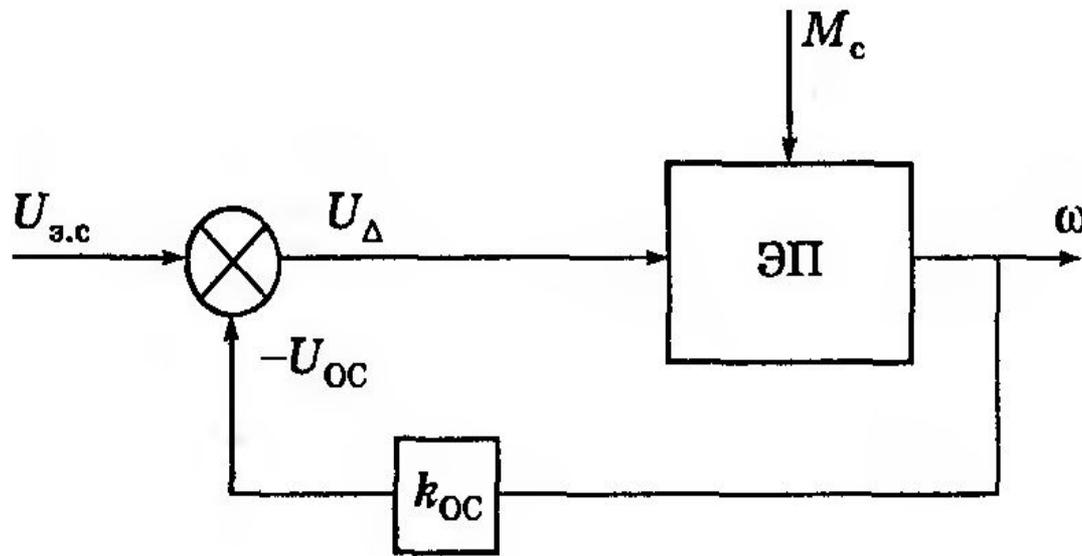


Рис. 2.27. Схема замкнутой структуры электропривода с цепью ОС по скорости

Обратные связи, применяемые в электроприводе, делятся на положительные и отрицательные, жесткие и гибкие, линейные и нелинейные.

*Положительной* называется такая ОС, сигнал которой направлен согласно (складывается) с заданием, в то время как сигнал *отрицательной ОС* направлен встречно ему.

## ПОНЯТИЕ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Жесткая ОС* действует в установившемся и переходном режимах работы электропривода. Сигнал *гибкой ОС* вырабатывается только в переходных режимах и служит для обеспечения требуемого их качества, например устойчивости движения, допустимого перерегулирования и т.д.

*Линейная ОС* характеризуется пропорциональной зависимостью между регулируемой координатой и сигналом обратной связи; при реализации нелинейной зависимости эта связь *нелинейна*.

В зависимости от вида регулирования координаты в электроприводе применяются ОС по скорости, положению, току, напряжению, моменту и т.д.

В замкнутой системе регулирования скорости ДПТ НВ (рис. 2.28) тахогенератор включен в цепь управления УВ последовательно с управляющим напряжением  $U_{упр}$ , в результате чего образуется отрицательная обратная связь по скорости. Ток, создаваемый тахогенератором, направлен встречно току управления, и в цепи управления действует разность напряжений, где  $U_{ТГ}$  — напряжение тахогенератора, пропорциональное частоте вращения вала ДПТ.

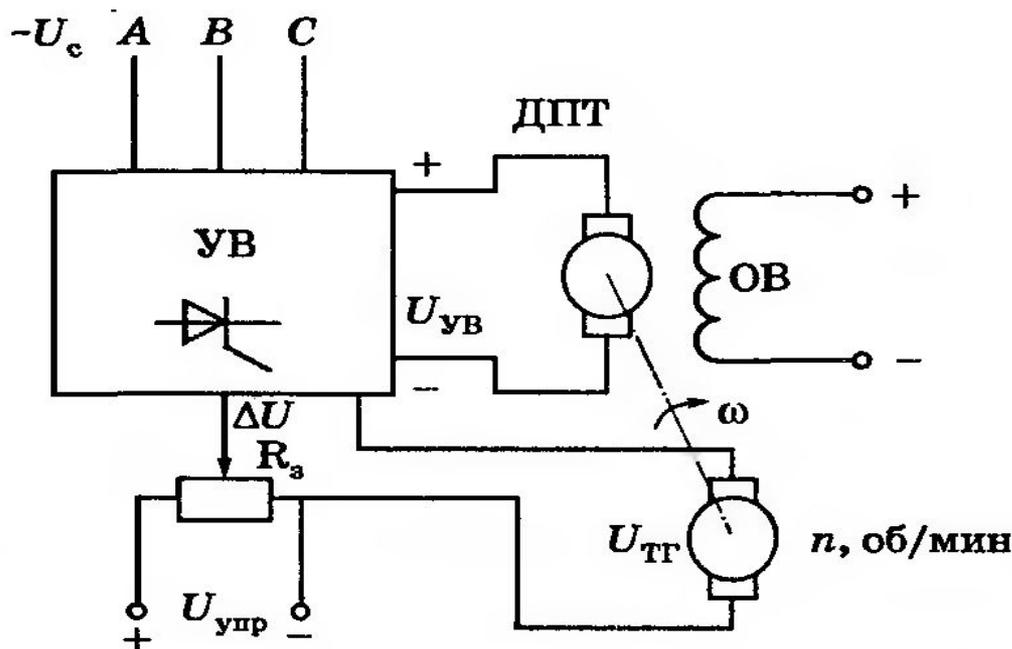


Рис. 2.28. Схема замкнутой системы регулирования скорости электропривода с ДПТ НВ

Потенциометром (задатчиком)  $R_z$  устанавливается такое значение  $\Delta U$ , при котором обеспечивается необходимая частота вращения. В дальнейшем система автоматически поддерживает с определенной погрешностью заданную частоту вращения. Так, при возрастании момента сопротивления на валу ДПТ его скорость уменьшается, что приводит к уменьшению ЭДС тахогенератора; при этом  $\Delta U$  возрастает и увеличивает выходное напряжение  $U_{ув}$  управляемого выпрямителя. Соответственно возрастают напряжение на якоре ДПТ и частота его вращения. Процесс возрастания скорости будет продолжаться до тех пор, пока  $\Delta U$  и скорость вала двигателя не достигнут заданных значений. Аналогичные процессы происходят при уменьшении нагрузки на валу.

Эффективное и качественное регулирование в системе управляемый преобразователь — двигатель обеспечивает *принцип подчиненного регулирования* (рис. 2.29). Он предусматривает регулирование каждой координаты с помощью отдельного регулятора и соответствующей ОС. Регулирование происходит в собственном контуре, и требуемые параметры регулятора выбирают

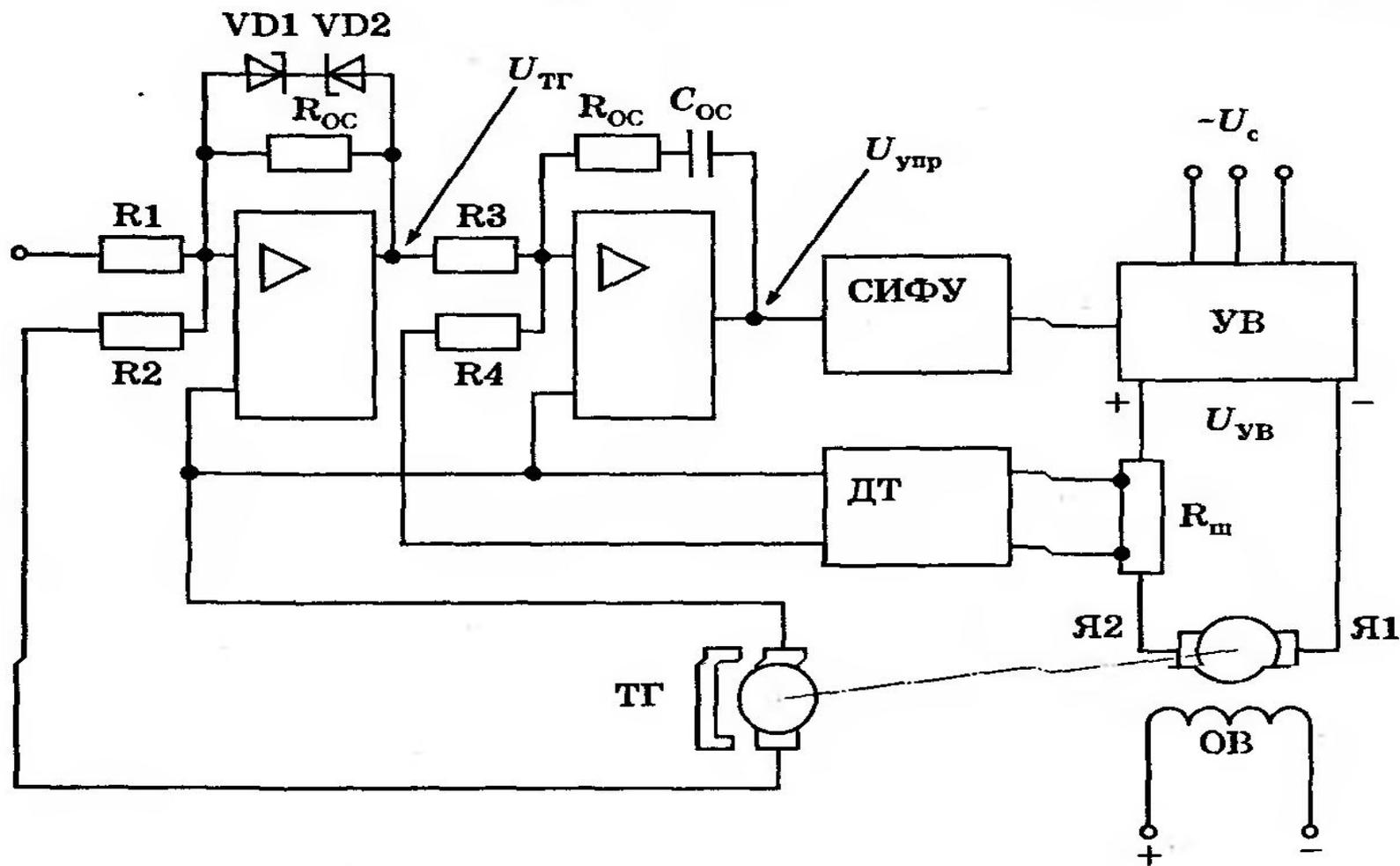


Рис. 2.29. Схема электропривода с подчиненным регулированием координат

за счет изменения схемы и коэффициента ОС, причем силу тока двигателя можно ограничивать на заданном уровне за счет ограничения управляющего сигнала, поступающего с внешнего контура. Основным условием настройки регуляторов является заданный характер переходных процессов при регулировании координат электропривода. Обычно стремятся получить переходной процесс с затухающими колебаниями. При этом следует стремиться к «техническому оптимуму», когда отклонение значения регулируемой величины находится в пределах 3,5...4,5 %, а время переходного процесса  $t_{п.п} = 4,1T_{эм}$ , где  $T_{эм}$  — электромагнитная постоянная времени тиристорного преобразователя, принимаемая равной 0,01 с.

Замкнутая схема управления АД, выполненным по схеме тиристорный регулятор напряжения — электродвигатель позволяет регулировать скорость АД с повышенным скольжением (такие двигатели применяются в вентиляционных установках сельскохозяйственного назначения).

Рассмотрим схему регулирования скорости АД с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН) (рис. 2.30). В цепь статора включены три пары встречно-параллельно соединенных

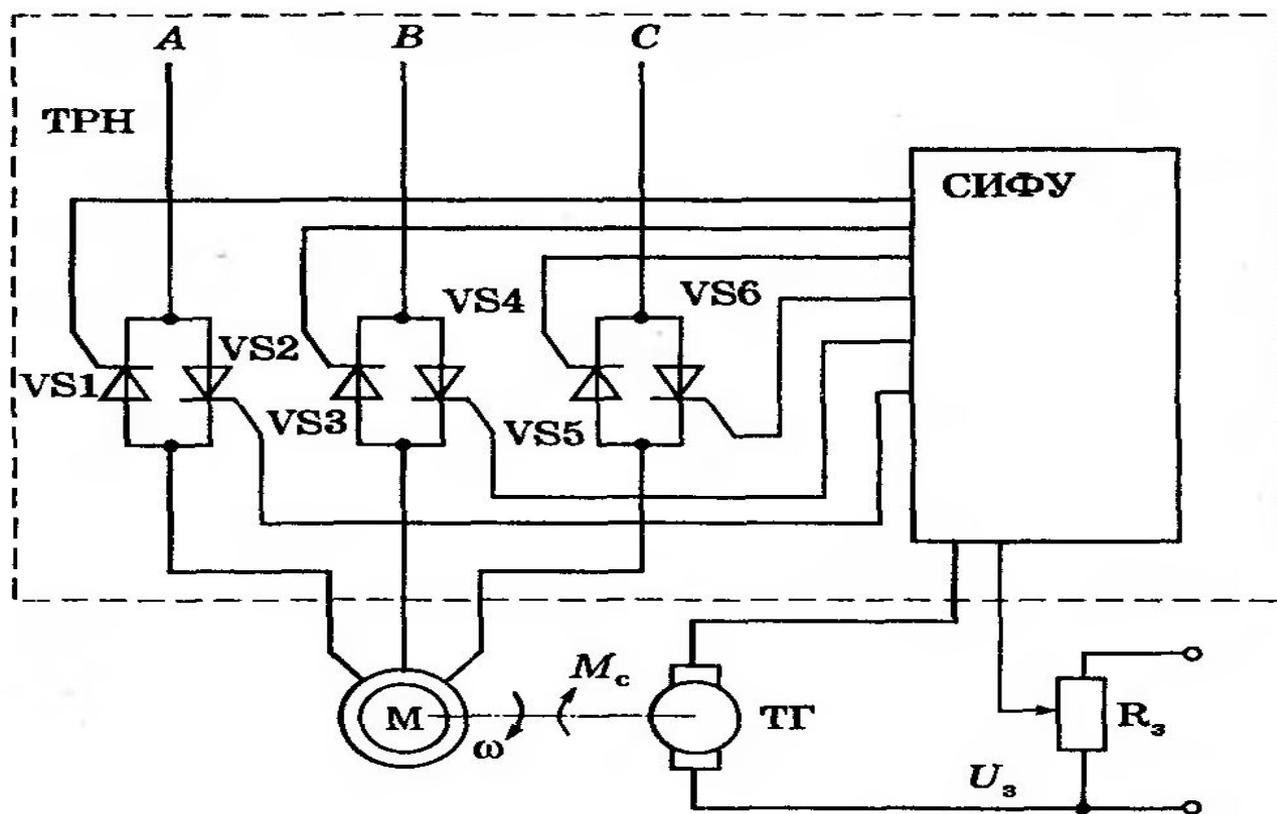


Рис. 2.30. Схема замкнутой системы регулирования скорости ТРН — АД

тиристоров VS1...VS6, образующих силовую часть ТРН. Управляющие электроды тиристоров подсоединены к выходам СИФУ, которая распределяет управляющие импульсы на все тиристоры и осуществляет их фазовый сдвиг относительно сетевого напряжения в зависимости от управляющего сигнала  $U_{упр}$ . С валом АД механически связан вал тахогенератора. ЭДС тахогенератора  $E_{ТГ}$  сравнивается с задающим напряжением  $U_3$ , снимаемым с задающего потенциометра скорости. Разность  $U_3$  и  $E_{ТГ}$ , равная напряжению управления ( $U_{упр} = U_3 - E_{ТГ}$ ), поступает на вход СИФУ. При увеличении этого сигнала угол управления тиристорами уменьшается, а напряжение, приложенное к статору, увеличивается.

При увеличении нагрузки на валу АД его скорость уменьшается. Соответственно уменьшается и ЭДС тахогенератора  $E_{ТГ}$ . Уменьшение  $E_{ТГ}$  приводит к увеличению  $U_{упр}$  и уменьшению угла управления, в результате чего подаваемое на АД напряжение увеличивается. Момент двигателя возрастает, снижение скорости будет небольшим, т.е. жесткость механической характеристики АД благодаря отрицательной ОС по скорости увеличится. При уменьшении момента нагрузки напряжение на статоре автоматически снижается, в результате чего скорость привода будет поддерживаться на заданном уровне.

Рассмотренная схема не обеспечивает энергетически и функционально эффективного управления асинхронным электроприводом и применяется для двигателей с повышенным скольжением мощностью до 1 кВт, а также в устройствах плавного пуска (УПП). Современные УПП выполняют функции защиты от коротких замыканий и перегрузок по току, реверс двигателей, имеют возможность интеграции в системы автоматического управления и т.д.

Энергетически эффективное регулирование скорости асинхронного электропривода в широком диапазоне обеспечивается при одновременном регулировании частоты и напряжения на обмотке статора (*скалярное управление*) и при использовании *векторного управления*.

Скалярное частотное управление рассмотрено в § 1.7. В системах векторного управления в процессе регулирования АД за счет быстрых воздействий формируются токи в обмотках статора и момент на валу.

Преимущества векторного управления — точная отработка скорости с компенсацией скольжения и глубокий диапазон регулирования с сохранением постоянства вращающего момента при скорости, близкой к нулевой. Оптимизация режима работы двигателя осуществляется за счет регулирования силы тока намагничивания; при этом снижаются потери в меди.

# **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

## **1.8.3. Пути экономии электроэнергии**

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

**На основании анализа причин потерь мощности в электроприводах определены следующие пути экономии электрической энергии:**

- правильная эксплуатация производственных механизмов, своевременная смазка, регулировка, заточка режущих органов и т.д.;**
- полная загрузка машин и механизмов;**
- исключение или ограничение холостого хода производственных механизмов;**
- выбор современных электродвигателей, имеющих большие КПД и  $\cos\varphi$ ;**
- использование генераторных тормозных режимов электродвигателей с отдачей энергии в сети;**
- контроль качества напряжения на предприятии;**
- повышение коэффициента мощности электроприводов и трансформаторов;**
- применение регулируемого электропривода в энергоемких производственных процессах.**

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

Повышение коэффициента мощности электроприводов и других потребителей реактивной энергии является важной технико-экономической задачей, для решения которой рекомендуется:

- увеличение загрузки АД;
- переключение недогруженных электродвигателей с треугольника на звезду;
- ограничение времени работы АД и сварочных трансформаторов на холостом ходу;
- применение технических средств компенсации реактивной мощности.

Наиболее эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение конденсаторных установок. Их использование позволяет снизить нагрузку линий электропередачи, трансформаторов, распределительных устройств; снизить расходы на оплату электроэнергии; подавить сетевые помехи, уменьшить несимметрию фаз; повысить надежность распределительных сетей. На практике коэффициент мощности после компенсации мощности находится в пределах 0,93...0,99.

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

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.

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

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.

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

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.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ МАШИН

**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 неотопливаемое, 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

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ МАШИН

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.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ МАШИН

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.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ МАШИН

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 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).

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ МАШИН

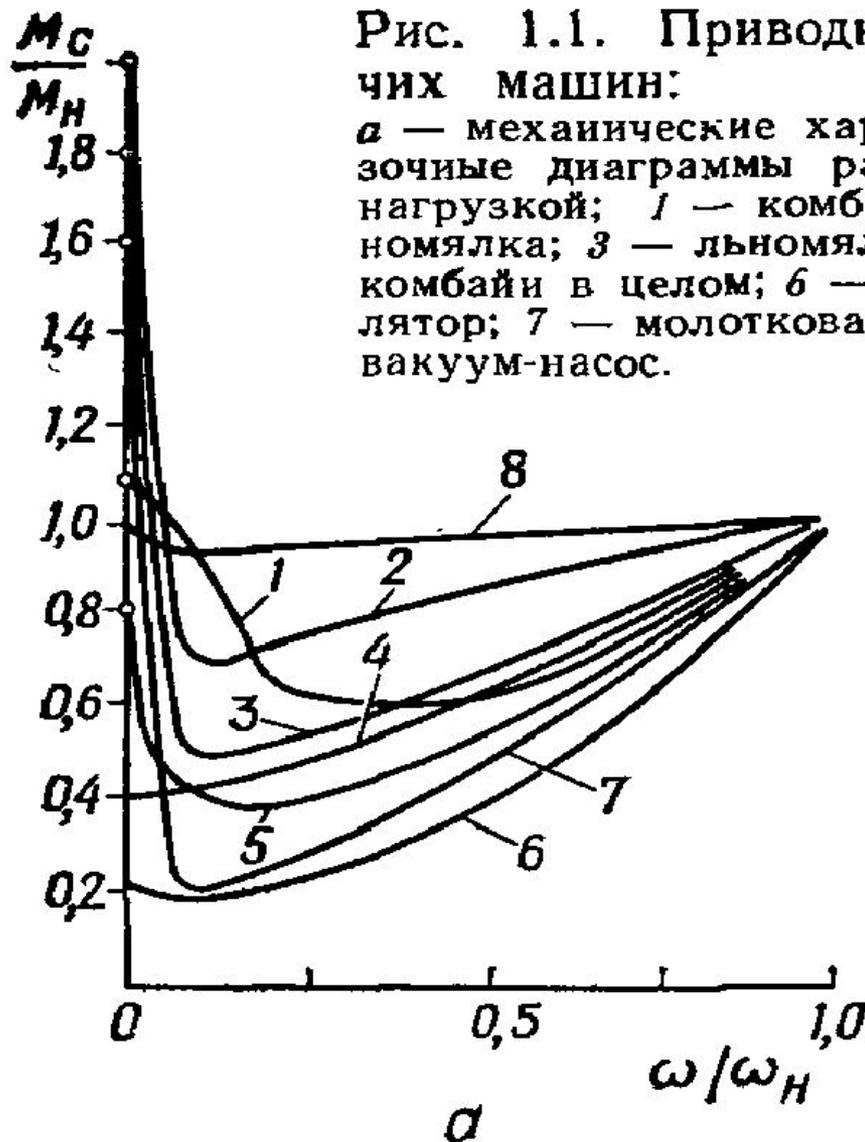
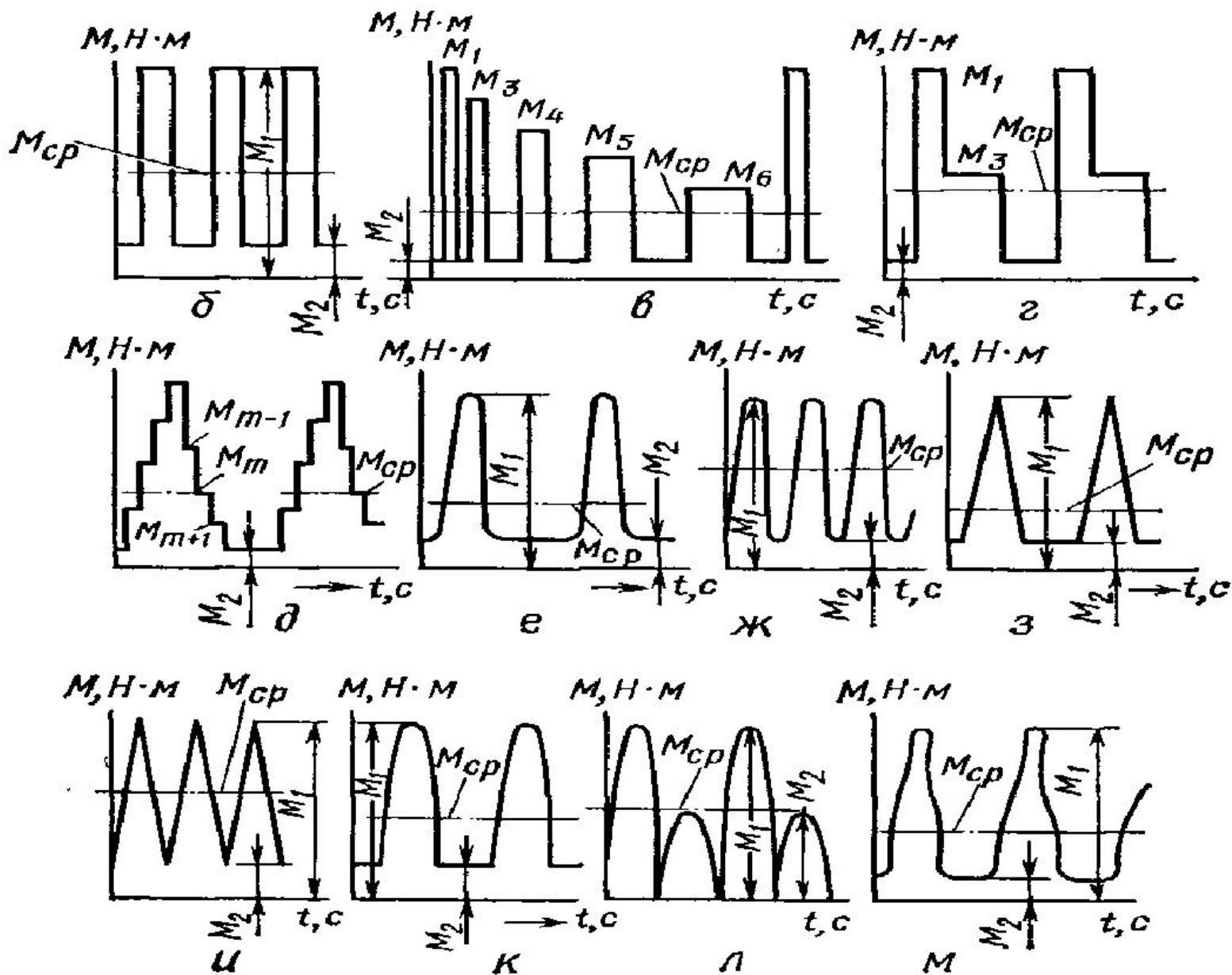


Рис. 1.1. Приводные характеристики рабочих машин:

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

# НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ РАБОЧИХ МАШИН



## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

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

# ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ МАШИН

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.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Для выбора насоса и определения его мощности по водопотреблению определяют требуемые подачу и напор. Суточное потребление воды

$$Q_{\text{сут}} = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_m n_m,$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_m$  — суточная норма расхода воды отдельными видами потребителей,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;  $n_1, n_2, \dots, n_m$  — число потребителей соответствующего вида.

Требуемая подача насоса

$$Q_{\text{треб}} = \frac{Q_{\text{сут}} k_{\text{сут}} k_{\text{ч}}}{24 \cdot 3600} \text{ (м}^3/\text{с)},$$

где  $k_{\text{сут}}$  — коэффициент суточной неравномерности расхода воды ( $k_{\text{сут}} = 1,3$ );  $k_{\text{ч}}$  — коэффициент часовой неравномерности расхода воды (для ферм с автопоением  $k_{\text{ч}} = 2,5$ ; для ферм без автопоения  $k_{\text{ч}} = 4,5$ ; для коммунального сектора  $k_{\text{ч}} = 2,0$ ).

## Напор

$$H = H_r + H_{\text{нап}} \text{ (м)},$$

где  $H_r$  — геодезический напор (высота подъема воды от нижнего до верхнего уровня), м;  $H_{\text{нап}}$  — потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах, м.

По подаче и напору в зависимости от типа насосной установки в каталоге выбирают насос. Далее определяют мощность электродвигателя насоса.

Для поднятия жидкости объемом  $V$  (м<sup>3</sup>) и плотностью  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) на высоту  $H$  (м) необходимо приложить силу  $F$  (Н), равную и противоположную по направлению весу этой жидкости  $G$  (Н). При этом полезная мощность

$$P_{\text{пол}} = FH/t \text{ (Вт)}.$$

Так как  $G = mg = V\rho g$ , то

$$P_{\text{пол}} = V\rho gH/t = Q\rho gH = Qp,$$

где  $m$  — масса воды, кг;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  — ускорение свободного падения;  $Q$  — подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $t$  — время работы насоса, с;  $p$  — давление воды, Па (столб воды высотой 1 м создает давление  $p = 9810 \text{ Па}$ ).

Потребная мощность для насоса

$$P = \frac{Q \rho g H}{1000 \eta_{\text{нас}} \eta_{\text{п}}} = \frac{Q \rho}{1000 \eta_{\text{нас}} \eta_{\text{п}}} \quad (\text{кВт}),$$

где  $\eta_{\text{нас}}$  — КПД насоса;  $\eta_{\text{п}}$  — КПД передачи.

По универсальной характеристике выбранного насоса для  $H$  определяют соответствующее значение  $Q$ .

Для центробежных насосов  $\eta_{\text{нас}} = 0,4 \dots 0,8$ , для вихревых  $\eta_{\text{нас}} = 0,25 \dots 0,5$ . Для прямой передачи  $\eta_{\text{п}} = 1$ , клиноременной  $\eta_{\text{п}} = 0,98$ , зубчатой  $\eta_{\text{п}} = 0,97$ , плоскоременной  $\eta_{\text{п}} = 0,95$ .

В реальных условиях работы насосов могут происходить утечки воды из напорного трубопровода (вследствие неплотностей соединений, разрывов трубопровода и пр.). В этих условиях в соответствии с характеристикой насоса  $Q - H$  увеличивается мощность. Поэтому электродвигатели для насосов выбирают с некоторым

запасом мощности. Расчетная мощность, по которой надо выбрать электродвигатель для насоса,

$$P_{\text{расч}} = k_{\text{зап}} P,$$

где  $k_{\text{зап}}$  — коэффициент запаса, зависящий от  $P$ :

$P$ , кВт	$\leq 1$	2	3	4	5	8	$\geq 10$
$k_{\text{зап}}$	2	1,7...1,5	1,33	1,25	1,2	1,12	1,1...1,05

С учетом условий окружающей среды, особенностей монтажа, потребной мощности и частоты вращения насоса по справочным таблицам выбирают электродвигатель соответствующего типа. В этом случае важно соответствие угловых скоростей насоса и электродвигателя, так как подача, напор, момент и мощность находятся в следующей зависимости от угловой скорости:  $Q \equiv \omega$ ,  $H \equiv \omega^2$ ,  $M \equiv \omega^2$ ,  $P \equiv \omega^3$ .

В сельском хозяйстве применяют центробежные и вихревые насосы. Наиболее распространены центробежные скважинные агрегаты, которые используются для водоснабжения объектов, повышения напора в водопроводной сети, орошения, водопонижения и т.п.

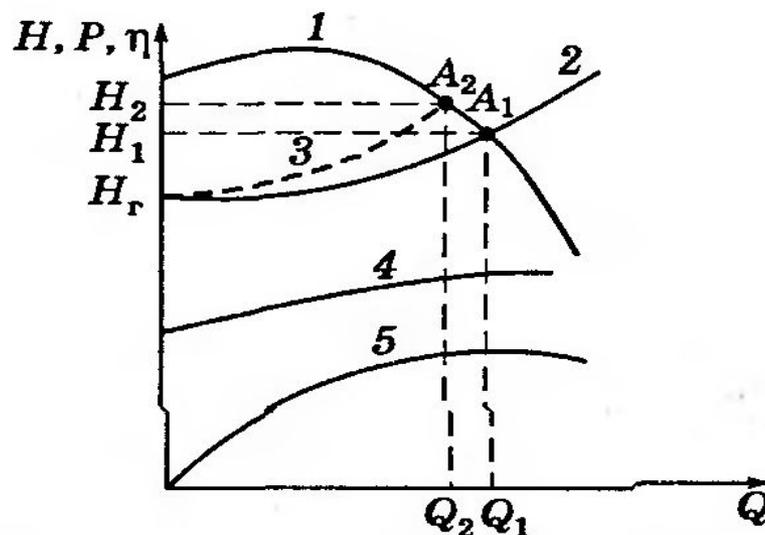
В Республике Беларусь ОАО «Завод Промбурвод» производятся электронасосные центробежные скважинные агрегаты ЭЦВ-4, ЭЦВ-5, ЭЦВ-6, ЭЦВ-8, ЭЦВ-10 с электродвигателями ПЭДВ, ДАПВ. Эти агрегаты предназначены для работы в продолжительном режиме от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 В.

Агрегаты состоят из насоса и погружного электродвигателя, которые соединены муфтой (рис. 3.1). Рабочие ступени погружных насосов изготавливаются из полимерных материалов, имеющих высокую износостойкость. Подшипники скольжения выполняются из комбинации материалов (резина — нержавеющая сталь или резина — твердый хром). Агрегаты оснащены поворотным обратным клапаном тарельчатого типа, который предотвращает обратный поток воды при останове электродвигателя.

# РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

## Регулирование производительности насосов

При правильном выборе насоса рабочая точка на совмещенном графике водопроводной системы будет расположена в зоне максимального КПД. На рис. 3.3 приведены характеристики насоса и водопроводной сети.



*Рис. 3.3.* Характеристики насоса и водопроводной сети:

1 — характеристика насоса  $Q-H$ ; 2 — характеристика трубопроводной сети при полностью открытой задвижке; 3 — при частично закрытой задвижке; 4 — зависимость мощности  $P$  насоса от подачи; 5 — кривая КПД насоса

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Кривая 2 представляет собой характеристику трубопроводной сети. Точка ее пересечения с осью ординат соответствует напору  $H_r$ , необходимому для подъема воды на геодезический уровень (расстояние по вертикали от динамического уровня погружного насоса до соединения напорного трубопровода с распределительным).

Зависимость 5 показывает изменение потребляемой мощности насосного агрегата при увеличении подачи.

В связи с тем что рабочая точка системы определяется характеристиками как насоса, так и сети, регулировать подачу можно за счет изменения параметров сети или насоса. Существуют также комбинированные способы регулирования, при которых изменения характеристик сети и насоса происходят взаимосвязанно и одновременно.

Рассмотрим основные способы регулирования подачи (и напора) насосного агрегата.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

*Байпасирование* осуществляется перепуском перекачиваемой жидкости из напорного трубопровода во всасывающий по спиральному трубопроводу с задвижкой, манипулирование которой позволяет менять подачу насоса. При этом режим работы и параметры насоса не изменяются. Недостатки данного способа — потеря энергии на перепуск по байпасу «оборотной» жидкости и сложности при обслуживании насосной установки.

*Регулирование основной (запорной) задвижки* осуществляется на выходе из насоса. При полностью закрытой задвижке может осуществляться пуск насосной установки в работу, причем задвижка может использоваться как регулирующая для изменения подачи и напора в процессе эксплуатации. При закрытии задвижки ухудшается гидравлический рабочий процесс самого насоса, в нем появляются (при малых расходах) обратные токи жидкости, вибрация и шум, происходит нагрев всего агрегата.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Естественно, все эти отклонения, вызванные дросселированием выходной задвижки, влекут за собой потери энергии. Как видно из рис. 3.3, установка требуемой подачи  $Q$  насоса производится путем изменения характеристик трубопровода при неизменной характеристике насоса. Рабочая точка  $A_1$  с параметрами  $Q_1$  и  $H_1$  смещается в положение  $A_2$  с параметрами  $Q_2$  и  $H_2$ . В результате между насосом и задвижкой создается избыточный напор  $H_2 - H_1$ , на преодоление которого расходуется энергия

$$W = Q_1(H_2 - H_1).$$

Таким образом, способ регулирования подачи с помощью задвижки относительно прост, но неэкономичен, так как часть энергии, потребляемой насосом, гасится в задвижке сразу же на выходе жидкой среды из насоса. Поэтому его рекомендуется использовать для регулирования подачи насосов малой и средней мощности.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Третьим способом регулирования параметрами насосного агрегата является *изменение частоты вращения насоса*, что достигается путем применения регулируемого электропривода. Этот способ удорожает и усложняет обслуживание установки, но позволяет при изменении частоты вращения рабочего колеса насоса сохранять подобие насосных характеристик и снижать потребление электрической энергии.

Достижение потребляемого расхода регулированием частоты вращения двигателя приводит к изменению характеристик насоса при неизменной характеристике трубопровода. Рабочая точка  $A_1$  смещается в положение  $A_2$  по характеристике сети, обеспечивая требуемый расход  $Q_2$  при напоре  $H_2$ . Частота вращения рабочего колеса в точке  $A_1$  больше, чем в точке  $A_2$  (рис. 3.4).

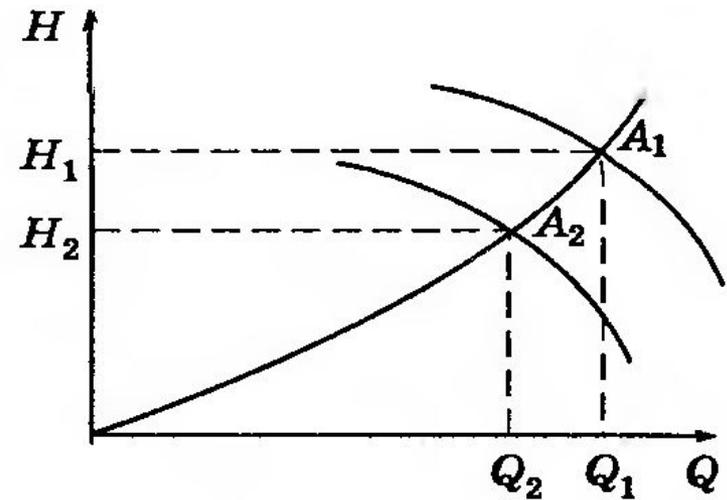
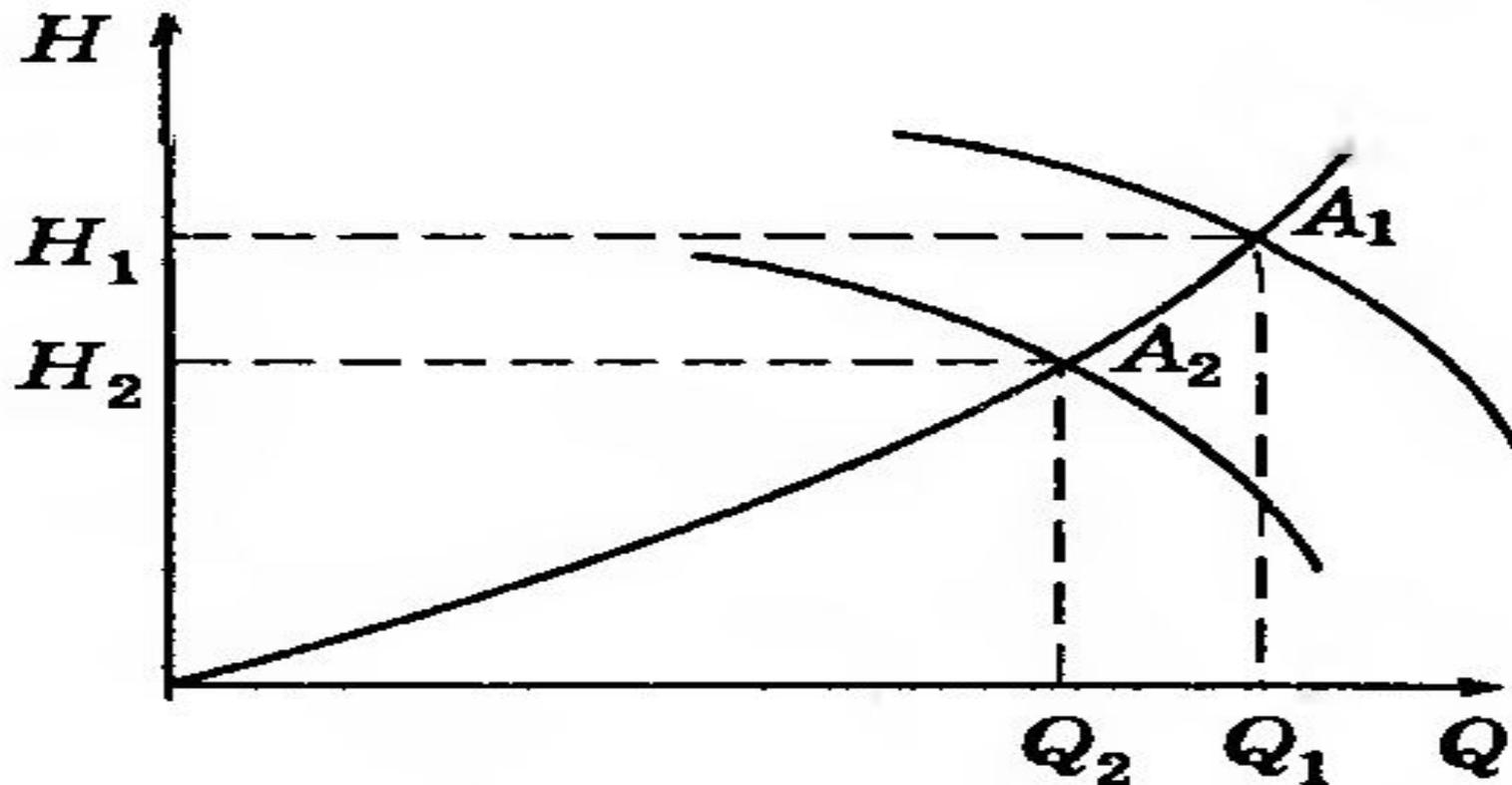


Рис. 3.4. Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК



**Рис. 3.4. Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения**

Сравнивая способ регулирования подачи насоса изменением частоты вращения рабочего колеса со способом дросселирования, можно сделать вывод, что последний более экономичен. При этом отсутствуют потери на дросселирование потока жидкости и экономится электрическая энергия. Однако изменение частоты вращения рабочего колеса насоса связано с определенными техническими трудностями.

Так как для привода погружных насосов применяются в основном АД, то плавно изменять скорость вращения рабочего колеса можно следующими способами:

- изменением подводимого напряжения с помощью автотрансформаторов, дополнительных резисторов, тиристорных устройств (небольшой диапазон регулирования, низкая экономичность, низкая стабильность характеристик, регулирование скорости только в сторону снижения);
- изменением частоты питающего напряжения (большой диапазон регулирования, высокая экономичность, сохраняется стабильность характеристик, регулирование скорости возможно как вниз, так и вверх от номинальной).

При регулировании частоты вращения рабочего колеса центробежного насоса выполняются следующие соотношения:

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2; \quad (3.1)$$

$$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2; \quad (3.2)$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3, \quad (3.3)$$

где  $n_2$  — новая частота вращения рабочего колеса;  $P_1, P_2$  — мощности насоса.

Из анализа соотношений (3.1)–(3.3) следует, что зависимость напора  $H$  от подачи  $Q$  имеет параболический характер:

$$H = kQ^2, \quad (3.4)$$

где  $k = H_1/Q_1^2 = H_2/Q_2^2 = \dots = H_n/Q_n^2 = \text{const.}$

Из выражения (3.4) следует, что переходная кривая при пересчете параметров  $Q$  и  $H$  на другую частоту вращения является квадратичной параболой с вершиной в начале координат. Эта парабола одновременно является кривой одинаковых значений КПД. Таким образом, при непрерывном изменении частоты вращения напорная характеристика  $Q-H$  будет перемещаться практически параллельно самой себе (при увеличении частоты вращения — вверх, а при уменьшении — вниз). Характеристика  $Q-\eta$  будет перемещаться при уменьшении частоты вращения влево, а при увеличении — вправо.

Если насос преодолевает только динамический напор, то потребляемая им при регулировании частоты вращения мощность пропорциональна кубу расхода:  $P = kQ^3$ .

Рассмотренные зависимости применяют в расчетах при регулировании подачи насоса изменением частоты вращения рабочего колеса.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Механическая характеристика вентилятора может быть определена уравнением

$$M_{\text{с.вент}} = M_0 + (M_{\text{с.ном}} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2,$$

где  $M_{\text{с.вент}}$  — момент сопротивления вентилятора при угловой скорости  $\omega$ ;  $M_0$  — начальный момент сопротивления;  $M_{\text{с.ном}}$  — момент сопротивления вентилятора при номинальной угловой скорости  $\omega_{\text{ном}}$ .

Мощность вентилятора

$$P = k_{\text{зап}} \frac{Lp}{\eta_{\text{вент}} \eta_{\text{п}}},$$

где  $k_{\text{зап}}$  — коэффициент запаса, зависящий от мощности;  $L$  — воздухообмен,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $p$  — давление, Па;  $\eta_{\text{вент}}$ ,  $\eta_{\text{п}}$  — КПД вентилятора и передачи.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Коэффициент запаса мощности учитывает возможную перегрузку электродвигателя. Для осевых вентиляторов  $k_{\text{зап}} = 1,1$ ,

для центробежных вентиляторов при изменении мощности от 0,5 до 3 кВт  $k_{\text{зап}}$  уменьшается от 1,5 до 1,1.

Воздухообмен определяют по формуле

$$L = mL_{\text{вент}},$$

где  $m$  — количество животных;  $L_{\text{вент}}$  — вентиляционная норма:

$$L_{\text{вент}} = L_{\text{ж}} / (l_{\text{доп}} - l_{\text{вр}}),$$

$L_{\text{ж}}$  — содержание вредных примесей, выделяемых животными,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $l_{\text{доп}}$  — допустимое количество вредных примесей (в относительных единицах);  $l_{\text{вр}}$  — содержание вредных примесей в наружном воздухе.

## ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

При расчете вентиляционной нормы определяют содержание углекислого газа, аммиака, воды, избыток тепла в помещении. Окончательный расчет выполняется по наибольшей норме.

На основании справочных данных выбирают подходящий вентилятор; по его характеристике  $Q - p$  для расчетного значения  $p$  находят фактическую подачу  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Мощность электродвигателя вентилятора определяют по формуле

$$P = \frac{Qp}{1000 \eta_{\text{вент}} \eta_{\text{п}}},$$

где  $Q$  — подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

# **ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ**

При выборе электродвигателя следует помнить, что мощность вентилятора  $P_v$  пропорциональна кубу угловой скорости, момент и давление — квадрату угловой скорости, а подача — угловой скорости.

Таким образом, частота вращения электродвигателя и частота вращения вентилятора должны совпадать, поскольку незначительное превышение угловой скорости приводит к резкому увеличению мощности и перегрузке электродвигателя.

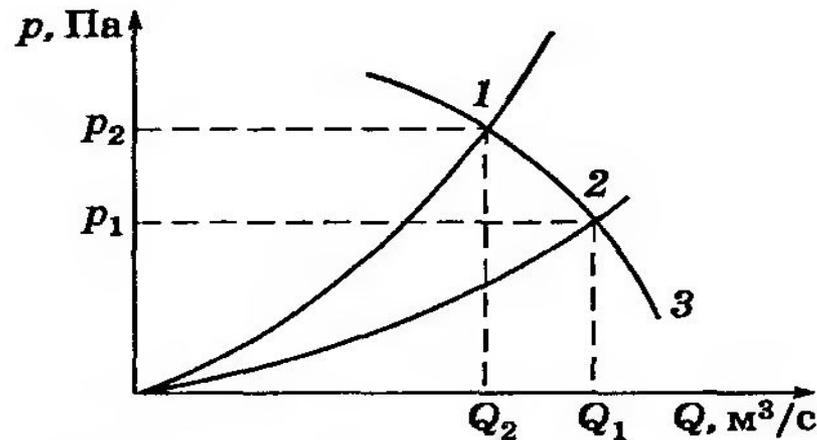
## **3.2.3. Регулирование подачи вентиляторов**

В зависимости от внешних и внутренних условий, от сезона приходится в широких пределах изменять производительность вентиляционных установок.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Подачу вентилятора можно регулировать изменением площади сечения воздуховода (дросселированием); изменением количества одновременно включенных вентиляторов; изменением частоты вращения электродвигателя вентилятора.

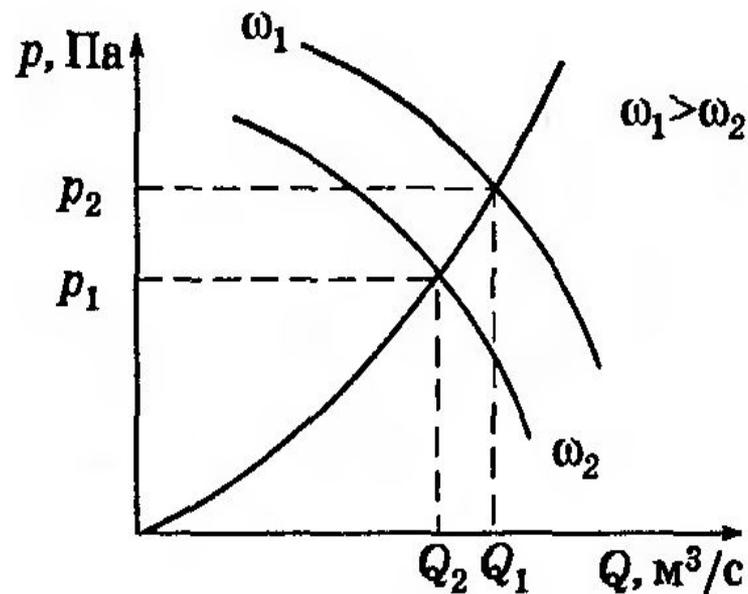
При дросселировании подачу вентилятора можно изменять только в сторону уменьшения (рис. 3.11).



*Рис. 3.11.* Изменение подачи вентилятора при изменении площади сечения воздуховода:

*1* — характеристика сети с уменьшенным сечением воздуховода; *2* — характеристика вентиляторной сети с полностью открытой задвижкой; *3* — характеристика вентилятора

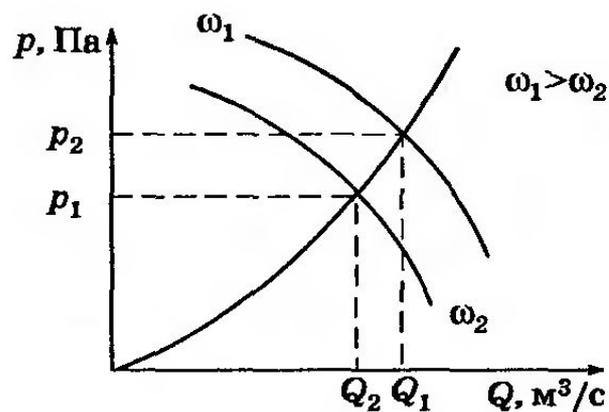
При необходимости увеличить подачу в систему включают дополнительные вентиляторы. В этом случае возможно ступенчатое регулирование подачи. В более совершенных системах вентиляции регулирование воздухообмена производят плавным регулированием частоты вращения вентиляторов (рис. 3.12).



*Рис. 3.12.* Регулирование подачи вентилятора изменением частоты вращения

Как видно из рис. 3.11 и 3.12, при регулировании подачи вентилятора изменением частоты вращения уменьшения подачи уменьшается давление, как и в случае регулирования производительности насосов, поэтому преимущество использования в вентиляционных установках регулируемого электропривода несомненно.

Изменение угловой скорости АД, используемого для привода вентилятора, возможно путем изменения напряжения на обмотке статора и изменения частоты; применяются также многоскоростные АД.



Изменение угловой скорости АД, используемого для привода вентилятора, возможно путем изменения напряжения на обмотке статора и изменения частоты; применяются также многоскоростные АД.

Изменение угловой скорости двигателя с вентиляторным моментом сопротивления на валу путем регулирования напряжения питания основано на квадратичной зависимости момента  $M$  двигателя от напряжения  $U$  на обмотке статора. В области скольжений, меньших критического, момент пропорционален квадрату напряжения и скольжению:  $M \equiv U^2 s$ . Следовательно, при постоянном моменте  $s \equiv 1/U_1^2$ . Поэтому, снижая напряжение  $U_1$  питания электродвигателя, можно увеличивать скольжение (уменьшать угловую скорость  $\omega$ ) от нуля до критического. Для расширения диапазона регулирования скорости применяют электродвигатели с повышенным скольжением.

В вентиляционных установках применяют асинхронные двигатели серий Д1006L6П, 4АП80-06У2, которые имеют повышенное скольжение (10...17 % против 5...9 % в нормальных короткозамкнутых электродвигателях). Их критическое скольжение достигает 30...70 %. Такое большое критическое скольжение позволяет расширять диапазон регулирования скорости вентиляторов, но требует завышения мощности электродвигателя в 1,5–2 раза из-за увеличения потерь скольжения  $\Delta P$ :

$$\Delta P = M\omega_0 s,$$

где  $M$  — электромагнитный момент (примерно равный моменту на валу электродвигателя), Н · м;  $\omega_0$  — синхронная скорость вращающегося магнитного поля, рад/с;  $s$  — скольжение.

В настоящее время для управления электродвигателями вытяжных вентиляторов применяют частотно-регулируемый привод, что позволяет повысить качество регулирования и КПД установок за счет использования асинхронных короткозамкнутых электродвигателей нормального исполнения взамен электродвигателей с повышенным скольжением.

# ЭЛЕКТРОПРИВОД КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

- ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Основные машины, используемые в кормоцехах и на комбикормовых заводах, — измельчители, дробилки, смесители и дозаторы.

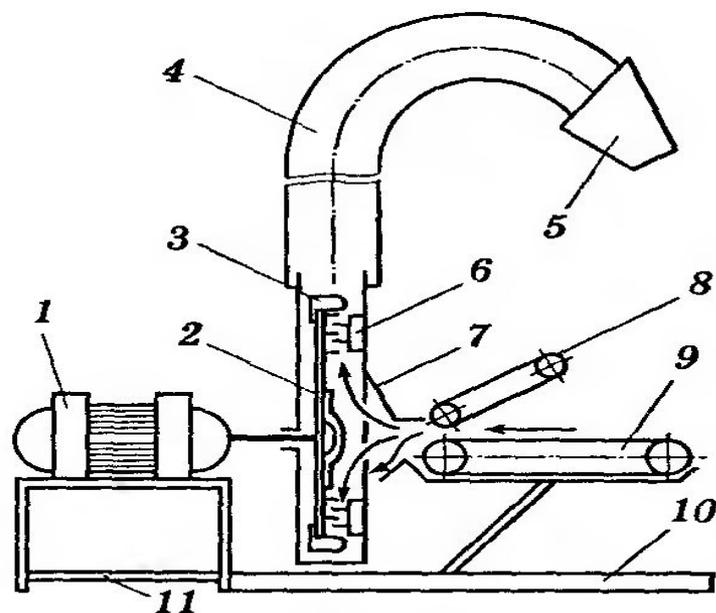
Кормоприготовительные машины комплектуются электроприводом и аппаратурой управления.

Мощность электродвигателя кормоприготовительной машины можно определить по следующей приближенной формуле:

$$P = \frac{k_x a_{из} Q}{\eta_{п}},$$

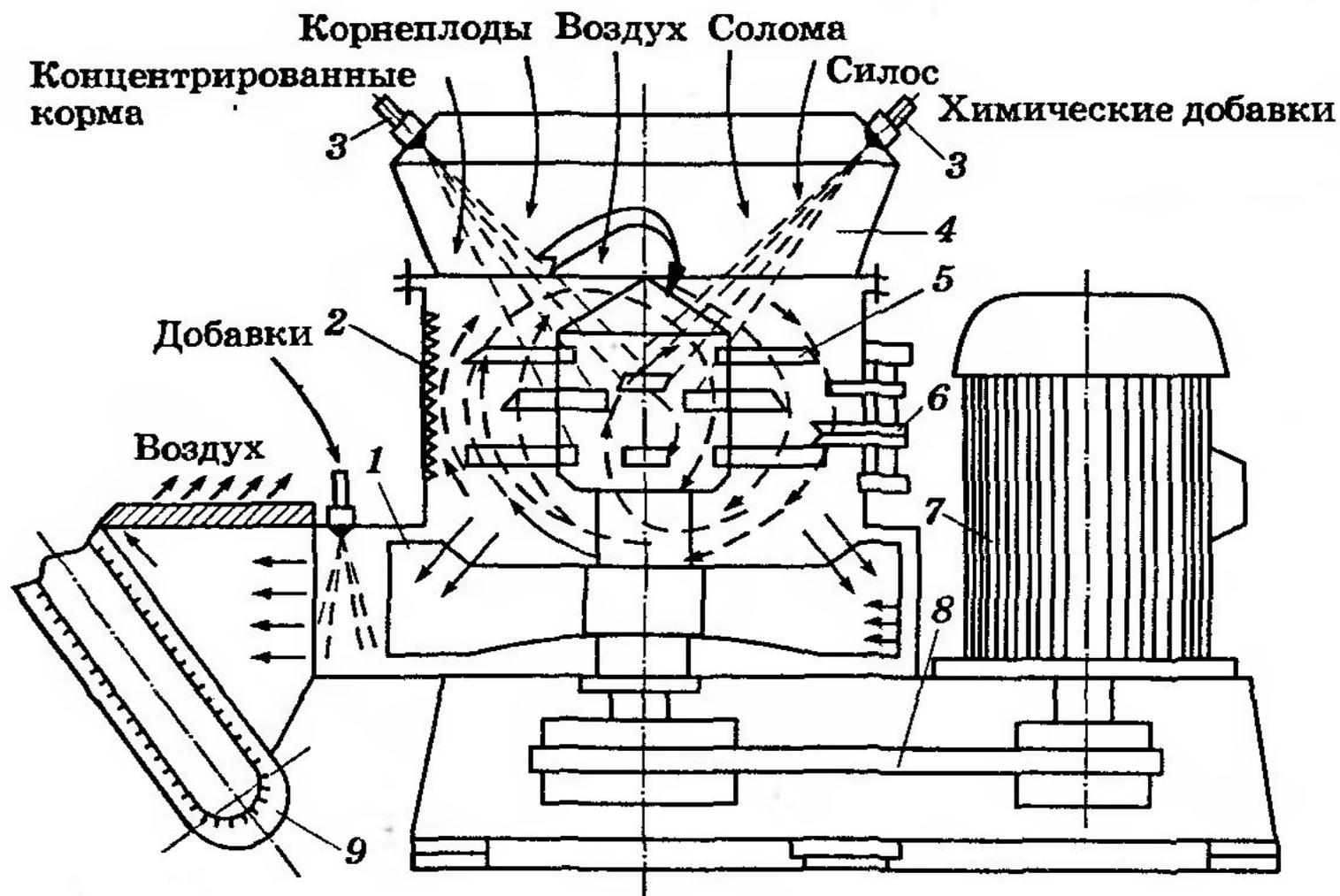
где  $k_x$  — коэффициент, учитывающий потери холостого хода ( $k_x = 1,15 \dots 1,20$ );  $a_{из}$  — энергия, затрачиваемая на измельчение (резание, дробление) тонны продукта, кВт · ч/т;  $Q$  — производительность машины, т/ч.

Мощность кормоприготовительных машин зависит от степени измельчения, механических свойств перерабатываемого материала, остроты ножей и производительности. Ввиду тяжелых условий пуска и вероятности заклинивания вращающихся частей кормоприготовительные машины пускают вхолостую. Дробильные машины обладают большим моментом инерции, из-за чего пуск имеет продолжительность до 2 мин.



*Рис. 3.14. Технологическая схема ИГК-30Б:*

*1 — электродвигатель; 2 — ротор; 3 — лопатка; 4 — дефлектор; 5 — козырек; 6 — дека; 7 — приемная камера; 8 — наклонный транспортер; 9 — транспортер; 10 — рама; 11 — рама электродвигателя*



*Рис 3.15. Технологическая схема ИСК-3:*

1 — швырялка; 2 — дека; 3 — форсунки для подачи добавок; 4 — приемная камера; 5 — ножи; 6 — противорезы; 7 — двигатель; 8 — клиновой ремень; 9 — выгрузной транспортер

Технологическая схема измельчителя кормов «Волгарь-5» приведена на рис. 3.16. Он используется для измельчения грубых кормов и корнеклубнеплодов. Измельчитель состоит из рамы, питающих транспортеров, измельчающего устройства и привода. Рабочий процесс измельчения начинается с подачи корма транспортерами 4 и 5 в камеру ножевого барабана 3, откуда частично измельченная масса поступает в измельчающий барабан 1. Производительность машины — до 5 т/ч, мощность электродвигателя — 22 кВт.

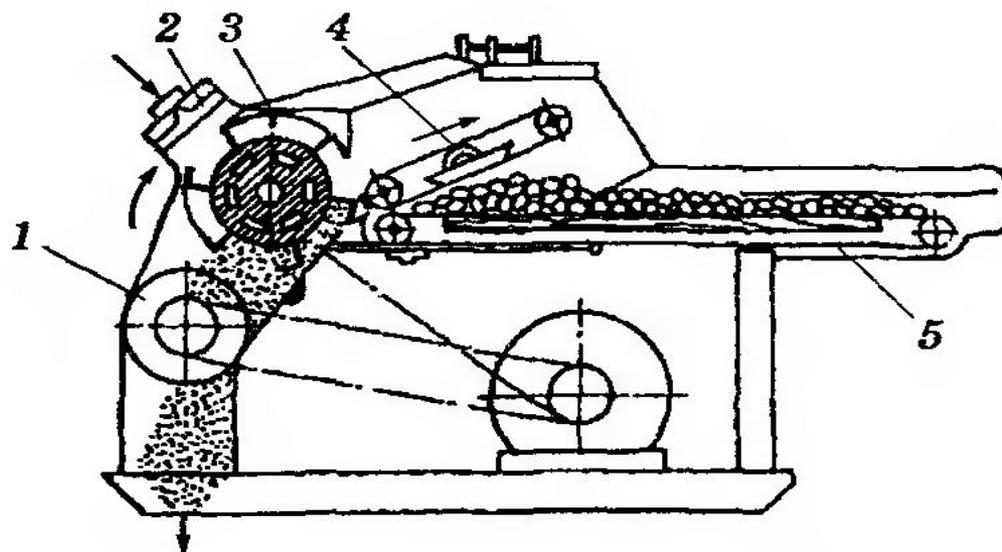


Рис. 3.16. Технологическая схема измельчителя кормов «Волгарь-5»: 1 — измельчающий барабан; 2 — затачивающее устройство; 3 — ножевой барабан; 4 — нажимной транспортер; 5 — подающий транспортер

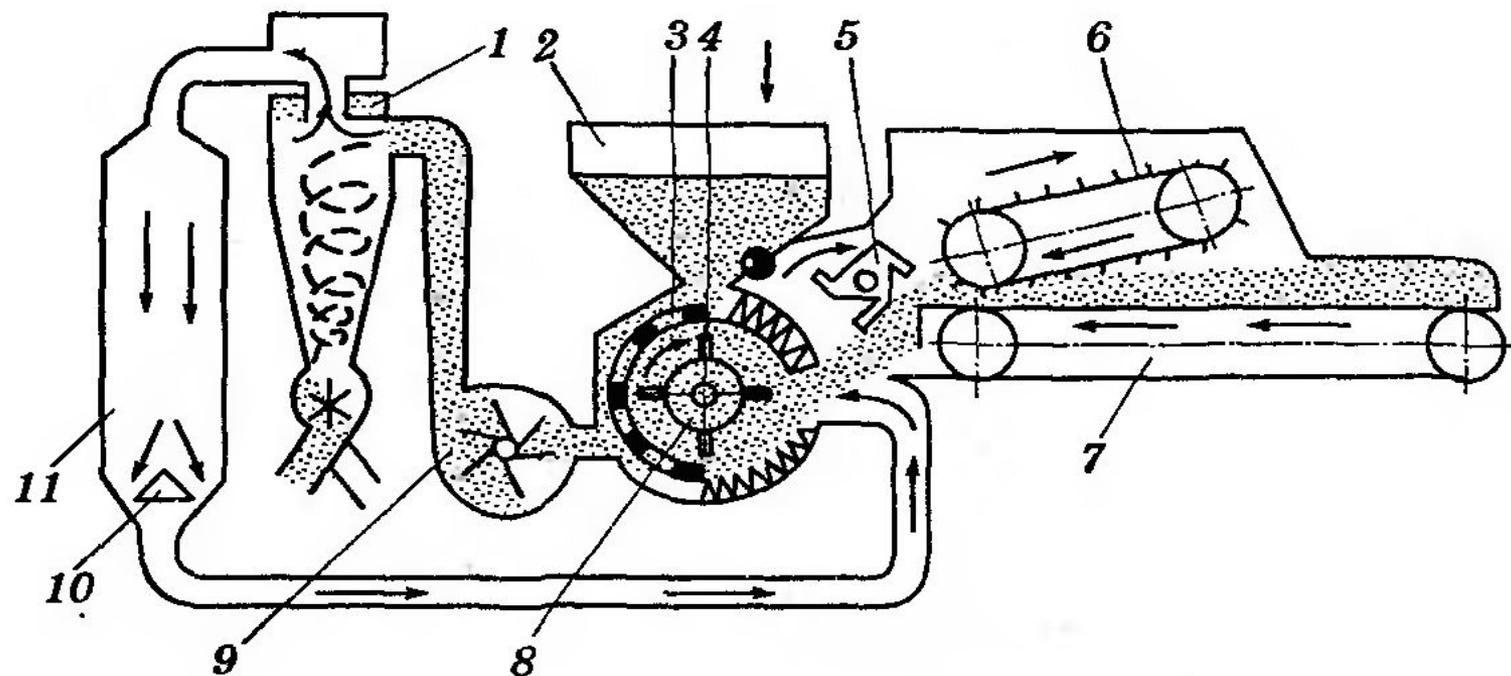
Технические характеристики некоторых машин для переработки корнеклубнеплодов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Основные технические характеристики машин  
для переработки корнеклубнеплодов**

Наименование	Марка	Назначение	Производительность, т/ч	Мощность электродвигателя, кВт
Мойка-корнерезка	ИКС-5м	Мойка и измельчение	5	9
Измельчитель кормов	«Волгарь-5»	Измельчение корнеклубнеплодов и зеленых кормов	5...10	22,0
Измельчитель-камнеуловитель	ИКМ-5	Мойка, измельчение, очистка от камней	7	10,5
Корнерезка	КПИ-4	Измельчение корнеклубнеплодов	4	5,5

Измельчение концентрированных кормов производят дробилками КДУ-2,0, КДМ-2, ДКУ-1, ДБ-5 и др. Комбикормовые заводы большой мощности оборудуются дробилками типа А1-ДДР-5 и А1-ДДР-10 производительностью 5...10 т/ч. Технологическая схема дробилки КДУ-2,0 приведена на рис. 3.17.

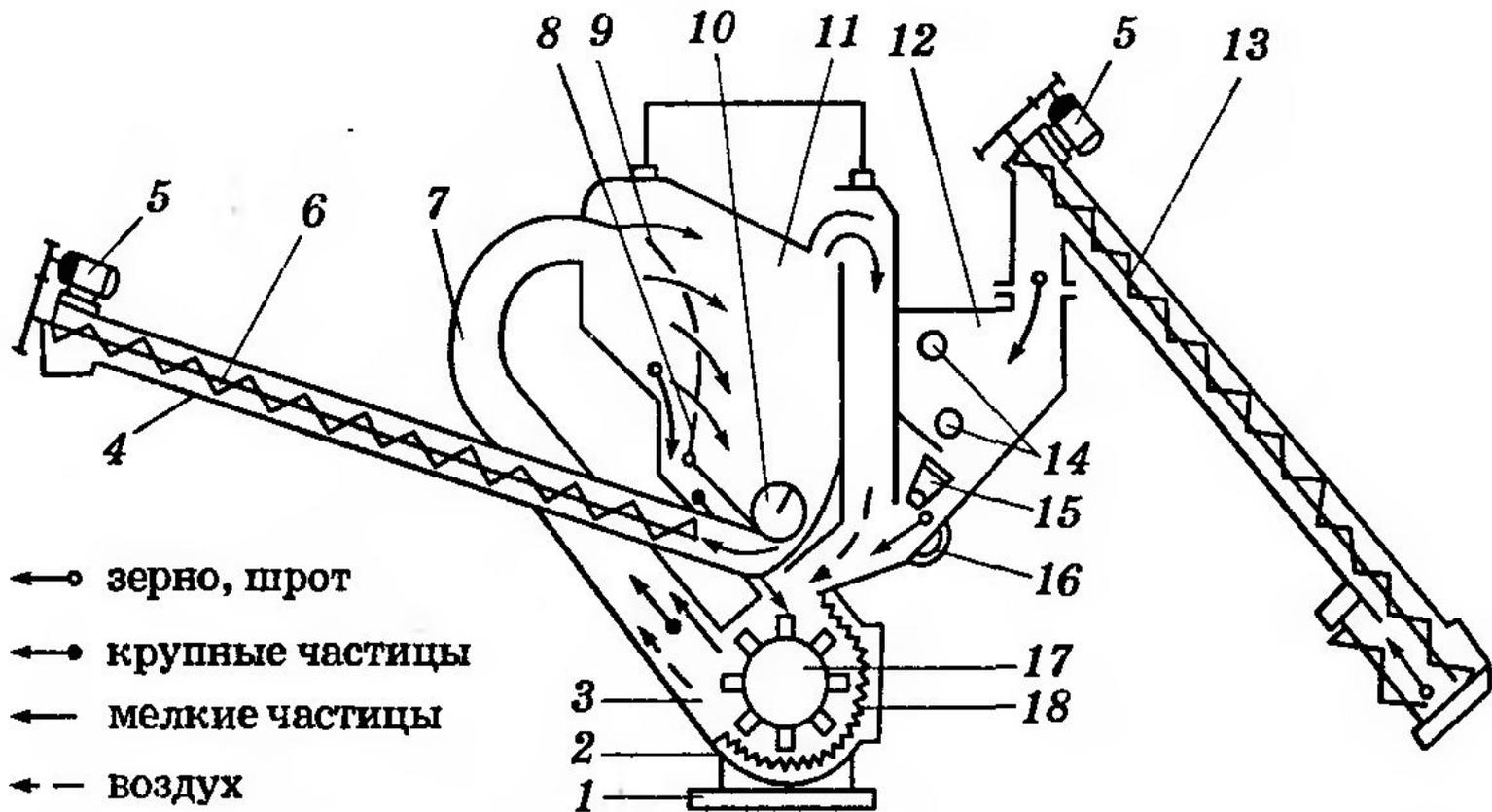


*Рис. 3.17. Технологическая схема дробилки КДУ-2,0:*

1 — циклон; 2 — загрузочный ковш; 3 — дробильная камера; 4 — магнитный сепаратор; 5 — режущий барабан; 6 — нажимной наклонный транспортер; 7 — горизонтальный транспортер; 8 — измельчитель; 9 — вентилятор; 10 — рассекаватель рукава; 11 — фильтровальный рукав

Безрешетная дробилка ДБ-5 (рис. 3.18) предназначена для измельчения фуражного зерна влажностью до 17 %. Зерно подается загрузочным шнеком в бункер. Из бункера через заслонку оно проходит под постоянным магнитом, очищается от металлических примесей и поступает в дробильную камеру, где измельчается молотками дробилки. Под действием инерционных сил дробленое зерно выбрасывается по кормопроводу через сепаратор в разделительную камеру, откуда шнеком 10 и выгрузным шнеком 4 направляется в тару или на дальнейшую обработку. В камере 11 установлена заслонка 8, которая делит измельченное зерно на мелкую и крупную фракции. Крупная фракция снова поступает на помол. Степень помола регулируется положением деки относительно рабочих концов молотков, а также подачей зерна в камеру заслонкой 15. Рабочий орган дробилки приводится в действие от электродвигателя мощностью 30 кВт, а шнеки — от электродвигателей мощностью 1,1 кВт. Производительность дробилки — 4,6 т/ч.

Для независимого регулирования подачи и поддержания близкой к оптимальной загрузки дробилка ДБ-5 имеет исполнительный механизм привода задвижки, который управляется автоматическим регулятором загрузки (АРЗ).



*Рис. 3.18. Технологическая схема безрешетной дробилки ДБ-5:*

1 — рама; 2 — корпус; 3 — камера измельчения; 4 — выгрузной шнек; 5 — электродвигатели шнеков; 6 — корпус шнека; 7 — кормопровод; 8 — заслонка; 9 — сепаратор; 10 — шнек разделительной камеры; 11 — разделительная камера; 12 — бункер; 13 — загрузочный шнек; 14 — датчики уровня; 15 — заслонка бункера; 16 — постоянный магнит; 17 — дробильный барабан; 18 — дека

### **3.3.5. Управление электроприводом измельчителей и дробилок кормов**

Нагрузочным диаграммам измельчителей и дробилок кормов присущ резкопеременный характер с большими колебаниями момента и скорости. Энергетические показатели зависят от окружной скорости молотков (56, 66, 77 м/с) и поступательной скорости ленты питающего транспортера (10, 17, 20 м/с), а также от влажности, плотности кормов и конструкции машины. Минимальный удельный расход энергии при удовлетворительном помоле наблюдается в диапазоне окружных скоростей молотков 66...77 м/с, что соответствует частоте вращения ротора дробилки 1700...2000 мин<sup>-1</sup>.

Для выравнивания нагрузочных диаграмм и повышения производительности применяют регуляторы подачи исходного продукта. Загрузку дробилки регулируют по току, скольжению и моменту приводного двигателя.

Выбор схемы управления зависит от способа регулирования загрузки дробилки или измельчителя.

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

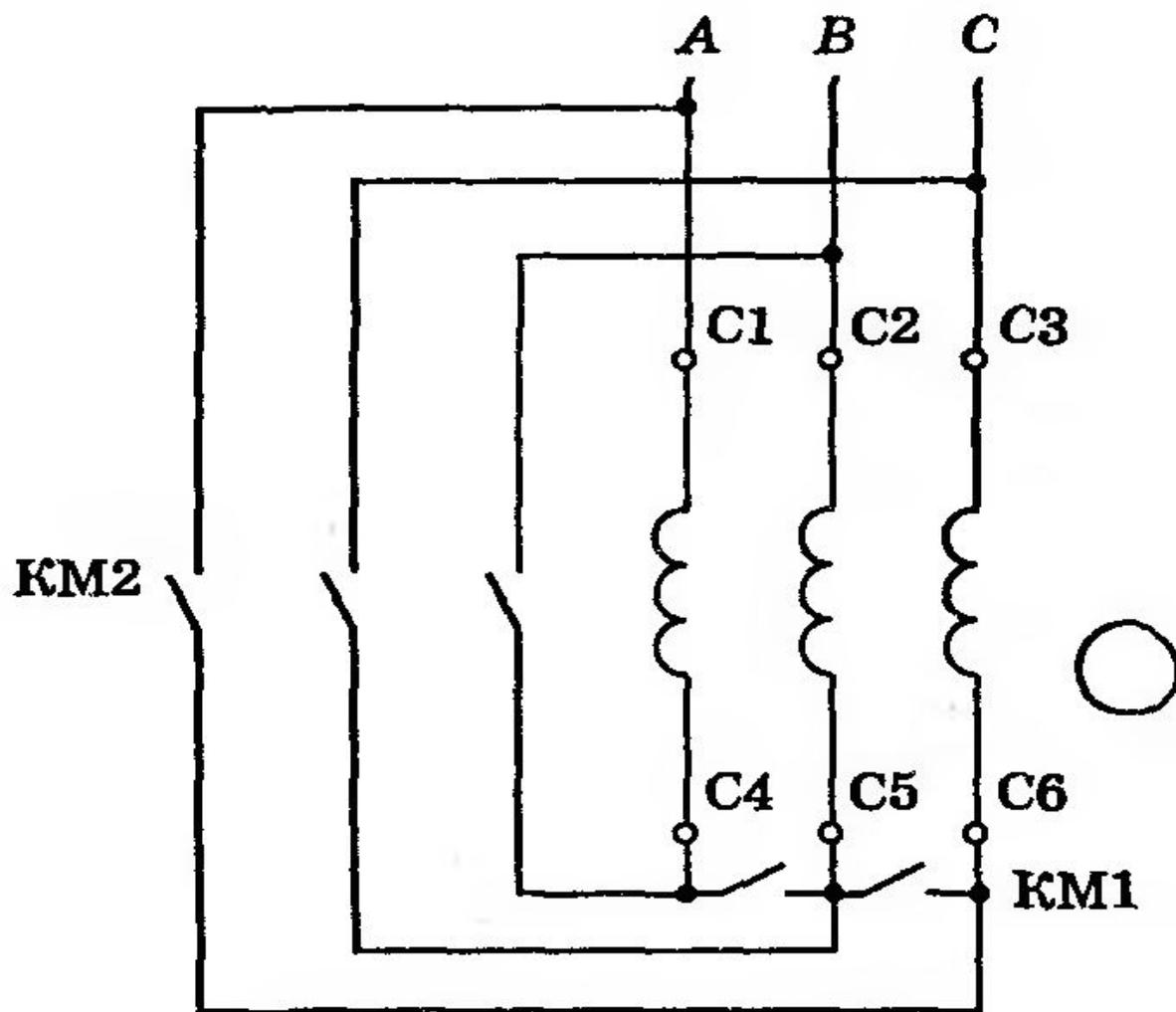
- СПОСОБЫ ОБЛЕГЧЕНИЯ ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Нагрузочным диаграммам измельчителей и дробилок кормов присущ резкопеременный характер с большими колебаниями момента и скорости. Энергетические показатели зависят от окружной скорости молотков (56, 66, 77 м/с) и поступательной скорости ленты питающего транспортера (10, 17, 20 м/с), а также от влажности, плотности кормов и конструкции машины. Минимальный удельный расход энергии при удовлетворительном помоле наблюдается в диапазоне окружных скоростей молотков 66...77 м/с, что соответствует частоте вращения ротора дробилки 1700...2000 мин<sup>-1</sup>.

Для выравнивания нагрузочных диаграмм и повышения производительности применяют регуляторы подачи исходного продукта. Загрузку дробилки регулируют по току, скольжению и моменту приводного двигателя.

Пуск электродвигателя М2 главного привода возможен при закрытой крышке дробилки, когда замкнуты контакты конечного выключателя SQ1 и работает двигатель М1 привода (замкнуты блок-контакты пускателя КМ1 в цепи управления двигателем М2) и включен автоматический выключатель QF1 в цепи привода М2. Для уменьшения пусковых токов пуск двигателя дробилки осуществляется с переключением со звезды на треугольник. Пуск под нагрузкой не допускается.

Особенностью электропривода дробилки ДБ-5 является использование в главном приводе АД с напряжением питания обмоток статора 660...380 В. В рабочем режиме обмотка статора включается в треугольник, а в режиме пуска — в звезду. При этом к обмотке статора прикладывается напряжение в 1,73 раза меньше номинального, пусковой ток уменьшается в три раза. Запуск дробилки осуществляется на холостом ходу.



**ис. 1.39. Схема переключения обмоток статора АД со звезды на треугольник при пуске**

Электрическая схема управления дробилкой ДБ-5 (рис. 3.20) предусматривает наладочный и автоматический режимы, которые выбираются переключателем SA2. В наладочном режиме имеется возможность независимого включения каждого электропривода в отдельности. Для проверки работы автоматического регулятора загрузки (АРЗ) выключатель SA3 устанавливают в положение «Регулятор».

В рабочем режиме осуществляется заданная последовательность включения электродвигателей приводов: M1 → M2 → M4. Наличие напряжения на схеме управления контролирует лампа HL1. Приводом выгрузного шнека управляют кнопками SB1 и SB2 в ручную.

Пуск электродвигателя M2 главного привода возможен при закрытой крышке дробилки, когда замкнуты контакты конечного выключателя SQ1 и работает двигатель M1 привода (замкнуты блок-контакты пускателя 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. Пуск под нагрузкой не допускается.

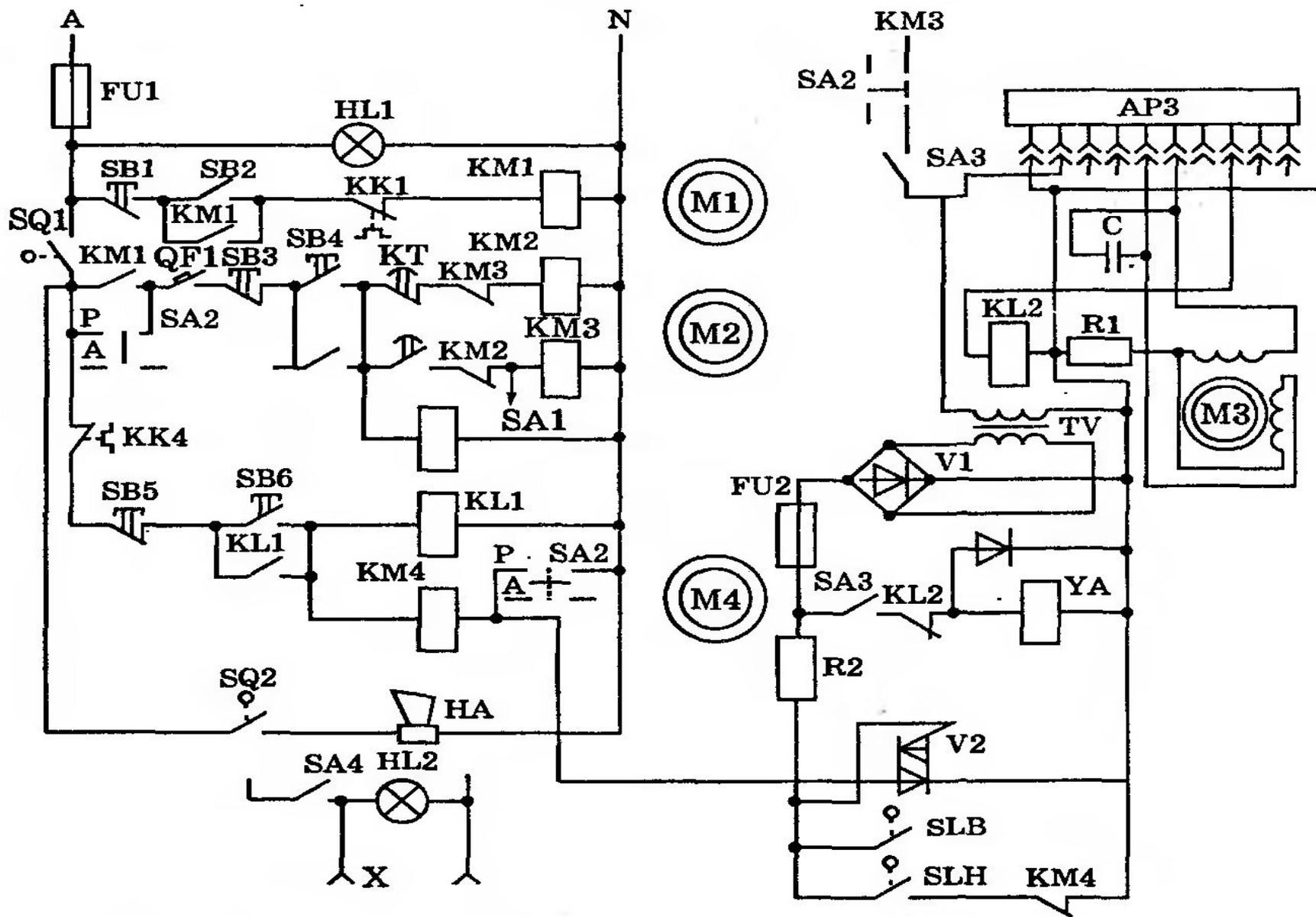


Рис. 3.20. Электрическая схема управления дробилкой ДБ-5

При нажатии кнопки SB4 включается пускатель КМ2 и двигатель М2, соединенный в звезду. Через 10 с реле КТ отключает КМ2, включает КМ3 и двигатель М2 переключается на треугольник. На регулятор загрузки АРЗ и электромагнитную муфту YA подается напряжение. Электромагнитная муфта соединяет привод М3 с заслонкой.

Регулятор АРЗ обеспечивает номинальную загрузку двигателя М2. Он управляет двигателем М3, который открывает заслонку при малой загрузке. При скачкообразных перегрузках двигателя М2 регулятор АРЗ через реле КЛ2 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 электродвигателя М4 привода загрузочного шнека осуществляется кнопкой SB6 при отсутствии зерна в бункере (разомкнуты контакты датчиков уровней — верхнего SLB

и нижнего SLH). Реле KL1, получившее питание, шунтирует кнопку SB6, пускатель KM4 включает двигатель M4 и размыкает блок-контакты в цепи контактов SLH. При заполнении бункера до верхнего уровня контакт SLB замкнется и зашунтирует цепь управления симистором V2, который отключает электродвигатель M4 привода загрузочного шнека пускателем KM4. Блок-контакт KM4 в цепи SLH замыкается. Повторно двигатель M4 включится при опорожнении зернового бункера до нижнего уровня, когда контакты датчика нижнего уровня SLH замкнутся.

Особенностью электропривода дробилки ДБ-5 является использование в главном приводе АД с напряжением питания обмоток статора 660...380 В. В рабочем режиме обмотка статора включается в треугольник, а в режиме пуска — в звезду. При этом к обмотке статора прикладывается напряжение в 1,73 раза меньше номинального, пусковой ток уменьшается в три раза. Запуск дробилки осуществляется на холостом ходу.

В перспективных разработках измельчающих и дробильных машин используют частотно-регулирующий электропривод и современные устройства контроля загрузки.

В большинстве известных регуляторов загрузки кормоприготовительных машин управление осуществляется по току обмоток статора приводного электродвигателя.

Сигнал от датчика тока не обеспечивает необходимой точности регулирования из-за колебаний питающего напряжения. Значительно лучшие результаты дает использование сигнала, пропорционального потребляемой электродвигателем мощности.

Известно, что баланс мощности электродвигателя складывается следующим образом:

$$P_{\text{потр}} = \Delta P_{\text{д}} + \Delta P_{\text{р.м}} + P_{\text{из}},$$

где  $P_{\text{потр}}$  — мощность, потребляемая из сети;  $\Delta P_{\text{д}}$  — потери мощности в электродвигателе;  $\Delta P_{\text{р.м}}$  — потери мощности в рабочей машине;  $P_{\text{из}}$  — мощность, необходимая для измельчения материала.

Мощность  $P_{\text{потр}}$  пропорциональна производительности агрегата:

$$P_{\text{потр}} = kq,$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $q$  — производительность агрегата.

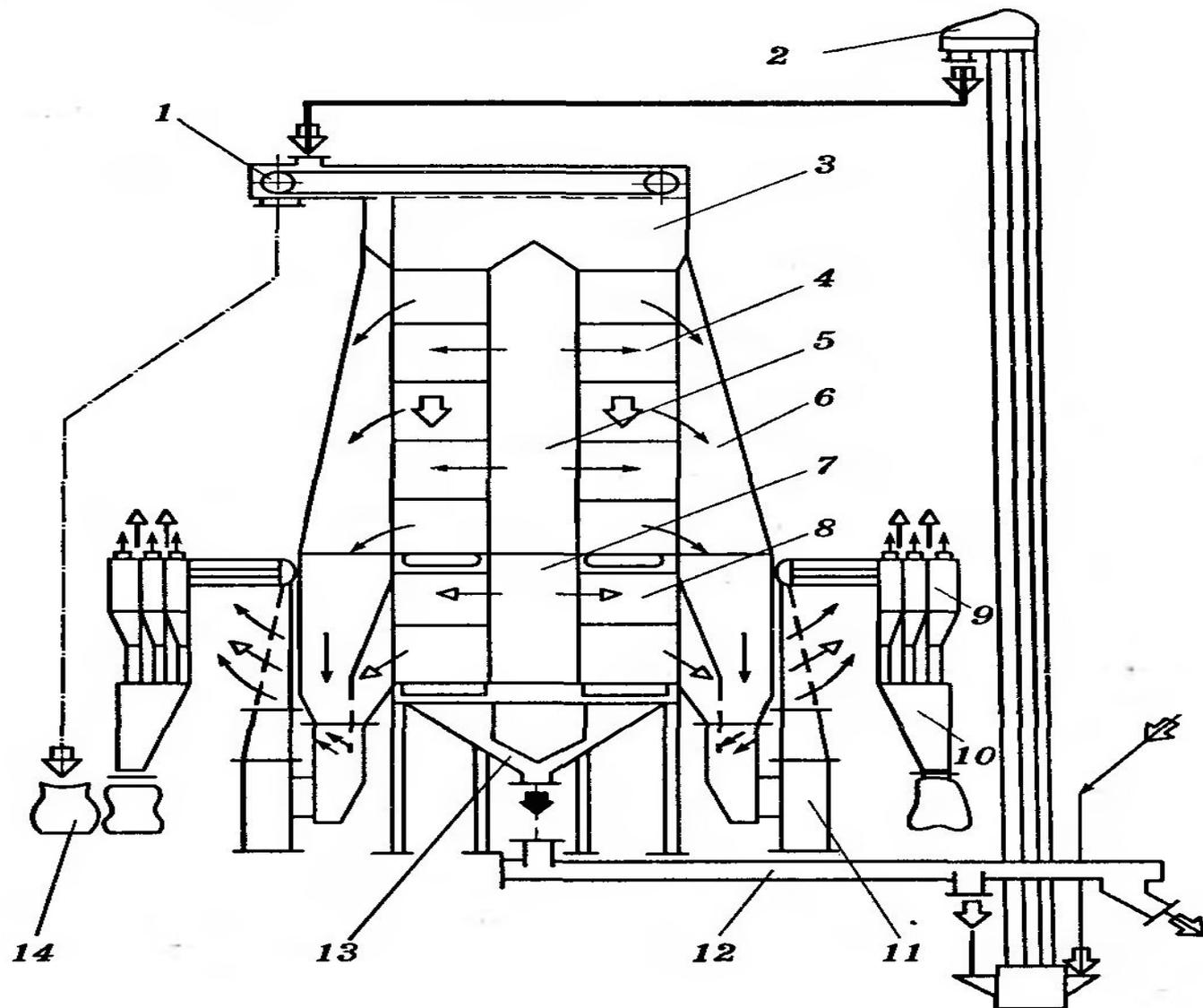
## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЗЕРНОСУШИЛОК

- **ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ, ВЫГРУЗНЫХ И ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ).**

Сушку продовольственного и семенного зерна различных сельскохозяйственных культур осуществляют с помощью шахтных зерносушилок типа СЗШ-16, СЗШ-16М, М-819, колонковых сушилок СЗК, барабанных зерносушилок СЗСБ-8 и т.д. Зерносушилка СЗШ-16 состоит из двух параллельно расположенных шахт, установленных на общей станине, двух выносных охлаждающих камер, вентиляторов сушильных шахт, диффузоров.

В сушильные шахты и охлаждающие камеры зерно подается четырьмя нориями. Каждая сушильная шахта состоит из двух однотипных секций, установленных одна на другую, имеет по одному вентилятору Ц9-57 или Ц4-70, которые соединены с ней диффузорами со всасывающим коробом.

Теплоноситель подается от топки к сушильным шахтам и диффузорам через воздуховоды. Зерно охлаждается в двух вертикальных бункерах с перфорированными стенками и конусными днищами, шлюзовыми затворами и вентиляционным оборудованием. Установленная мощность зерносушилок СЗШ-16 — 60,8 кВт, СЗШ-16М — 76,0 кВт.



**Рис. 4.2. Технологическая схема зерносушилки М-819:**  
**1 — надбункерный транспортер; 2 — рециркуляционная нория; 3, 13 — надсушильный бункер; 4 — сушильные секции; 5, 7 — напорные камеры; 6 — конфузор; 8 — охлаждающие секции; 9 — микроциклоны; 10 — бункер для пыли; 11 — вентилятор; 12 — транспортер; 14 — отходы**

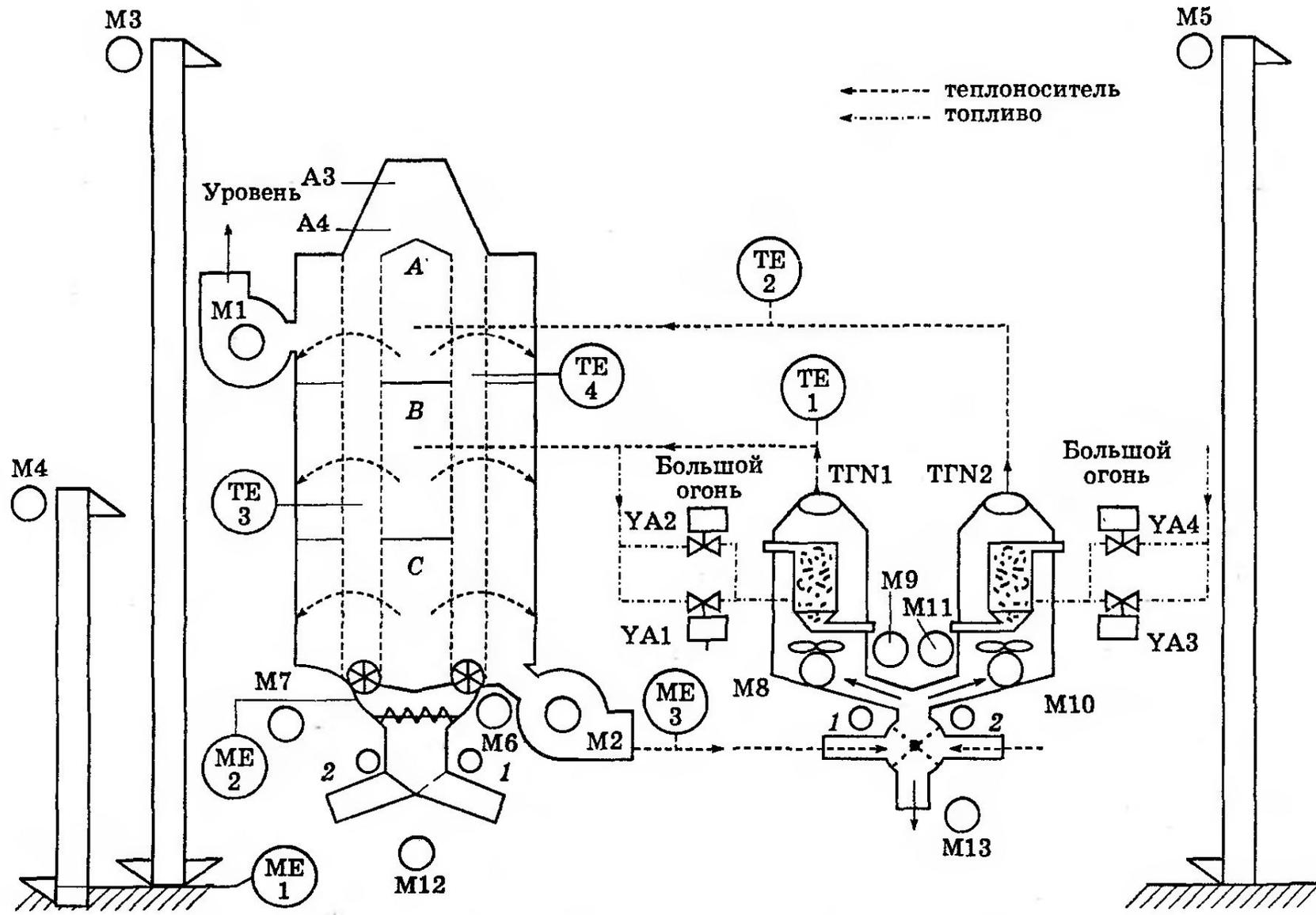


Рис. 4.4. Технологическая схема сушилки СЗК-8

Зерносушилка СЗК-8 (рис. 4.4) имеет следующие электроприводы: вытяжного вентилятора М1, вентилятора рекуперации М2, нории загрузки М3, нории дополнительной загрузки М4, нории разгрузки М5, выгрузного шнека М6, выгрузного устройства М7, перекидного клапана зерна М12, распределителя отработавшего теплоносителя М13.

Каждый теплогенератор имеет основной вентилятор М8 и электропривод горелки М9. Регулирование подачи топлива к теплогенераторам ступенчатое, с помощью электромагнитных вентилей: УА1, УА3 — малый огонь; УА2, УА4 — большой.

В начальный период сушки зерно подается на повторную сушку, поэтому перекидной клапан М12 устанавливается в положение 1, а при стабилизации режима сушки до кондиционной влажности — в положение 2 (на выгрузку зерна из сушилки). В целях экономии энергии предусмотрена рекуперация отработавшего теплоносителя, поступающего через вентилятор рекуперации М2 к распределителю теплоносителя М13. Если относительная влажность отработавшего теплоносителя после вентилятора, измеренная влагомером, более 40 %, то он выбрасывается наружу и распределитель теплоносителя М13 устанавливается в положение 1. При этом свежий воздух поступает в теплогенератор. Если относительная влажность отработавшего теплоносителя после вентилятора М2 менее 40 %, то М13 устанавливается в положение 2 и теплоноситель из сушилки

Для контроля верхнего и нижнего уровней зерна в бункере сушилки используются два бесконтактных датчика уровня с релейным выходом. Для контроля температуры теплоносителя, поступающего от теплогенераторов, используются термометры сопротивления ТЕ1 и ТЕ2 с унифицированным аналоговым выходом с диапазоном выходных токов 4...20 мА, соответствующим диапазону температур 0...150 °С. Термометры обеспечивают совместно с программируемым контроллером стабилизацию температуры теплоносителя теплогенератора ТГН1, а термометр ТЕ2 — теплогенератора ТГН2.

Зерно на выгрузку подается в норию М11 с электроприводом М5, на повторную сушку — в норию М10 с электроприводом М3. Сырое зерно из колонок поступает в норию М10 на повторную сушку до тех пор, пока не достигнет кондиционной влажности 14 %. Колонки сушилки имеют три активные зоны (сверху вниз): А — нагрева, В — сушки, С — охлаждения. В зону нагрева поступает теплоноситель от теплогенератора ТГН2. Пройдя через слой зерна, теплоноситель отдает теплоту, насыщается влагой и вытяжным вентилятором М1 выбрасывается наружу. В зоне

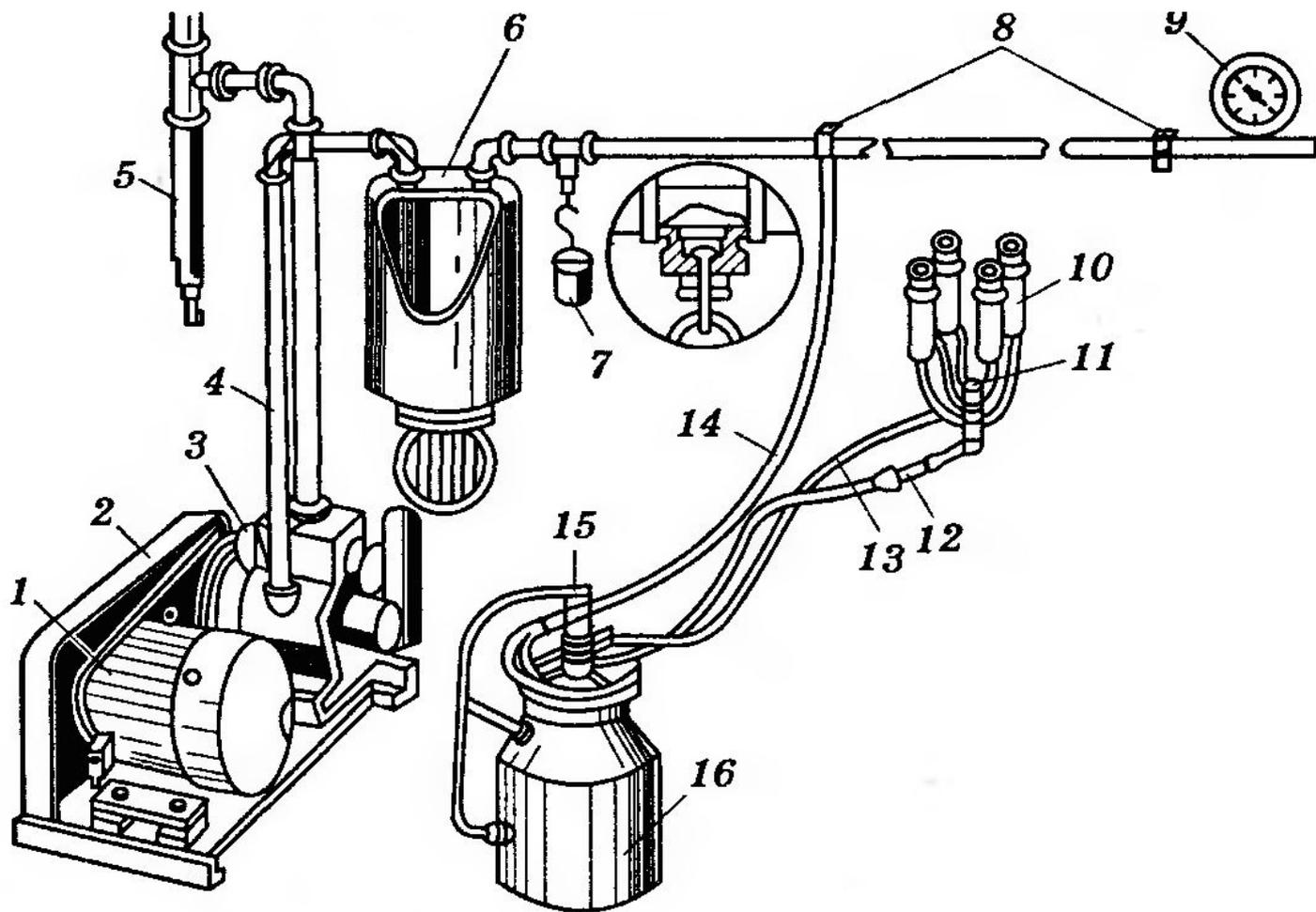
сушки зерно имеет меньшую влажность, чем в зоне нагрева, и подвергается воздействию большей температуры теплоносителя, который, пронизывая зерно, насыщается влагой в меньшей степени. Перемещение теплоносителя в этой зоне обеспечивает вентилятор рекуперации М2. Он же отсасывает воздух из зоны охлаждения. Смесь этих воздушных потоков выбрасывается через вентилятор М2 к распределителю отработавшего теплоносителя М13. Если относительная влажность этой смеси более 40 %, то смесь поступает в теплогенераторы.

В теплогенераторах воздух подогревается в теплообменнике. Сгорание топлива происходит в камере сгорания, куда форсунка подает топливо и от отдельного вентилятора (вентилятор и топливный насос установлены на одном валу) поступает воздух. Продукты сгорания не смешиваются с теплоносителем, используемым для сушки, и выбрасываются наружу.

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И МАШИН ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА**

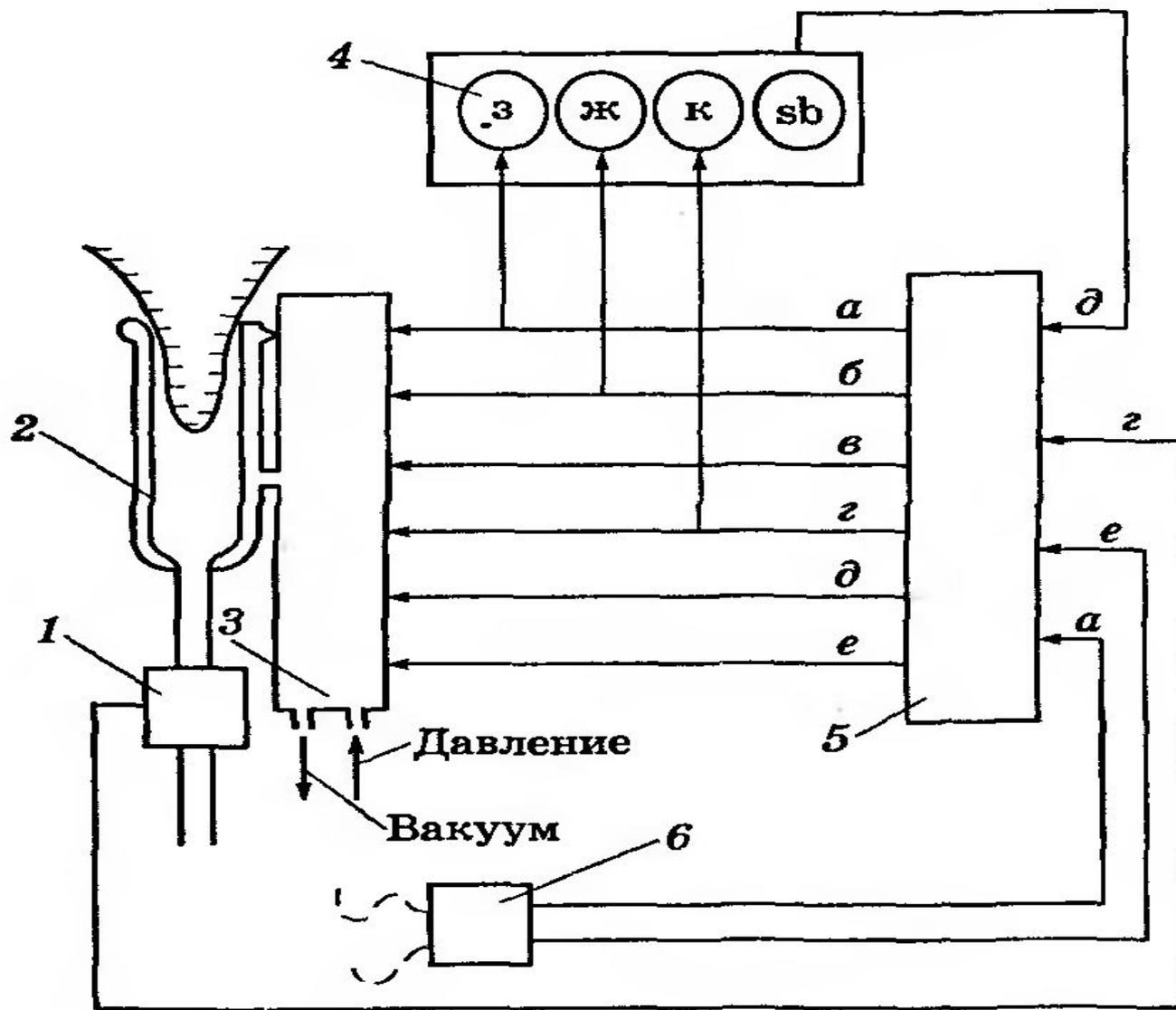
Доильные установки разделяются на три типа: 1) стационарные для доения коров в стойлах; 2) стационарные для доения в доильных помещениях; 3) универсальные передвижные для доения как в помещениях, так и на пастбищах. При привязном содержании распространено доение в ведра и стационарный молокопровод типа АДМ-8. Установки УДА-8, УДА-16, УДА-100 применяются при беспривязном и боксовом содержании коров. В доильных установках УДА-8 и УДА-16 автоматизированы операции доения, отключения вакуума и снятия доильного аппарата.

Обязательными элементами каждой доильной установки являются вакуум-насос, вакуум-баллон, вакуум-регулятор, вакуумметр, трубопровод (рис. 3.28). Доильные установки комплектуются ротационными вакуумными насосами УВУ-60/45 или централизованными вакуумными станциями ЦВУ-3, ЦВУ-6, ЦВУ-12.



*Рис. 3.28. Схема доильной установки:*

*1 — электродвигатель; 2 — ограждение ременной передачи; 3 — вакуум-насос; 4 — вакуум-трубопровод; 5 — маслосборник выхлопной трубы вакуум-насоса; 6 — вакуум-баллон; 7 — вакуум-регулятор; 8 — кран; 9 — вакуумметр; 10 — доильные стаканы; 11 — коллектор; 12 — молочный шланг; 13 — вакуумный шланг; 14 — магистральный шланг; 15 — пульсатор; 16 — доильное ведро*



**Рис. 3.29. Принципиальная схема автоматизированной доильной установки «Физиоматик»**

## ЭЛЕКТРОПРИВОД ВАКУУМНОГО НАСОСА

Обязательным элементом каждой доильной установки является ротационный вакуум-насос (рис. 3.31), обеспечивающий разрежение в вакуум-проводе на уровне  $5 \cdot 10^4$  Па (380 мм рт. ст.). При вращении ротора 1 насоса свободно перемещающиеся в радиальном направлении лопатки 2 прижимаются центробежной силой к внутренней поверхности цилиндра корпуса 3. Так как ротор в цилиндре расположен эксцентрично, лопатки, погружаясь в пазы и выходя из них, изменяют объем, ограниченный цилиндром, ротором и двумя соседними лопатками. Этот объем в зоне всасывающей камеры увеличивается, а в зоне выхлопной — уменьшается, из-за чего создается разрежение и происходит отсос воздуха из вакуум-провода.

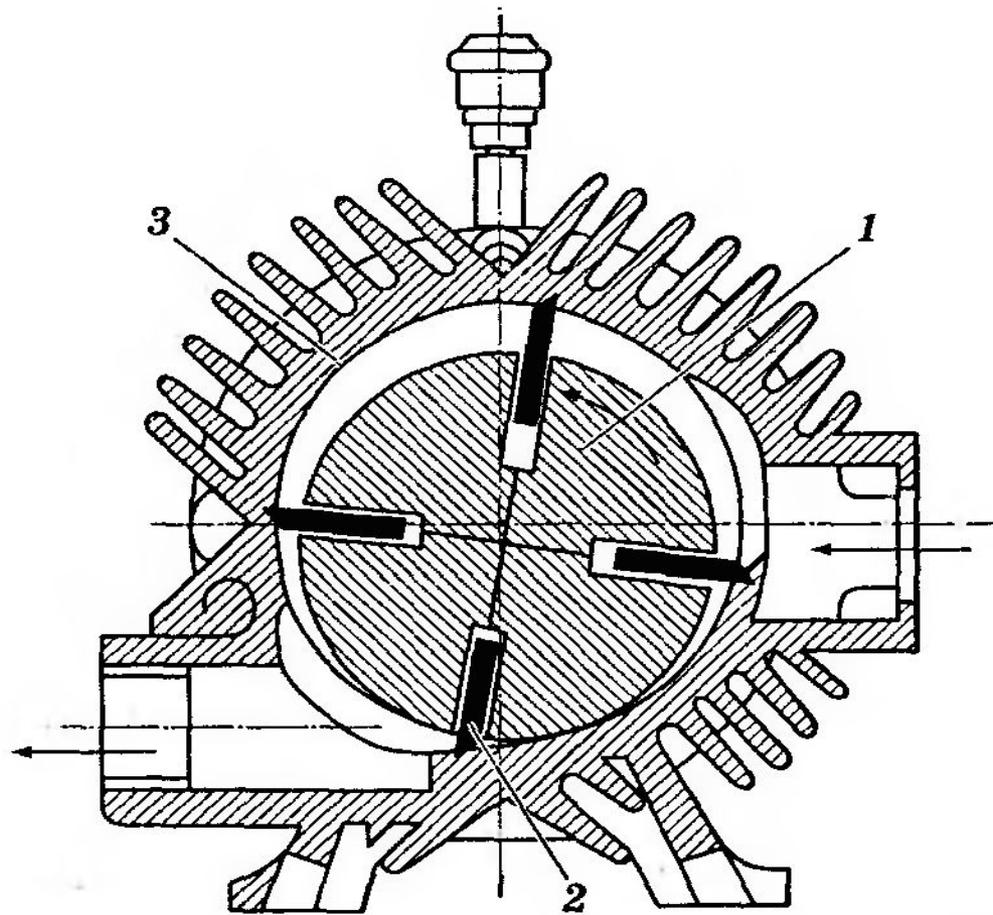


Рис. 3.31. Схема ротационного вакуум-насоса

Производительность четырехлопастного ротационного вакуум-насоса определяется по формуле

$$Q = 0,98eDL\omega\varphi_{\text{нап}}\eta_{\text{м}},$$

где  $e$  — эксцентриситет, м;  $D$  — внутренний диаметр цилиндра, м;  $L$  — длина ротора, м;  $\omega$  — угловая скорость ротора,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\varphi_{\text{нап}}$  —

## ЭЛЕКТРОПРИВОД ВАКУУМНОГО НАСОСА

степень наполнения всасывающей камеры;  $\eta_m$  — манометрический коэффициент полезного действия насоса ( $\eta_m = 0,20 \dots 0,25$ ).

Необходимая для привода ротационного вакуум-насоса мощность электродвигателя

$$P = \frac{QH}{\eta_{\text{нас}} \eta_{\text{п}}},$$

где  $Q$  — производительность насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — разрежение, создаваемое насосом, Па;  $\eta_{\text{нас}}$ ,  $\eta_{\text{п}}$  — КПД насоса и передачи соответственно.

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД МАШИН ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА**

Первичная обработка молока на животноводческих фермах включает следующие операции: очистку, охлаждение, сепарирование и пастеризацию. Охлаждение молока осуществляется с помощью холодильных машин: очистителя-охлаждителя молока ОМ-1, танка-охлаждителя молока ТОМ-2А, резервуаров-охлаждителей молока РПО-1,6 и др.

Для пастеризации молока применяются пастеризационно-охладительные установки ОПФ-1-300, ОПУ-3М.

Танк-охладитель ТОМ-2А (рис. 3.32, а) применяют для очистки, охлаждения и длительного хранения молока на молочных фермах с поголовьем до 400 коров. Молоко (1800 л) заливают в молочную ванну через фильтр 18, где оно перемешивается мешалкой 17 и охлаждается от 36 до 6 °С за 2,5 ч, соприкасаясь с холодными стенками и днищем ванны. Наружная поверхность ванны орошается водой из системы орошения 3. Подогретая вода стекает в ванну и, омывая лед, замороженный на панелях испарителя 12, охлаждается, а затем насосом 13 снова подается в систему орошения через фильтр 14.

При работе агрегата 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 и фильтр-осушитель 6 в терморегулирующий вентиль 4, где дросселируется с давления конденсации до давления кипения и заполняет панели испарителя. В испарителе 12 фреон отнимает теплоту от окружающей его воды и в парообразном виде вновь засасывается компрессором. Терморегулирующий вентиль настраивают таким образом, чтобы перегрев в линии всасывания составлял 10...15° С.

За 3,5 ч до залива молока в ванну на панелях испарителя намораживают лед. Автоматическим выключателем QF (рис. 3.32, б) подают напряжение на цепи управления. Переключатель SA1 устанавливают в положение «Л» (лед). При замкнутых контактах термореле SK1 включается катушка пускателя К1, который включает двигатели МК компрессора (5,5 кВт) и МВ вентилятора (0,8 кВт), а также реле напряжения KV, которое шунтирует блок-контакты пускателя К1 и дешунтирует контакты реле KL1.

Загорается сигнальная лампа HL1. При намораживании необходимого количества льда на панелях испарителя контакты термореле SK1 выключают пускатель K1 и двигатели МК и МВ.

После заливки молока в ванну переключатель SA1 режимов устанавливают в положение «А». Двигатели МК и МВ включаются так же, как и в режиме «Л». При замкнутом термоконтакте SK2 реле KL2 получает питание, его контакты замыкаются и включают пускатель K2, включаются двигатели МН водяного насоса (1,5 кВт) и ММ мешалки (0,27 кВт). Когда температура молока снижается до 6 °С, термоконтакт SK2 выключает двигатели МН и ММ и вновь включает их, если температура молока повышается до 7 °С. Холодильная машина продолжает работать, намораживая лед, пока ее не отключит термореле SK1.

Молоко сливают из ванны, установив переключатель режимов в положение «О» (отключено). В случае необходимости агрегатом управляют вручную, для чего переключатель режимов устанавливают в положение «Р» (ручное).

При срабатывании защиты размыкаются контакты реле давления SP или тепловых реле КК1, КК2, отключая питание катушки реле KV, отключаются пускатели КМ1, КМ2, останавливаются все двигатели и загорается красная сигнальная лампа HL2 («Неисправно»).

Реле давления типа РД-1 обеспечивает защиту от чрезмерно низкого давления в линии всасывания и от повышенного давления в линии нагнетания.

Мощность компрессора охладителя молока определяют по формуле

$$P = Q / (k \eta_1 \eta_2 \eta_3),$$

где  $Q$  — необходимая часовая производительность, кДж/ч;  $k$  — удельная холодопроизводительность, кДж/(кВт · ч);  $\eta_1$  — индикаторный коэффициент компрессора;  $\eta_2 = 0,85 \dots 0,90$  — механический КПД компрессора;  $\eta_3$  — КПД передачи.

## ЭЛЕКТРОПРИВОД МОЛОЧНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Сепарирование молока применяют для механического отделения сливок от обраты с помощью центробежных сил, которые действуют на частицы молока при вращении его в барабане сепаратора. Для молочных блоков коровников, молочных крупных ферм, сепараторных пунктов и молочных заводов предназначены сепараторы марок ОСБ-1000 и ОСП-3М.

Механическая характеристика сепаратора без учета резонансных пиков может быть выражена формулой

$$M = M_0 + b\omega^2,$$

где  $M_0$  — начальный момент на валу привода, в среднем равный  $0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $b$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематической схемы привода, массы барабана, шероховатости поверхности барабана сепаратора (для сепараторов производительностью до  $1000 \text{ л/ч}$   $b = 18 \cdot 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{м}/(\text{рад}/\text{с}^2)$ );  $\omega$  — угловая скорость барабана,  $\text{с}^{-1}$ .

Из-за большого момента инерции барабана сепаратора время его разбега достигает 1,5...3 мин и более. Поэтому для облегчения условий пуска сепараторов применяют двухскоростные двигатели, центробежные или электромагнитные муфты, а также регулируемый электропривод.

Использование двухскоростных электродвигателей позволяет снизить пусковые потери, а вместе с тем уменьшить и нагрев двигателя. На этапе пуска происходит разбег при повышенном пусковом моменте до половинной частоты вращения, а затем разбег до номинальной скорости продолжается при меньшем пусковом моменте.

Применение в электроприводе сепаратора центробежной муфты позволяет двигателю вначале набрать скорость при пониженной нагрузке и при малых пусковых токах, а затем перейти к работе на полной нагрузке.

Принципиальная электрическая схема электропривода молочного сепаратора и его механические характеристики приведены на рис. 3.33, где приняты следующие обозначения: М — электродвигатель; BR — тахогенератор; KL — реле напряжения; VZ — выпрямительный мост; QF — автоматический выключатель; SA — выключатель схемы управления; SB — кнопка «Пуск».

При включении на первую скорость кнопкой SB двигатель развивает повышенный пусковой момент при меньшем пусковом токе. При достижении частоты вращения барабана  $4000 \text{ мин}^{-1}$

напряжение на выходе тахогенератора BR достигает уровня, достаточного для срабатывания реле напряжения KL, которое отключает контактор KM1 и включает контактор KM2, что приводит к переключению обмоток электродвигателя на вторую (повышенную) скорость. Далее продолжается разбег до номинальной частоты вращения без броска пускового тока.

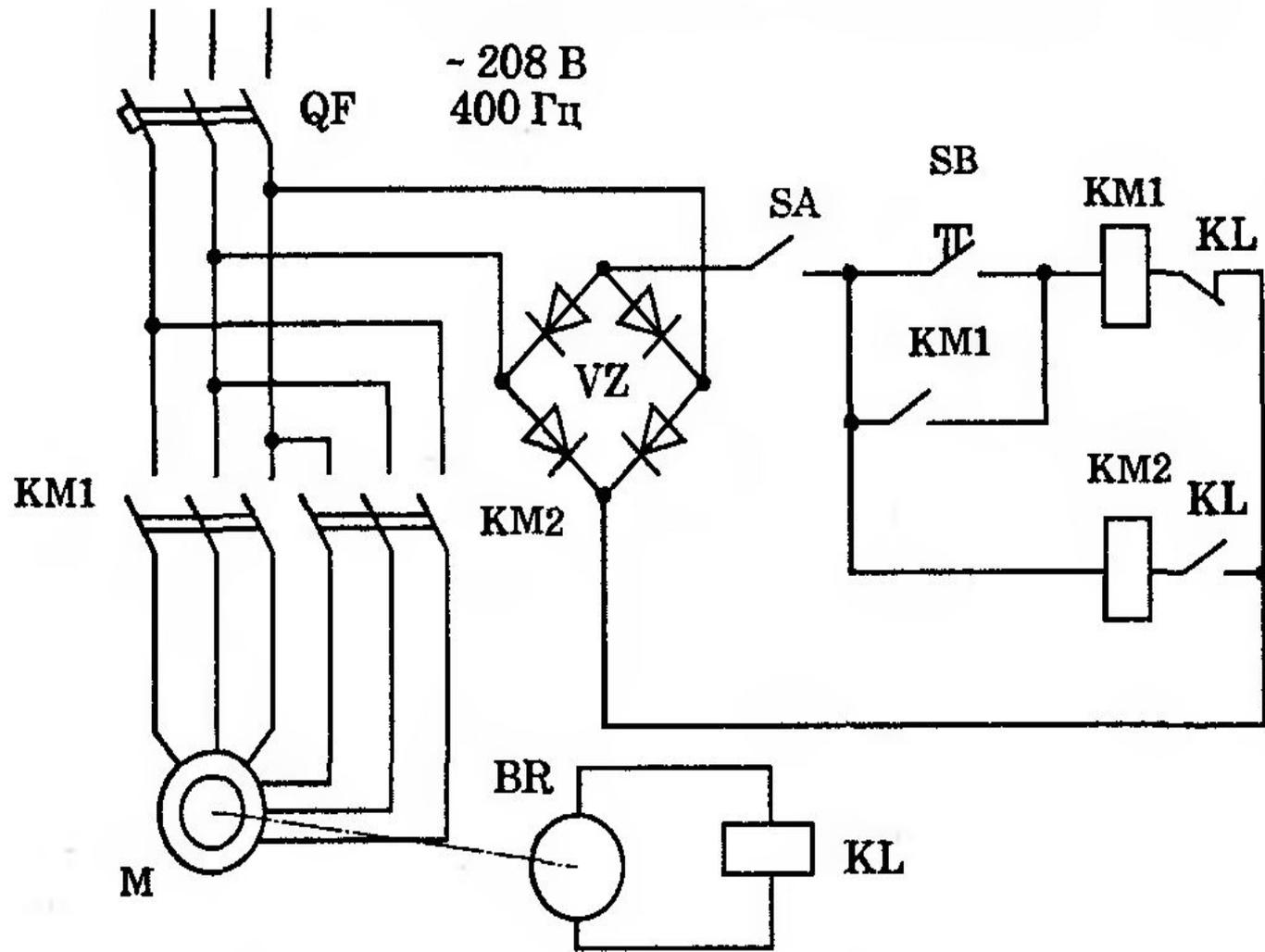


Рис. 3.33. Схема двухскоростного электропривода  
молочного сепаратора

## 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...10 Па при мощности двигателя 1,1 кВт. Они состоят из корпуса со всасывающим и нагнетательным патрубками, электродвигателя закрытого обдуваемого исполнения, крыльчатки и рабочей камеры. Нагнетательный патрубок снабжен обратным клапаном. Пуск и выключение насоса выполняются вручную или автоматически блоком управления. Насос предназначен для перекачивания молока из емкостей, находящихся под вакуумом или атмосферным давлением.

Пастеризационно-охладительные установки ОПФ-1-20 и ОПФ-1-300 предназначены для центробежной очистки, пастеризации, выдержки и охлаждения молока в закрытом потоке в автоматическом режиме. Эти установки рекомендуются для крупных молочных ферм и комплексов. Установка ОПФ-1-20 пастеризует молоко при температуре 74...78 °С с выдержкой 20 с, а ОПФ-1-300 — при температуре 90...94 °С с выдержкой 300 с. В составе каждой установки (рис. 3.34) имеются пластинчатый аппарат, молокоочиститель, бак с поплавковым регулятором, трубчатый выдерживатель, молочный насос, бойлер, насос для горячей воды, инжектор, паропроводная обвязка с электрогидравлическим клапаном, пульт управления, перепускной клапан, комплект молочных трубопроводов. Пластинчатый аппарат имеет теплообменники-пластины из нержавеющей стали, которые разделены на пять секций. В систему автоматики установок ОПФ входят: пульт управления с приборами контроля, регулирования и управления; перепускной клапан с электрогидравлическим приводом для автоматического переключения потока

молока на повторный подогрев; регулирующий клапан с электрогидравлическим приводом для подачи определенного количества пара (в зависимости от температурного режима); терморегуляторы с платиновыми термометрами сопротивления; уравнительный бак с поплавковым регулятором прямого действия.

Молоко из резервуара направляется самотеком или под напором в уравнительный бак 8, откуда насосом 7 подается в секцию пастеризации I и секцию регенерации II, где нагревается до заданной температуры. Из секции пастеризации молоко через электрогидравлический перепускной клапан 10 поступает в выдерживатель 12, где находится в течение 20...30 с, и далее подается в секцию регенерации для отдачи теплоты встречному потоку молока. Затем молоко последовательно поступает в секции охлаждения, где охлаждается до 8 °С, и выходит из установки. Для охлаждения молока используется водопроводная вода и ледяная вода из холодильной установки.



