

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БАШКИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

АИПОВ Р.С., ЯРМУХАМЕТОВ У.Р.

ЭЛЕКТРОПРИВОД

(конспект лекций, часть II)

Уфа 2014 г.

УДК 621.3(07)
ББК 40.76 Я7
А 36

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
Башкирского ГАУ

Авторы: Аипов Р.С., Ярмухаметов У.Р.

Рецензенты: заведующий кафедрой электрических машин и эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве, ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» д.т.н., профессор В.А. Буторин;

д.т.н., доцент кафедры машин, аппаратов, приборов и технологии сервиса ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса» Р.Б. Яруллин.

Конспект лекций предназначен для студентов аграрных высших учебных заведений, обучающихся по специальности 110302 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства. Может быть рекомендован студентам, изучающих электропривод в рамках подготовки бакалавров по направлениям «Агроинженерия», «Теплотехника и теплоэнергетика».

В конспекте рассмотрены вопросы рационального построения электропривода и условия его выбора для установок: вентиляции и отопления, водоснабжения и орошения, обкатки и испытания авто-тракторных двигателей, ручного инструмента и мобильных машин, деревообрабатывающих и металлообрабатывающих станков, доения и первичной обработки молока.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1 ПОНЯТИЕ О РАЦИОНАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ И УСЛОВИЯ ЕГО ВЫБОРА	6
2 ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯЦИОННО- ОТОПИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	17
2.1 Режимы работы и типы вентиляционно-отопительных установок	17
2.2 Выбор электропривода вентиляционной установки	17
2.3 Электропривод для регулирования микроклимата в животноводческих помещениях	20
3 ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВОК ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОРОШЕНИЯ	23
3.1 Общие сведения	23
3.2 Выбор мощности двигателя для привода насоса	25
3.3 Режим работы привода и допустимая частота включе- ний, регулирование производительности электронасос- ных установок	27
3.4 Автоматическое управление приводом насосных станций	30
3.5 Выбор электропривода установок для орошения	33
3.6 Выбор исполнения электродвигателей для ороситель- ных насосных станций	35
3.7 Пуск электродвигателей привода оросительных уста- новок	35
4 ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ И МЕХАНИЗМОВ	41
4.1 Общие сведения	41
4.2 Электропривод стационарных механизмов	41
4.3 Электропривод крановых механизмов	48
4.4 Статические нагрузки двигателей основных механиз- мов кранов	49
4.5 Требования к механическим характеристикам элек- троприводов крановых механизмов	52
5 ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВОК ДЛЯ ДОЕНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА	55
5.1 Общие сведения	55
5.2 Электропривод ротационных вакуум-насосов доиль-	

ных установок	55
5.3 Электропривод холодильных машин	57
5.4 Электропривод сепараторов молока	59
5.5 Электропривод по системе преобразователь частоты асинхронный двигатель	68
6 ЭЛЕКТРОПРИВОД РУЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ	70
6.1 Электроинструменты и выбор оптимальной частоты вращения электродвигателя	70
6.2 Двигатели и источники питания электроинструмента	71
7 ЭЛЕКТРОПРИВОД МОБИЛЬНЫХ МАШИН	74
7.1 Способы снабжения электрической энергией	74
7.2 Электрокары, электропогрузчики, кормораздаточные тележки	75
7.3 Электропривод прицепных машин	75
8 ЭЛЕКТРОПРИВОД СТЕНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	77
8.1 Общие сведения	77
8.2 Электропривод обкаточных стендов двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	78
8.3 Структурные схемы обкаточных стендов	80
8.4 Технологическая схема стенда	83
8.5 Энергетические характеристики стенда	84
8.6 Механические характеристики	85
8.7 Электрические схемы обкаточных стендов	87
9 ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ И МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ	94
9.1 Электропривод круглопильных деревообрабатывающих станков	94
9.2 Электропривод лесопильной рамы	95
9.3 Электропривод металлообрабатывающих станков	98
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конспект лекций является продолжением учебного пособия Электропривод: конспект лекций. Часть I / Р.С.Аипов. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. – 104 с. Конспект написан в соответствии с рабочей программой дисциплины «Электропривод» для специальности 110302 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства.

В конспекте принят следующий порядок изложения материала: понятие о рациональном электроприводе и условия его выбора; электропривод вентиляционно-отопительных установок; установок для водоснабжения и орошения; подъемно-транспортных устройств и механизмов; установок для доения и первичной обработки молока; ручного инструмента; мобильных машин; стендов для обкатки и испытания автотракторных двигателей; деревообрабатывающих и металлообрабатывающих станков.

Конспект лекций не претендует на то, чтобы стать заменой классических учебников по электроприводу, однако, он может облегчить усвоение учебного материала. Основная задача авторов заключается в том, чтобы просто и ясно при умеренном объеме изложить материал по указанным вопросам.

При написании конспекта лекций использовались основополагающие работы по электромеханике (И.П.Копылов, В.В.Попов), электрическим машинам (А.И.Вольдек, М.П.Костенко, Л.М.Пиотровский), электроприводу (А.А.Булгаков, Н.Ф.Ильинский, А.С.Сандлер, А.П.Фоменков, М.Г.Чиликин).

1 ПОНЯТИЕ О РАЦИОНАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ И УСЛОВИЯ ЕГО ВЫБОРА

Рациональный электрический привод (ЭП) подразумевает рациональное сочетание всех свойств и элементов привода (двигателя, передачи, пусковой и защитной аппаратуры) со свойствами технологического процесса и рабочей машины.

Необходимые сведения для проектирования рационального ЭП содержатся в приводных характеристиках рабочей машины – технологической, кинематической, энергетической, нагрузочной, механической и инерционной.

Технологическая характеристика показывает последовательность операций по обработке или видоизменению продукта, дает представление об усилиях, моментах в зависимости от различных факторов (времени, состоянии материала и рабочих органов, скорости), о загрузке машины, а также определяет требования к скоростному режиму машины, схеме управления, порядку пуска и остановки машин, защите от возможных технологических перегрузок и др.

Технологическая характеристика необходима для анализа и расчета других приводных характеристик, проектирования схем управления, выбора ЭП по исполнению, защите от окружающей среды (сухое помещение, сухое неотапливаемое, сырое, пожароопасное, взрывоопасное). Изображается характеристика в виде схемы или рабочей диаграммы.

Кинематическая характеристика показывает последовательность передачи движения от двигателя к рабочим органам машины, содержит данные о характере движения (вращательное, поступательное или сложное), величине передаточных отношений, угловой или линейной скорости, моментах сопротивления и инерции, приведенных к одной скорости; позволяет рассчитать траектории движения и возникающие ускорения перемещающихся масс машины.

Кинематическая характеристика изображается в виде схемы, составляется путем детального изучения машины: замера диаметра шкивов, приводных барабанов, подсчета числа зубьев шестерен и определения передаточных отношений. Кроме того, необходимо выявить наличие зазоров и упругих элементов для оценки их влияния на величину изменения момента инерции, сопротивления или усилия в начале трогания машины. Даже небольшие зазоры и удлинения за счет упругих деформаций ΔL вследствие большого передаточного от-

ношения, оказываются существенными при приведении их к валу электродвигателя:

$$\Delta L = (\sum \Delta l + \sum \Delta \delta) i, \quad (1.1)$$

где Δl – удлинения от упругих деформаций отдельных элементов кинематической схемы;

$\Delta \delta$ – зазоры между отдельными элементами в кинематической схеме;

i – передаточное отношение между валом двигателя и рабочей машиной.

Анализ этих факторов позволяет оценить их влияние на изменение момента инерции J , сопротивления M_c в период переходных процессов и представить систему ЭП - рабочая машина в виде одномассового или многомассового звена (рисунок 1.1).

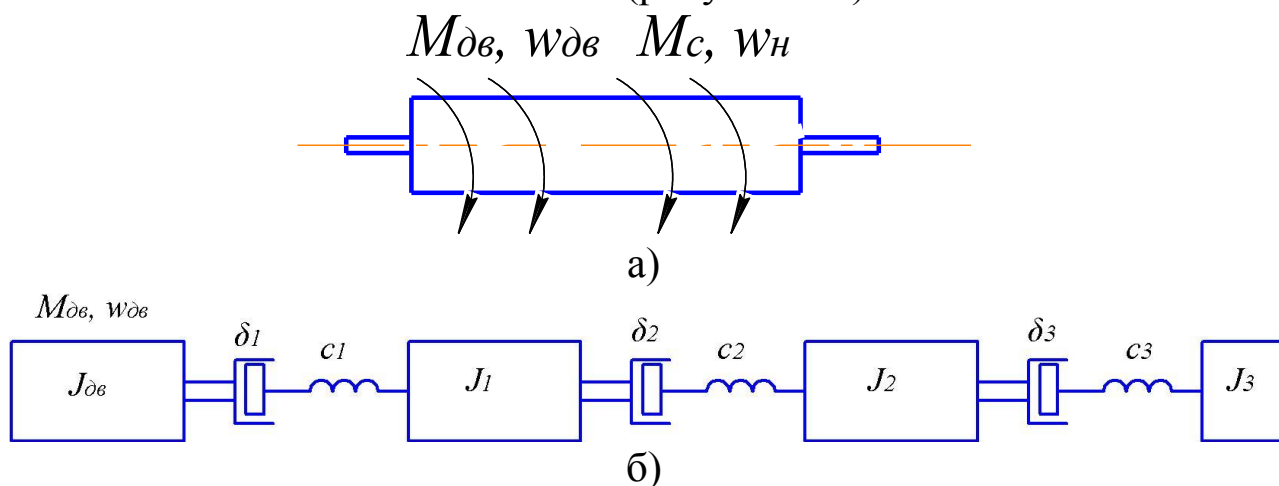


Рисунок 1.1 Система ЭП - рабочая машина в виде одномассового а) или многомассового б) звена: w – угловая скорость; δ_i – зазор; c_i – коэффициент жесткости.

Энергетическая характеристика показывает распределение энергии между отдельными рабочими узлами машины и энергоемкость машины в целом. Изучение энергетической характеристики позволяет обосновать место установки приводного двигателя для привода рабочей машины, имеющей несколько рабочих органов. Обычно двигатель устанавливается ближе к наиболее энергоемкому узлу, чтобы избежать добавочных потерь в передачах. Энергетическая характеристика оказывает влияние на механическую, инерционную и нагрузочную характеристику. Она необходима для проектирования многодвигательного ЭП.

Нагрузочная характеристика или диаграмма представляет собой зависимость момента сопротивления M_c , усилия F_c или мощности P_c рабочей машины от времени t , углового α или линейного S пути. Она необходима для определения режима работы двигателя, выбора его мощности и проверки на нагрузочную способность.

Рабочие машины в сельском хозяйстве работают, как с постоянной или мало меняющейся нагрузкой, так и с переменной.

К машинам, работающим с постоянной нагрузкой относятся вентиляторы, центробежные насосы, сепараторы, подъемные механизмы, ленточные, шнековые и скребковые транспортеры и др.

С переменной нагрузкой работают дробилки, соломосилосорезки, сеносоломопрессы, пилорамы, поршневые насосы, компрессоры, штанговые, канатно-скреперные, скреперные навозоуборочные транспортеры, бункерные, телескопические, скребковые и ленточные кормораздатчики. У данных машин нагрузка зависит от времени или пути, пройденного рабочими органами.

У рабочих машин, имеющих в кинематической схеме кривошипно-шатунные механизмы (сеносоломопрессы, пилорамы, поршневые насосы, компрессоры и решетные станы зерноочистительных машин) момент сопротивления зависит от угла поворота кривошипа.

Нагрузочные диаграммы рабочих машин, работающих с переменной нагрузкой (рисунок 1.2), в зависимости от величины отношения максимального момента сопротивления к среднему ($K = \frac{M_{c\max}}{M_{c\text{ср}}}$), разделяются на три группы.

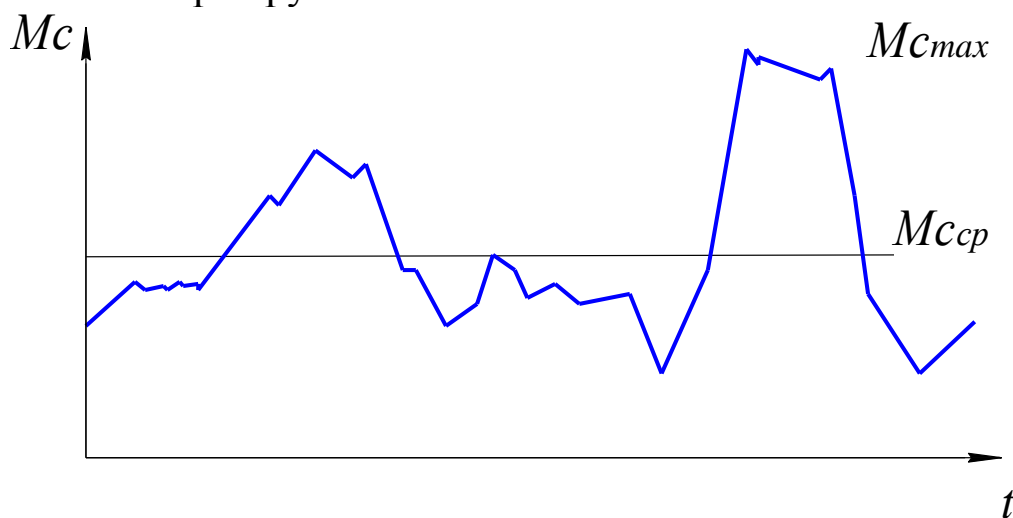


Рисунок 1.2 Нагрузочная диаграмма машины, работающей с переменной нагрузкой.

Если $K < 1,4$, то машины с такими нагрузочными диаграммами имеют слабую переменную нагрузку, при $K = 1,4 \dots 2$ – умеренно переменную и при $K > 2$ – резко переменную нагрузку.

В случае резко переменной нагрузки для сглаживания пика нагрузки применяют маховиковый привод. Для умеренно переменной нагрузки дополнительный маховик используют в особом случае. Для машин со слабопеременной нагрузкой маховик используют только тогда, когда рабочая машина предъявляет повышенные требования к колебаниям скорости.

В электроприводах, где применяется маховик, в период резкого увеличения нагрузки часть ее покрывается электродвигателем, а часть – маховиком. Происходит это вследствие снижения скорости ЭП во время пика нагрузки, благодаря чему часть кинетической энергии, запасенной маховиком, передается на вал привода.

При перепаде скорости от w_1 до w_2 энергия маховика [Дж], отдаваемая на вал привода, составит:

$$A = \frac{J(w_1^2 - w_2^2)}{2}. \quad (1.2)$$

В период спада нагрузки, когда скорость электропривода возрастает, в маховике вновь увеличивается запас кинетической энергии.

Ударная нагрузка, вызывая колебания момента и тока двигателя, приводит, кроме того, к увеличению переменных потерь в двигателе и сети, поскольку эти потери пропорциональны квадрату тока. Выравнивание графика нагрузки приводит к снижению этих потерь.

Поясним сказанное примером (рисунок 1.3).

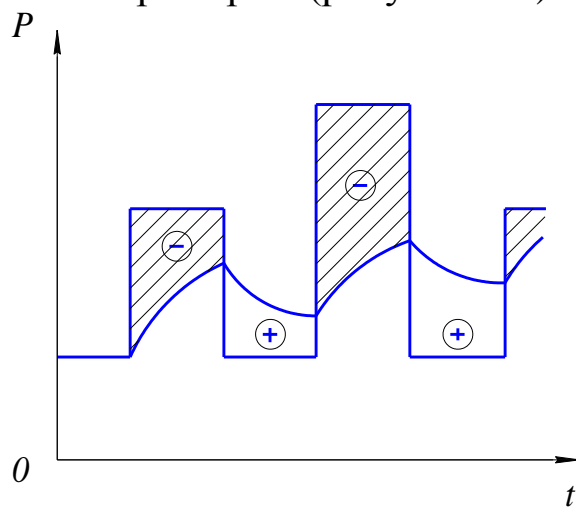


Рисунок 1.3 Распределение нагрузки между двигателем и маховиком.

Допустим, что нагрузка P изменяется от P_0 до $3P_0$ за время работы $t/2$. При постоянном напряжении сети переменные потери будут пропорциональны квадрату мощности

$$Q_1 = c(3P_0)^2 \frac{t}{2} + c(P_0)^2 \frac{t}{2} = 5P_0 ct, \quad (1.3)$$

где c – коэффициент пропорциональности.

Если бы удалось полностью выровнять график нагрузки до некоторой средней величины

$$P_{cp} = \frac{3P_0 + P_0}{2} = 2P_0, \quad (1.4)$$

то потери за цикл составили бы

$$Q_2 = c(2P_0)^2 t = 4P_0 ct. \quad (1.5)$$

Таким образом, выравнивание графика нагрузки в этом примере привело бы к уменьшению потерь на 20%. При большей неравномерности графика уменьшение потерь после его выравнивания было бы еще более значимым.

Благодаря указанным обстоятельствам при наличии маховика двигатель может быть выбран с меньшей номинальной мощностью и меньшим нагрузочным моментом.

По действительным распределениям нагрузки между двигателем и маховиком можно определить значение махового момента, необходимого для выравнивания ударной нагрузки, исходя из условия, что если пренебречь электромагнитными процессами в двигателе, то момент развиваемый двигателем в функции времени для любого участка работы определяется как экспонента

$$M = M_c \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right) + M_0 e^{-\frac{t}{T_M}}, \quad (1.6)$$

где T_M - электромеханическая постоянная времени асинхронного двигателя,

$$T_M = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H},$$

где ω_0 - синхронная скорость;

s_H - номинальное скольжение.

На рисунке 1.3 заштрихованные участки со знаком минус означают энергию, отдаваемую маховиком, а со знаком плюс показывают дополнительную энергию, идущую от двигателя на зарядку маховика.

Заметим, что кормораздатчики и навозоуборочные транспортеры работают в кратковременном режиме.

Кормоприготовительные машины, насосы могут работать в кратковременном, повторно-кратковременном или продолжительном режиме.

Вентиляционно-отопительные установки принимаются как работающие в любое время суток.

Нагрузочные диаграммы рабочих машин можно рассчитать теоретически с использованием опытных коэффициентов или определить экспериментально. Расчет нагрузочных диаграмм при большом диапазоне разброса коэффициентов опытных данных позволяет получить весьма приближенные результаты. Кроме того, значения необходимых опытных коэффициентов не всегда приводятся в литературе. Поэтому необходимы дальнейшие экспериментальные исследования нагрузочных диаграмм рабочих машин. Для замера момента сопротивления или усилия используются динамометры, тензодатчики или другие средства. В установившемся режиме нагрузочную диаграмму можно определить по току двигателя или мощности, потребляемой из сети.

Механическая характеристика отражает механические свойства машины и особенности протекания производственного процесса. Она представляет собой зависимость момента сопротивления или усилия от скорости рабочей машины и используется при анализе производственных процессов, определении возможности пуска и устойчивой работы ЭП, построении нагрузочной диаграммы ЭП при пуске и обосновании способа регулирования скорости приводного двигателя.

Для экспериментального определения механических характеристик часто используют систему генератор-двигатель (Г-Д). Замеряя силу тока и напряжение при установившейся скорости по известной методике, рассчитывают M_c . Для машин с постоянным и достаточно большим моментом инерции J зависимость M_c от ω определяют следующим образом.

Рабочую машину сначала разгоняют до установившейся скорости. Затем отключают приводной двигатель и снимают кривую выбега, замеряя скорость и соответствующее ей время (рисунок 1.4). Кривую выбега в зависимости от кинематической схемы можно снимать только для рабочей машины и для рабочей машины с двигателем.

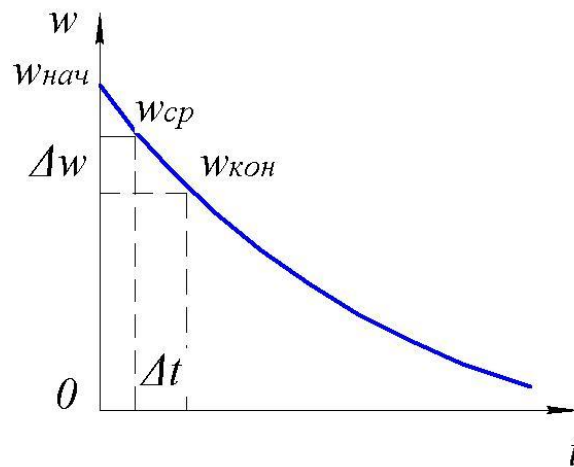


Рисунок 1.4 Зависимость $w=f(t)$ при выбеге.

Построив зависимость $w=f(t)$, находят среднюю величину ускорения на определенном отрезке времени Δt . Для этого кривую выбега разбивают на ряд участков и на каждом из них определяют величину ускорения:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta w_i}{\Delta t}, \quad (1.7)$$

где $\Delta w_i = w_{нач\ i} - w_{кон\ i}$ — соответственно, начальные и конечные значения скорости на участке.

Момент сопротивления определяют исходя из следующих соображений. При отключении двигателя в период выбега уравнение движения имеет вид:

$$-M_c = J \frac{dw}{dt}, \quad (1.8)$$

или, переходя к конечным приращениям, выражение для момента сопротивления на отдельных участках можно записать так:

$$-M_c = J \frac{\Delta w}{\Delta t}, \quad (1.9)$$

или

$$-M_{ci} = J \varepsilon_i. \quad (1.10)$$

Подсчитав значение M_c и определив среднюю скорость на каждом участке, получают данные для построения механической характеристики.

Если кривая выбега снималась для рабочей машины с двигателем, то момент сопротивления рабочей машины определяют по формуле

$$M_{cp} = M_c - M_{c\partial x}, \quad (1.11)$$

где $M_{c\partial x}$ – момент сопротивления двигателя при выбеге.

По кривой выбега и величине момента инерции механическую характеристику можно получить другим путем. Для этого на кривой выбега выбирают точки 1, 2...n, через которые проводят касательные до пересечения с осью времени. Из точки 6 проводят линии 2'-6, 3'-6, 4'-6, 5'-6 параллельные касательным в точках 1, 2, 3, 4, 5. Отрезки 0-1, 0-2', 0-3', 0-4', 0-5' пропорциональны ускорениям в точках 1, 2, 3, 4, 5. После этого строят зависимость $\varepsilon = f(w)$, которая в масштабе является механической характеристикой (рисунок 1.5).

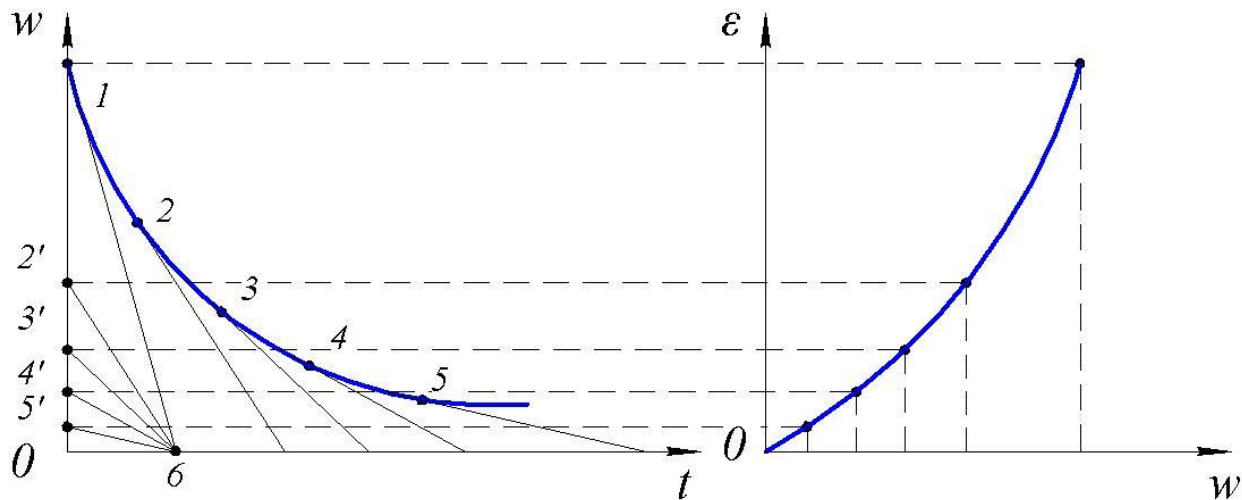


Рисунок 1.5 Способ построения механической характеристики с использованием кривой выбега.

Масштаб момента сопротивления определяется по формуле

$$M_m = \mu_\varepsilon \cdot J, \quad (1.12)$$

$$\text{где } \mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon_i}{0-1} = \frac{w_i}{(0-6)\mu_t(0-1)};$$

ε_i, w_i – соответственно, ускорение и скорость в выбранной точке;

μ_t – масштаб времени на кривой выбега.

Момент трогания можно определить с помощью рычага и груза, троса и динамометра, тензодатчиков, а также по току двигателя при трогании. Для этого в качестве приводного используется двигатель постоянного тока. При номинальном токе возбуждения медленно увеличивают напряжение на якоре до момента трогания рабочей машины и по известной методике определяют $M_{тр}$. Некоторые спосо-

бы определения момента трогания показаны на рисунке 1.6. Опыты необходимо проводить при различных положениях вала.

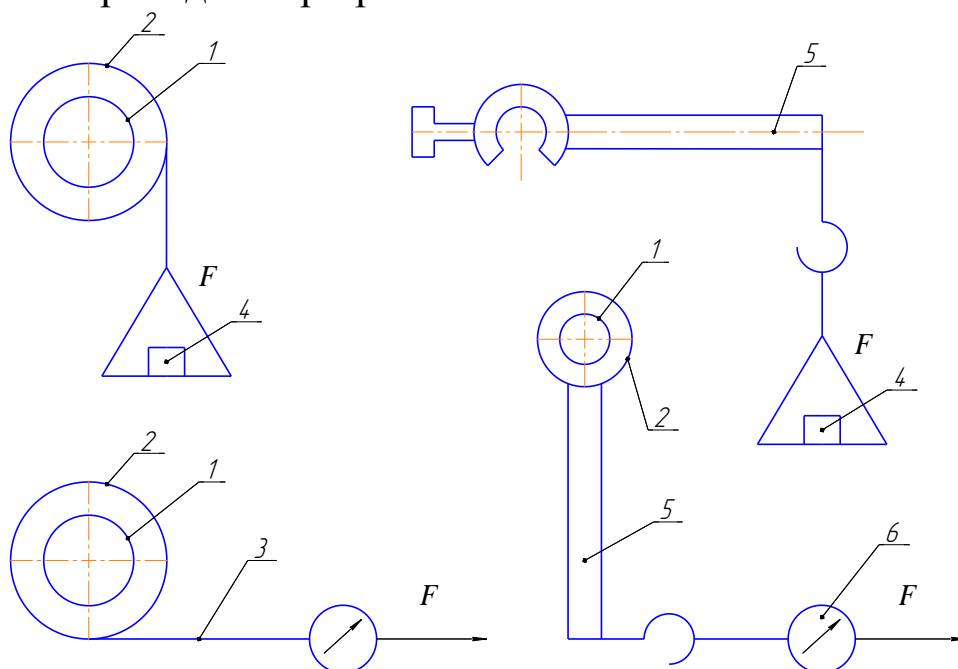


Рисунок 1.6 Некоторые способы определения момента трогания:
1 – вал рабочей машины; 2 - шкив; 3 –трос; 4 – груз; 5 – рычаг;
6 - динамометр

Инерционная характеристика представляет собой зависимость момента инерции J рабочей машины от времени, линейного или углового пути. Момент инерции используется для определения времени пуска и торможения, исследования переходных процессов и определения динамических усилий и моментов.

Электрифицированные рабочие машины, имеющие невысокую скорость приводного вала и рабочих органов, обладают небольшим приведенным моментом инерции, который составляет 20...40% от момента инерции двигателя.

Дробилки, соломосилосорезки, измельчители кормов, центрифуги, сепараторы, вентиляторы и вихревые насосы имеют большую угловую скорость рабочих органов, поэтому при значительной массе вращающихся частей машины величина момента инерции существенна.

Большинство сельскохозяйственных машин – это машины с постоянным моментом инерции, т.к. переменная составляющая от перерабатываемого или перемещаемого продукта не превышает 5...15 % от суммарного момента инерции. У машин с кривошипно-шатунным механизмом (сеносоломопрессов, лесопильных рам, компрессоров и

др.) в кинематической схеме момент инерции переменный. При отсутствии данных о величине момента инерции рабочих машин для его определения можно использовать геометрические размеры:

для сплошного цилиндра (рисунок 1.7, а)

$$J = m \frac{R^2}{2}, \quad (1.13)$$

где m – масса цилиндра, кг;

R – радиус цилиндра, м;

для полого цилиндра (рисунок 1.7, б)

$$J = m \frac{R^2 + r^2}{2}, \quad (1.14)$$

где r – внутренний радиус цилиндра, м;

для плоского тела с осью вращения (рисунок 1.7, в)

$$J = m \frac{a^2 + b^2}{12}, \quad (1.15)$$

где a, b – высота и ширина прямоугольного тела, м;

для цилиндрического тела (рисунок 1.7, г)

$$J = m \frac{l^2 + 3R^2}{2}. \quad (1.16)$$

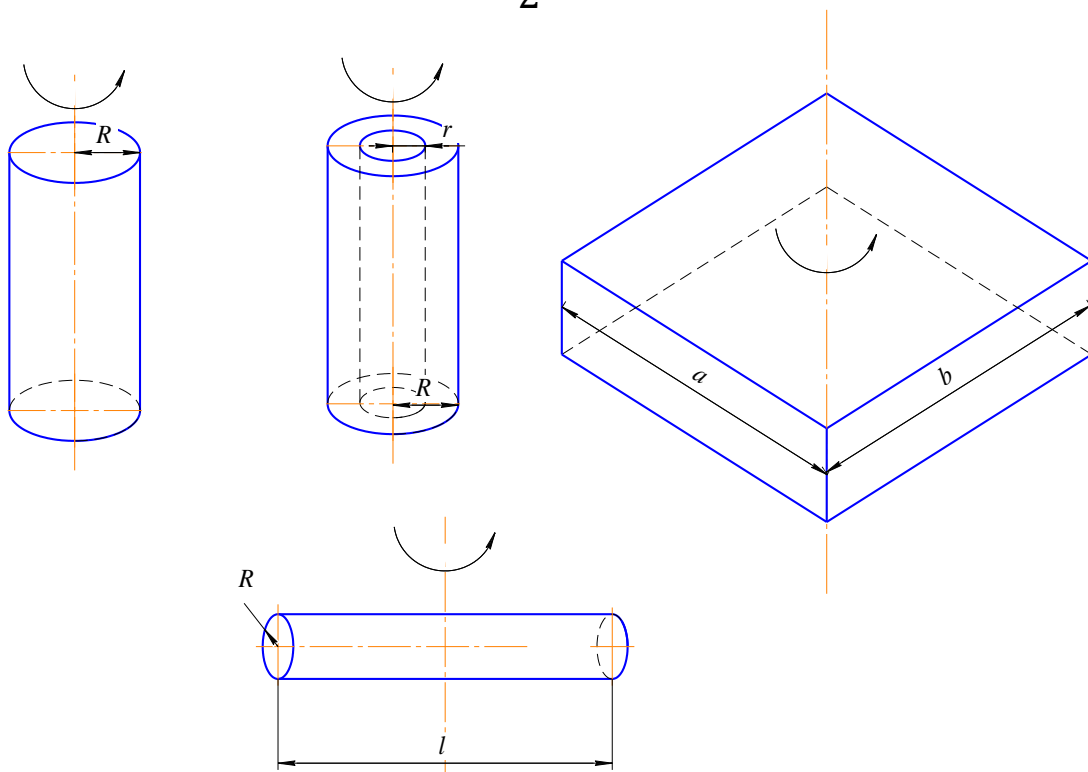


Рисунок 1.7 Экспериментальные методы определения момента инерции.

Экспериментально момент инерции можно определить несколькими методами.

Метод навешивания дополнительных маховиков – на вал машины или двигателя навешивают маховик с известным моментом инерции J_1 . Затем разгоняют рабочую машину до установившейся скорости и замеряют продолжительность остановки. То же самое выполняют с другим маховиком с моментом инерции J_2 . Чтобы момент сопротивления M_c при выбеге в обоих случаях был одинаковым, массы маховиков должны быть одинаковы. Обоснование метода заключается в следующем. После отключения двигателя основное уравнение движения имеет вид:

$$-M_c = J \frac{dw}{dt}. \quad (1.17)$$

Отсюда время выбега от $w_{нач}$ до нуля с первым маховиком

$$t_1 = -(J_d + J_m + J_1) \int_{w_{нач}}^0 \frac{dw}{M_c}, \quad (1.18)$$

где J_d , J_m – моменты инерции двигателя и машины соответственно.

Время выбега со вторым маховиком

$$t_2 = -(J_d + J_m + J_2) \int_{w_{нач}}^0 \frac{dw}{M_c}. \quad (1.19)$$

Решив совместно эти уравнения, получим

$$\int_{w_{нач}}^0 \frac{dw}{M_c} = \frac{t_1}{J_d + J_m + J_1} = \frac{t_2}{J_d + J_m + J_2}, \quad (1.20)$$

откуда

$$J_d + J_m = \frac{J_2 \cdot t_1 - J_1 \cdot t_2}{t_2 - t_1}. \quad (1.21)$$

Если кривая выбега снималась только для машины, то сразу получим J_m .

2 ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯЦИОННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

2.1 Режимы работы и типы вентиляционно-отопительных установок

Для поддержания качественного состава воздуха в производственных помещениях (особенно на животноводческих фермах) необходима систематическая вентиляция с обменом воздуха во всех слоях. Влияние воздушной среды на животных обуславливается суммарным воздействием температуры, влажности и скорости воздуха, его химическим составом и содержанием в нем механических примесей. Наибольшее воздействие на физиологическое состояние организма и его продуктивность оказывают температура и влажность воздуха.

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

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

Современное интенсивное животноводство с характерной для него повышенной концентрацией поголовья на фермах требует интенсивного воздухообмена, обеспечение которого невозможно без применения электровентиляторов.

2.2 Выбор электропривода вентиляционной установки

Наиболее распространенными конструкциями вентиляционных установок являются конструкции, монтируемые на кровле зданий, так что они не занимают полезной площади сооружений. Двигатель вертикального исполнения приводит в движение центробежный или осевой вентилятор, колеса которых расположены непосредственно на валу двигателя.

Для вентилятора в первом приближении можно принять, что момент сопротивления M_{CB} при частоте вращения n равен:

$$M_{CB} \equiv n^2, \quad (2.1)$$

а, следовательно, мощность вентилятора

$$P \equiv n^3, \quad (2.2)$$

что обязательно нужно учитывать при выборе мощности электродвигателя. Так, если, исходя из удобства монтажа, увеличивают скорость вращения вентилятора на 10%, то необходимая мощность электродвигателя возрастет в $1,1^3$, или на 33%.

Мощность электродвигателя [кВт] определяется производительностью и давлением, развиваемым вентилятором:

$$P = k \frac{L \cdot p}{\eta_e \cdot \eta_n}, \quad (2.3)$$

где L - производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

p - давление (выбирается из расчета подачи воздуха к самой удаленной точке воздухопровода), $\text{Н}/\text{м}^2$;

η_e, η_n - соответственно, КПД вентилятора и передачи;

k - коэффициент запаса мощности, учитывающий не выявленные расчетные факторы ($k = 1,05 \dots 1,15$).

Производительность вентилятора вычисляют по вентиляционной норме L_n и количеству голов скота n_c в помещении:

$$L = L_n \cdot n_c. \quad (2.4)$$

Вентиляционная норма

$$L_n = \frac{L_{жс}}{l_o - l_e}, \quad (2.5)$$

где $L_{жс}$ - количество вредных веществ, выделяемых животными, $\text{м}^3/\text{ч}$;

l_o - допустимое по нормам количество вредных веществ, относительных единиц;

l_e - количество вредных веществ в наружном воздухе, относительных единиц.

Определение вентиляционной нормы для конкретных условий выполняют несколько раз: 1) по выделению углекислого газа; 2) по выделению аммиака; 3) по выделению воды; 4) по избытку тепла в помещении. Расчет ведут по наибольшей полученной норме.

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

Регулирование производительности электровентиляционных установок может быть: 1) двухпозиционное, применительно как к одному вентилятору, так и к группе вентиляторов, когда регулирование осуществляется количеством включенных вентиляторов; 2) изменением сечения воздухопровода; 3) изменением частоты вращения электродвигателя.

Рассмотрим третий способ. Регулирование скорости асинхронного двигателя изменением напряжения питания основано на квадратичной зависимости момента M асинхронного двигателя от напряжения U на его зажимах. В области скольжений $s < s_{кр}$ ($s_{кр}$ - критическое скольжение)

$$M \equiv U^2 s. \quad (2.6)$$

При постоянном моменте $s \equiv \frac{1}{U^2}$, следовательно, снижая напряжение можно увеличивать скольжение (уменьшать угловую скорость) в пределах от нуля до критического.

Диапазон регулирования двигателей обычного исполнения невелик. С целью его расширения применяют короткозамкнутый асинхронный двигатель с повышенным скольжением.

Этот способ регулирования прост и надежен, позволяет плавно регулировать частоты вращения. Напряжение на зажимах двигателя изменяют при помощи автотрансформатора или электронного регулятора напряжения.

Регулирование частоты вращения асинхронного короткозамкнутого двигателя переключением числа пар полюсов p основано на зависимости

$$n = \frac{60f}{p} (1 - s), \quad (2.7)$$

где f - частота тока статора.

Однако технико-экономические показатели многоскоростных асинхронных двигателей несколько хуже. 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 больший момент (и наоборот).

Оценим нагрузку двигателя на низшей частоте вращения. Если U_n - номинальное линейное напряжение, а I_n - номинальный ток обмотки, то мощность, соответствующая высшей частоте вращения

$$P_{\Delta} = 3U_n \cdot 2I_n \cdot \cos\varphi_{\Delta}\eta_{\Delta}, \quad (2.8)$$

а мощность, соответствующая низшей частоте вращения:

$$P_Y = \sqrt{3}U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_Y\eta_Y. \quad (2.9)$$

Предполагая $\cos\varphi_{\Delta} \approx \cos\varphi_Y$ и $\eta_{\Delta} \approx \eta_Y$, получим, что мощность на высшей частоте вращения в $2\sqrt{3} \approx 3,46$ раза больше, чем на низшей, и, значит, момент больше в 1,73 раза.

В тоже время момент вентилятора при снижении частоты вращения в 2 раза, уменьшается в 4 раза. Следовательно, двигатель на низшей частоте вращения недогружен по моменту на 43,3%.

Преимущества этого способа заключается в отсутствии потерь при регулировании, сохранении жесткости характеристик асинхронного двигателя. К недостаткам его следует отнести ступенчатость регулирования при ограниченном числе ступеней и ухудшение технико-экономические показателей в области малых скоростей.

2.3 Электропривод для регулирования микроклимата в животноводческих помещениях

Автоматическая вентиляционная установка (рисунок 2.1) с подогревом воздуха состоит из вентилятора $M1$, электрокалорифера $ЭК$, магнитных пускателей $KM1$ и $KM2$, датчиков температуры $SK1$ и $SK2$, теплового реле $KK1$, плавких предохранителей $FU1-FU3$.

Датчик температуры $SK1$ устанавливается внутри помещения на высоте 1,5 м от пола и в 5 м от наветренной стороны коровника. При повышении температуры замыкаются контакты $SK1$, контакты магнитного пускателя $KM1.1$ и вентилятор $M1$ начинает работать. Когда температура внутри помещения уменьшится до определенного значения, контакты $SK1$ разомкнутся и пускатель $KM1$ отключит двигатель вентилятора.

Датчик $SK2$ автоматически включает калорифер при снижении температуры наружного воздуха по сравнению с заданной (например, до -1°C).

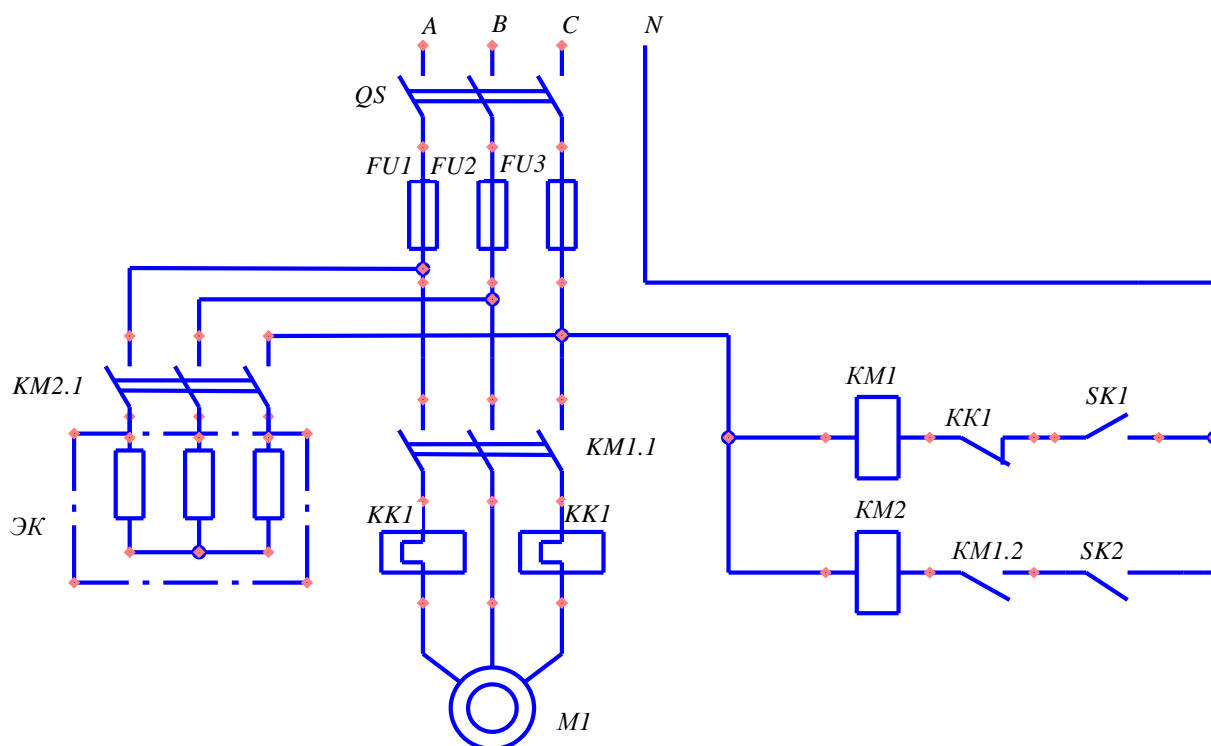


Рисунок 2.1 Схема автоматической вентиляционной установки с подогревом воздуха.

Блок-контакты *KM1.2* в цепи пускателя *KM2* предотвращают возможность работы электрокалорифера при выключенном двигателе *M1*.

Автоматическое регулирование микроклимата обеспечивает менее резкие колебания температуры и значительно снижает влажность воздуха.

Амплитуда колебаний температуры с учетом зоны нечувствительности не превышает $1,5^{\circ}\text{C}$ и определяется из условий, характеризующих двухпозиционное регулирование.

В коровнике на 100 голов при 2-3 разовых включениях в час установка мощностью 3...5 кВт обеспечивает 2...2,5 кратный обмен воздуха. Температура воздуха поддерживается на уровне $6-8^{\circ}\text{C}$. При температуре наружного воздуха -22°C влажность воздуха внутри помещения не превышает 75-80%. В качестве датчиков температуры чаще всего применяют электроконтактные термометры типа ТК-6 с регулируемой магнитной головкой.

Промышленность выпускает большую гамму автоматического оборудования для создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях серии «Климат 4», «Климат 44», «Климат 45», «Климат 47». В состав оборудования входят десятки регули-

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

Среди серьезных установок выпускаемых промышленностью для решения задач поддержания или регулирования микроклимата можно отметить:

1. Электрооборудование ОРМ-1 – это оборудование для поддержания оптимального микроклимата в теплицах площадью до 1000 м².

2. Электропривод установок для регулирования температурного режима в хранилищах с активной вентиляцией (например, технологический процесс хранения картофеля и овощей разделяется на три основных периода – лечебный (продолжительность 10...15 дней со строгой выдержкой влажности и температуры), охлаждения (20...40 дней со снижением температуры до оптимального значения) и основного хранения).

3. Электропривод бункеров активного вентилирования зерна (сушка в бункерах целесообразна при высокой влажности зерна).

3 ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВОК ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОРОШЕНИЯ

3.1 Общие сведения

Для обеспечения животноводческих ферм и комплексов водой в настоящее время применяют следующие системы водоснабжения:

для небольших и средних ферм водоснабжение осуществляется на базе башенных насосных установок, причем башня служит одновременно резервуаром для создания хозяйственного запаса воды и напорным устройством;

для водоснабжения небольших жилых поселков и отдельных ферм применяют безбашенные насосные установки, отличающиеся компактностью, значительно меньшей металлоемкостью, но имеющие ограниченную производительность;

для животноводческих комплексов с потреблением воды, превышающим $80 \dots 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ водоснабжение осуществляется, как и промышленных объектов – в два подъема (рисунок 3.1). Погружные насосы 1 подают воду в промежуточную емкость 2, откуда при помощи нескольких центробежных насосов 3 вода направляется в водопроводную сеть. Для обеспечения водой потребностей комплекса и других подсобных предприятий используют от двух до пяти центробежных насосов, из которых одна часть является основной, а другая – резервной. Кроме того устанавливается противопожарный насос.

Если подача воды насосами второго подъема превышает водопотребление, избыточное количество воды поступает в воздушно-водяной бак 4 и сжимает находящийся там воздух. Когда водопотребление превышает подачу, вода в распределительную сеть поступает из воздушно-водяного бака 4 и снижает давление находящегося в баке воздуха.

При работе насоса на водонапорную башню, водонапорный бак воспринимает разность расхода насоса и потребителей и выравнивает давление воды у потребителей.

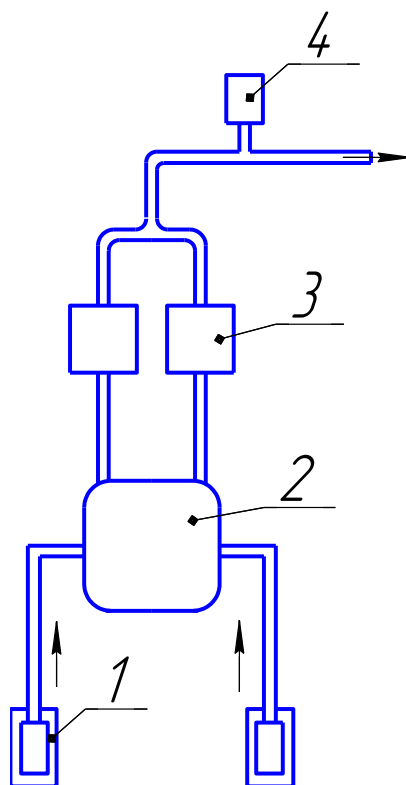


Рисунок 3.1 Схема системы водоснабжения животноводческих комплексов в два подъема.

При включенном насосе вода будет поступать к потребителю и в водонапорный бак, заполняя регулируемый объем V_p (рисунок 3.2). Как только бак заполнится, насос отключается, и потребители получают воду из бака. При достижении водой в баке нижнего уровня насос снова включается.

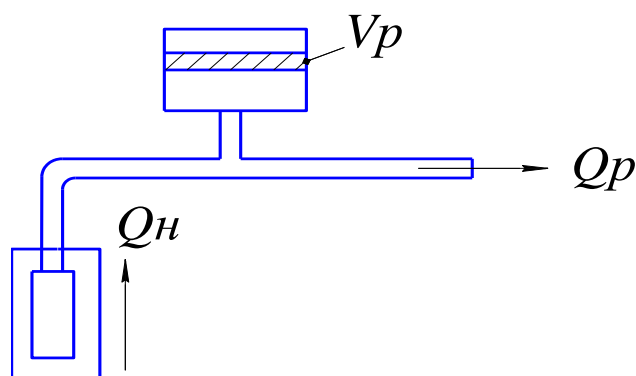


Рисунок 3.2 Схема работы насосной станции с регулируемым рабочим объемом напорного бака.

Непосредственная подача воды от центробежного насоса в напорную сеть без регулирования экономична лишь при максимальном расходе воды $30 \dots 80 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Когда максимальный расход не превышает 30 м³/ч, наиболее экономично использовать одноагрегатные, а при максимальном расходе до 60 м³/ч – двухагрегатные электронасосные установки с напорными котлами.

3.2 Выбор мощности двигателя для привода насоса

Производительность насоса для водоснабжения находят из следующего соотношения:

$$Q_n = Q_{\max \text{ ч}} = \frac{K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{сут}} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{24\eta}, \quad (3.1)$$

где $Q_{\max \text{ ч}}$ - возможный максимальный часовой расход, л/ч;

$K_{\text{ч}}$ - коэффициент неравномерности часового расхода (для поселка 1,5...2,5, для фермы с автопоилками 2...3, для фермы без автопоилок 4...5);

$K_{\text{сут}}$ - коэффициент неравномерности суточного расхода, $K_{\text{сут}}=1,1...1,3$;

η - КПД установки, учитывающий потери воды, $\eta=0,9$;

$Q_{\text{ср.сут}}$ – среднесуточный расход воды (определяется по нормам водопотребления), л/сут.

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

Напор насоса выбирают таким, чтобы он мог подать воду при необходимом давлении в заданную точку. Расчетный напор [м] определяется по формуле

$$H=H_1+ H_2+ H_3+ H_4, \quad (3.2)$$

где H_1 – высота всасывания, т.е. расстояние по вертикали от уровня воды в источнике до оси насоса;

H_2 – высота нагнетания или расстояние по вертикали от оси насоса до самой высокой точки подачи;

H_3 – потери напора в магистрали (повороты, вентили, задвижки и т.д.);

H_4 – свободный напор, обеспечивающий выход воды к потребителю с определенной скоростью.

Зная расход и напор, по каталогу выбирают насос с подходящими параметрами с учетом возможной частоты вращения приводного двигателя. По универсальной характеристике выбранного насоса уточняют его производительность Q_n , напор H_n и КПД η_n . Мощность двигателя привода определяют из условия сообщения кинетической энергии масс воды, подаваемой за секунду и преодоления потерь в насосе и в передаче

$$P_{\text{дв}} = \frac{m \cdot v^2}{2} \cdot \frac{1}{\eta_n} \cdot \frac{1}{\eta_n}, \quad (3.3)$$

где $m = \gamma \cdot F \cdot v$, масса воды, подаваемой насосом в единицу времени, кг/с;

γ - плотность воды, кг/м³;

F - внутреннее сечение трубопровода, м²;

v – скорость движения воды в трубопроводе, м/с.

Так как скорость v движения воды пропорциональна частоте вращения вала насоса, то $Q \equiv n$, а $H \equiv n^2$, значит $P_{\text{дв}} \equiv n^3$, а момент двигателя

$$M_{\text{дв}} = 9,55 \frac{P_{\text{дв}}}{n} \equiv n^2.$$

Эту зависимость следует иметь ввиду при выборе и компоновке агрегата двигатель-насос. Выбирая электронасосный агрегат по каталогу, необходимо учитывать его характеристики и характеристику магистрали, на которую работает насос.

Применяются погружные и непогружные центробежные насосы. Особенность погружных насосов заключается в том, что приводной двигатель непосредственно соединен с рабочим органом насоса. Обмотка статора имеет специальную изоляцию, допускающую работу электродвигателя в воде. Применяют электродвигатели мощностью 1...32 кВт, рассчитанные для работы в буровых скважинах диаметром от 4 до 10 дюймов.

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

В приводах непогружных центробежных и вихревых насосов используют асинхронные электродвигатели сельскохозяйственной серии (СХ) мощностью от 1,5 до 55 кВт.

В обозначении погружных двигателей ПЭДВ и ПЭДГ буквы обозначают: П – погружной, ЭД – электродвигатель, В – водонаполненный, Г – с гильзованным статором. Цифра после буквы указывает мощность двигателя в киловаттах, цифра после тире – максимальный поперечный размер электродвигателя в мм.

Обозначение погружных насосов типа ЭЦВ расшифровывается следующим образом: Э – с приводом от погружного электродвигателя, Ц – центробежный, В – для подачи воды.

Механическая характеристика центробежного насоса имеет вентиляторный вид

$$M_c = M_0 + (M_n - M_0) \left(\frac{n}{n_n} \right)^2, \quad (3.4)$$

где $M_0 = (0,05 \dots 0,3)M_n$ – момент сопротивления трения в подшипниках.

3.3 Режим работы привода и допустимая частота включений, регулирование производительности электронасосных установок

Режим работы привода определяется производительностью насоса Q_n , расходом воды в системе водоснабжения Q_p и регулируемым рабочим объемом бака V_p . График работы электронасосного агрегата показан на рисунке 3.3.

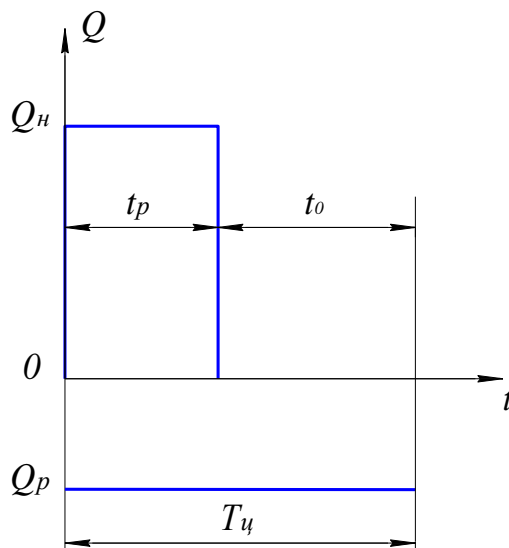


Рисунок 3.3 График работы электронасосного агрегата.

Из рисунка 3.3 следует, что время работы агрегата:

$$t_p = \frac{V_p}{Q_n - Q_p}. \quad (3.5)$$

Период паузы в работе агрегата:

$$t_o = \frac{V_p}{Q_p}. \quad (3.6)$$

Длительность одного цикла:

$$T_{\text{ц}} = t_p + t_o = \frac{V_p}{Q_n - Q_p} + \frac{V_p}{Q_p} = \frac{Q_n \cdot V_p}{Q_n \cdot Q_p - Q_p^2}. \quad (3.7)$$

Частота включений двигателя

$$z = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{Q_n \cdot Q_p - Q_p^2}{Q_n \cdot V_p}. \quad (3.8)$$

Расход при минимальной частоте включений можно определить из условия

$$\frac{dz}{dQ_p} = \frac{1}{Q_n \cdot V_p} (Q_n - 2Q_p) = 0, \quad (3.9)$$

отсюда

$$Q_p = \frac{Q_n}{2}. \quad (3.10)$$

Относительная продолжительность включения

$$\varepsilon = \frac{t_p}{T_{\text{ц}}} = \frac{V_p \cdot (Q_n \cdot Q_p - Q_p^2)}{(Q_n - Q_p) \cdot Q_n \cdot V_p} = \frac{Q_p}{Q_n}. \quad (3.11)$$

При расходе равном половине производительности насоса и при относительной продолжительности включения $\varepsilon = 0,5$, частота включений будет максимальной и равной с учетом (3.8), (3.10)

$$z_{\text{max}} = \frac{\frac{Q_n^2}{2} - \frac{Q_n^2}{4}}{Q_n \cdot V_p} = \frac{Q_n}{4V_p}. \quad (3.12)$$

Это выражение позволяет найти рабочий объем бака или котла:

$$V_p = \frac{Q_n}{4z_{\text{max}}}. \quad (3.13)$$

Таким образом, для нормальной работы привода необходимо определенное соотношение рабочего объема регулирующей емкости и производительности насоса. Увеличение максимальной частоты включений ведет к уменьшению рабочего объема. При расходах, меньших $0,5Q_n$ частота и продолжительность включения снижаются. В некоторых случаях режим работы может быть кратковременным, а

нагрев двигателя наименьшим за цикл работы. При расходах, больших $0,5Q_n$ частота включений уменьшается, а продолжительность включений увеличивается. Когда $Q_n = Q_p$ режим работы двигателя становится продолжительным, а нагрев наибольшим. Поэтому двигатель насосной установки выбирают для продолжительного режима работы.

Полный объем бака определяют в результате анализа технологической схемы заполнения его водой (рисунок 3.4):

1) в баке объемом V_0 действует давление воздуха P_0 , а вода отсутствует;

2) вода в баке находится на нижнем уровне, при котором происходит автоматическое включение электронасоса, объем воздушной подушки V_1 , давление воздуха P_1 ;

3) вода в баке находится на верхнем уровне, объем воздуха V_2 , давление воздуха P_2 .

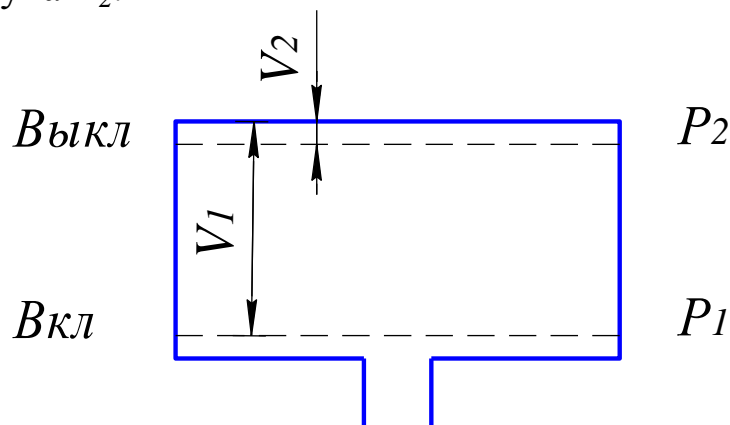


Рисунок 3.4 Схема заполнения бака водой.

Значит регулируемый объем бака $V_p = V_1 - V_2$.

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

$$V_0 P_0 = V_1 P_1 = V_2 P_2 = RT, \quad (3.14)$$

где R – газовая постоянная воздуха;

T – температура воздуха.

Отсюда следует

$$V_1 = \frac{V_0 P_0}{P_1}, V_2 = \frac{V_0 P_0}{P_2}, V_p = V_0 P_0 \frac{P_2 - P_1}{P_1 P_2}, V_p = V_0 P_0 \left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right), \quad (3.15)$$

а полный объем

$$V_0 = V_p \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1}{\left(1 - P_1/P_2\right)}. \quad (3.16)$$

Обычно давление $P_0=1$, а отношение $P_1/P_2=0,65\dots0,75$ для небольших установок и $0,8\dots0,85$ – для крупных. Давление P_1 выбирают таким, чтобы обеспечить подачу воды к самому удаленному потребителю, а давление P_2 из приведенного соотношения.

Производительность электронасосных установок регулируется включением или отключением одного двигателя или части двигателей (когда в установке имеется несколько машин), дросселированием задвижкой, изменением частоты вращения двигателя.

Двухпозиционное релейное регулирование применяется в большинстве автоматических водонасосных 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, кроме того, при увеличении частоты включения двигателя его нагрев может превысить допустимый. Поэтому двигатель должен быть проверен на допустимую частоту включений.

Регулирование дросселированием изменяет характеристику магистрали. Это регулирование применяется на нагнетающей магистрали в установках с асинхронными двигателями мощностью в несколько кВт 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.

Изменение производительности регулированием частоты вращения механизмов с вентиляторной механической характеристикой является одним из наиболее рациональных способов.

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя может быть осуществлено регулированием подводимого к двигателю напряжения, переключением числа пар полюсов, изменением сопротивления в роторной цепи, изменением частоты тока питающей сети, применением электромагнитной муфты.

3.4 Автоматическое управление приводом насосных станций

Автоматическое управление приводом насосных станций сводится к автоматическому включению электродвигателя при опорожнении регулируемого объема и его выключении при заполнении регулируемого объема. Основным элементом насосной станции – реле давления. Электроконтактный манометр устанавливают в помещении насосной станции. При этом исключается линия связи между башней и насосом. Манометр регистрирует перепад статического давления в системе при изменении объема воды в баке на $1 \dots 2 \text{ м}^3$.

В схемах автоматизации башенных водокачек применяют электродный датчик уровней (рисунок 3.5).

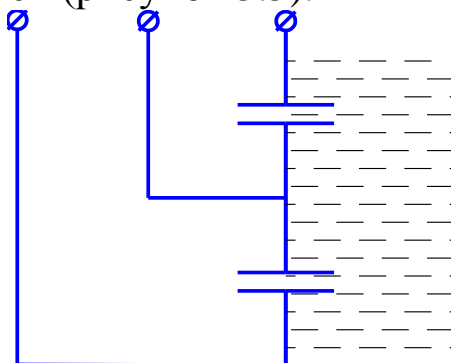


Рисунок 3.5 Электродный датчик уровня башенных водокачек.

Внутри защитного кожуха со скобой подвеса смонтированы трубчатые электроды верхнего, нижнего уровней и общий.

В центральной трубе расположен нагревательный элемент из нихромовой спирали, изолированный фарфоровыми бусами. Нагревательный элемент включают в холодное время для обогрева электродов датчика, предотвращая тем самым их обмерзание.

Схема управления погружным электронасосом предусматривает как автоматический, так и ручной режим работы, местное или дистанционное (телемеханическое) управление с диспетчерского пункта.

Погружные электродвигатели для защиты от перегрузок и неполнофазных режимов имеют быстродействующую защиту, характеристики которой не зависят от температуры окружающей среды.

При значительных расстояниях между водонапорным резервуаром и насосной станцией, в связи с трудностями настройки контактов манометра, используют однопозиционный метод регулирования. Установленный на водоводе манометр настраивают так, чтобы насос включался при давлении в водонапорном водоводе, соответствующем минимальному уровню воды в водонапорной башне. Продолжительность работы насоса должна быть не более времени заполнения регу-

лируемого объема при отсутствии водопотребления в сети. Электродвигатель насоса отключается независимо от уровня воды в баке.

Схема управления автоматической насосной станцией типов ВУ-7-65, ВУ-5-30 с воздушно-водяным котлом показана на рисунке 3.6.

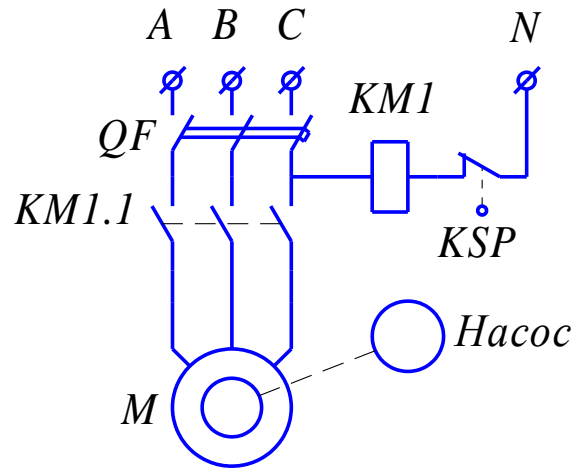


Рисунок 3.6 Схема управления автоматической насосной станцией типов ВУ-7-65, ВУ-5-30 с воздушно-водяным котлом.

Схема управления погружным электродвигателем в зависимости от минимального давления (однопозиционный метод регулирования) приведена на рисунке 3.7.

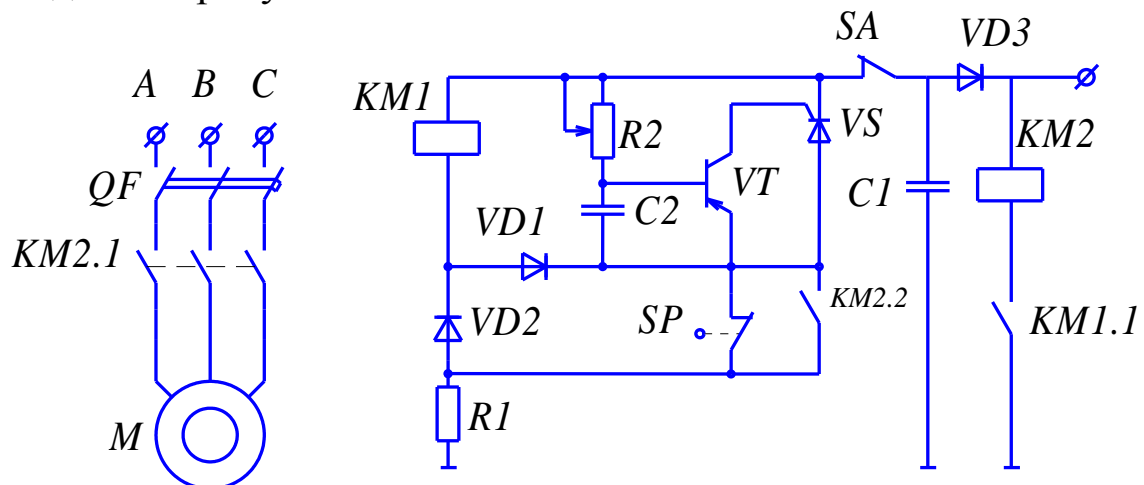


Рисунок 3.7 Схема управления погружным электродвигателем в зависимости от минимального давления.

При замыкании контактов датчика минимального давления *SP* включается реле *KM1*, которое посредством своего замыкающего контакта *KM1.1* включает магнитный пускатель *KM2*. Дальнейшей работой электродвигателя управляет полевой транзистор *VT*, тиристор *VS*, резистор *R2* и конденсатор *C2*, по мере заряда которого по-

вышается напряжение на затворе транзистора VT и при некотором его значении тиристор VS открывается и шунтирует обмотку реле KMI .

Если необходимо, то сопротивление резистора $R2$ может быть изменено с учетом изменения расхода воды в течение суток для снижения числа включений насосного агрегата.

Промышленность выпускает разнообразные насосные установки с различными типами насосов, системами автоматики (станциями управления), рассчитанные на работу от сети трехфазного тока при напряжении 380 В с одним или двумя насосными агрегатами.

3.5 Выбор электропривода установок для орошения

Производительность электронасосной установки определяется по оросительным и поливальным 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, 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 увязаны с периодами развития растений.

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

$$Q_{расч} = \frac{q_{max} \cdot F}{\eta_c}, \quad (3.17)$$

где $Q_{расч}$ – общая водоподача на всю площадь севооборота, л/с;

q_{max} – максимальная норма водоподачи по графику, $\frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{га}}$;

F – орошаемая площадь севооборота, га;

$\eta_c=0,74$ – КПД оросительной системы, учитывающий потери в открытых каналах на испарение и фильтрацию.

Норма подачи воды называется гидромодулем и вычисляется по формуле

$$q = \frac{\alpha \cdot N_n \cdot 1000}{t \cdot \tau \cdot 3600}, \quad (3.18)$$

где $\alpha = \frac{F_i}{\sum F_i}$ - доля культуры в севообороте;

F_i - площадь, занятая одной культурой;

N_n - поливная норма, м³/га;

t - поливной период, сутки;

τ - продолжительность полива в сутки, ч/сутки.

На основании особенностей развития растений составляют график водоподдачи $q=f(t)$, максимальное значение которой q_{max} используют для определения количества подаваемой воды или производительности электронасосной установки.

Расчетный напор насосной установки вычисляют по формуле

$$H_n = H_1 + H_2 + H_3 + H_4, \quad (3.19)$$

учитывая при этом конкретную схему трассировки водоподдачи.

Мощность приводного двигателя [кВт] определяют по формуле

$$P_{дв} = k_3 \frac{Q_n \cdot H_n}{\eta_n \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}. \quad (3.20)$$

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 и т.д.), в формулу вводят коэффициент запаса, значения которого в зависимости от мощности двигателя приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Значения коэффициента запаса k_3 в зависимости от мощности двигателя

Мощность двигателя $P_{дв}$, кВт	1-2	2-10	10-50	50-100	100-200	200
Коэффициент запаса k_3	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 , η_n , η_n выбирают по соответствующим каталогам, отдавая предпочтение более быстроходным, позволяющим непосредственное соединение с двигателем при синхронной частоте вращения 3000, 1500 об/мин.

Возможность пуска электронасосного агрегата определяется сочетанием его механических характеристик. Механическая характеристика асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении позволяет выполнить пуск агрегата, как с центробежным, так и

поршневым насосом. Снижение напряжения на время пуска на 20% делает невозможным пуск агрегата с поршневым насосом, в то время как с центробежным насосом пуск еще осуществим. Когда напряжение уменьшается на 50% невозможен пуск обоих агрегатов. Так как поршневые насосы характеризуются повышенным моментом трогания $(0,8 \dots 1,1)M_n$, то для уверенного их пуска, особенно при пониженном напряжении, рекомендуются к установке асинхронные электродвигатели с повышенным пусковым моментом.

3.6 Выбор исполнения электродвигателей для оросительных насосных станций

Выбор исполнения электродвигателей для оросительных насосных станций зависит от условий окружающей среды. В сухих отапливаемых помещениях устанавливают защищенные электродвигатели с нормальной изоляцией, в неотапливаемых помещениях – защищенные с противосыровой 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 скорости, улучшенные энергетические показатели питающей сети и др.). Однако при автоматизации пуска короткозамкнутым электродвигателям присущи определенные достоинства по сравнению с синхронными.

На стадии проектирования оросительных насосных станций придерживаются примерно следующих условий выбора типа двигателя для главных насосов. До мощности 300 кВт устанавливают асинхронные короткозамкнутые двигатели (380 В при мощности до 100 кВт и 6300 В при больших мощностях). Если мощность превышает 300 кВт, устанавливают синхронные двигатели высокого напряжения (6300 В и 10000 В).

3.7 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 энергии и значительном сечении питающих проводов,

поскольку пусковые токи в несколько раз превышают номинальные, что приводит к резким колебаниям напряжения в сети и вредно отражается на работе других потребителей.

Пуск электродвигателя 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 (рисунок 3.8) устанавливают два выключателя – линейный L и ускорения Y , первым из которых электродвигатель подключают к сети через реактор P (или сопротивление R), а вторым при достижении двигателем номинальной частоты вращения шунтируют реакторы P (или сопротивления R), переводя двигатель в нормальный рабочий режим.

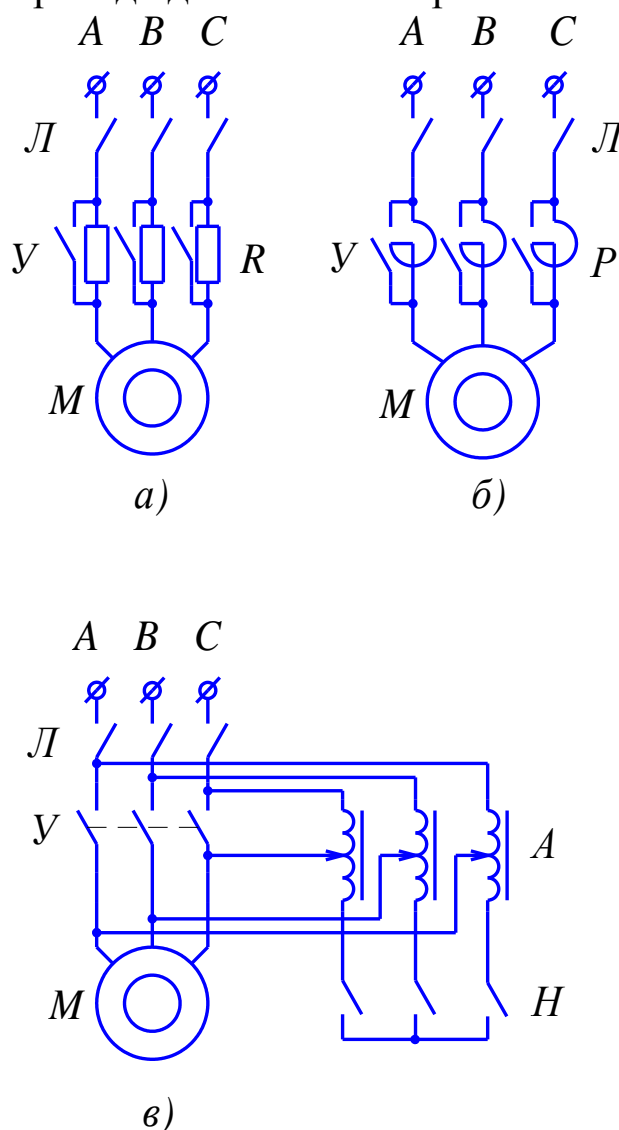


Рисунок 3.8 Схема пуска электродвигателя привода оросительных установок с использованием: а) сопротивления в цепи статора, б) реактора и в) автотрансформатора.

Линейный выключатель рассчитывают на разрывную мощность. Ускоряющий выключатель имеет размеры меньше линейного. Реакторный пуск довольно широко распространен на крупных насосных станциях.

Расчет пускового реактора или активного сопротивления выполняют так, чтобы пусковой ток на искусственной характеристике составлял часть « α » пускового тока на естественной характеристике $I'_n = \alpha \cdot I_n$, или сниженный пусковой момент – часть « μ » пускового момента на естественной характеристике $M'_n = \mu \cdot M_n$.

Так как момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, то $\mu = \alpha^2$.

Для определения заданного значения снижения пускового тока нужно знать полное пусковое сопротивление линии двигателя:

$$z_n = \frac{z_k}{\alpha}. \quad (3.21)$$

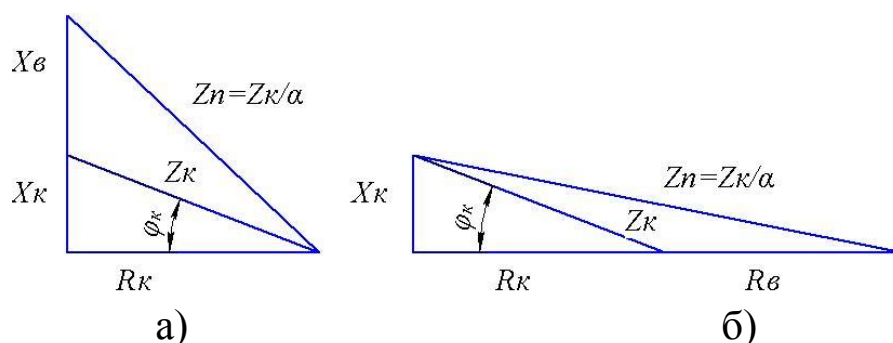


Рисунок 3.9 Графический способ расчета внешних пусковых сопротивлений: а) реактивного; б) активного.

С учетом графика построений (рисунок 3.9)

$$X_с = \sqrt{\frac{z_k^2}{\alpha^2} - R_k^2} - X_k, R_с = \sqrt{\frac{z_k^2}{\alpha^2} - X_k^2} - R_k. \quad (3.22)$$

Далее достаточно в предыдущие формулы вместо α^2 подставить μ .

Полное z_k , R_k активное и реактивное X_k сопротивления короткого замыкания фазы двигателя, соединенного в звезду

$$z_k = \frac{U_{н.ф.}}{k_I \cdot I_n}, R_k = z_k \cdot \cos \varphi_k, X_k = \sqrt{z_k^2 - R_k^2}, \quad (3.23)$$

где k_I - кратность нормального пускового тока.

Коэффициент мощности к.з. двигателя находят по формуле

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{2} \cos \varphi_H \left[\frac{\mu_{\Pi}}{(1 - s_H)k_I} + \gamma \cdot k_I(1 - \eta_H) + \frac{\eta_H(\mu_{\Pi} + 0,025k_I^2)}{(1 - s_H)k_I} \right], \quad (3.24)$$

где γ - отношение переменных потерь в двигателе к полным;

μ_n - кратность нормального пускового момента.

Пуск двигателя через автотрансформатор (рисунок 3.8, в). К этому способу прибегают при больших кратностях пускового тока. Вначале включают «нулевой» выключатель H , соединяя обмотки трансформатора в нулевую точку. Затем срабатывает линейный выключатель L и пуск электродвигателя происходит на пониженном напряжении. Через определенное время размыкают контакты H и включается выключатель ускорения $У$, в результате чего двигатель переводится в нормальный режим работы на полное напряжение сети.

Коэффициент трансформации k определяется, исходя из поставленных условий.

Если требуется ограничить естественный пусковой ток I_n до искусственного I'_n , то

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I'_n}{I_n}. \quad (3.25)$$

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

$$\frac{I_c}{I_{\Pi}} = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = k^2. \quad (3.26)$$

Или

$$k = \sqrt{\frac{I_c}{I_n}}. \quad (3.27)$$

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

$$k = \sqrt{\frac{M'_n}{M_n}}. \quad (3.28)$$

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.

Если асинхронный двигатель имеет номинальный режим соответствующий схеме «треугольник» применяют пуск при включении обмоток асинхронного двигателя по схеме «звезда».

При этом пусковой фазный ток снижается в $\sqrt{3}$ раза, линейный ток – в три раза и пусковой момент также уменьшается в три раза. На рисунке 3.9 приведена схема пуска асинхронного двигателя переключением обмоток «звезда-треугольник». При нажатии кнопки *SB2* осуществляется соединение обмоток асинхронного двигателя по схеме «звезда». При нажатии кнопки *SB3* осуществляется соединение обмоток по схеме «треугольник».

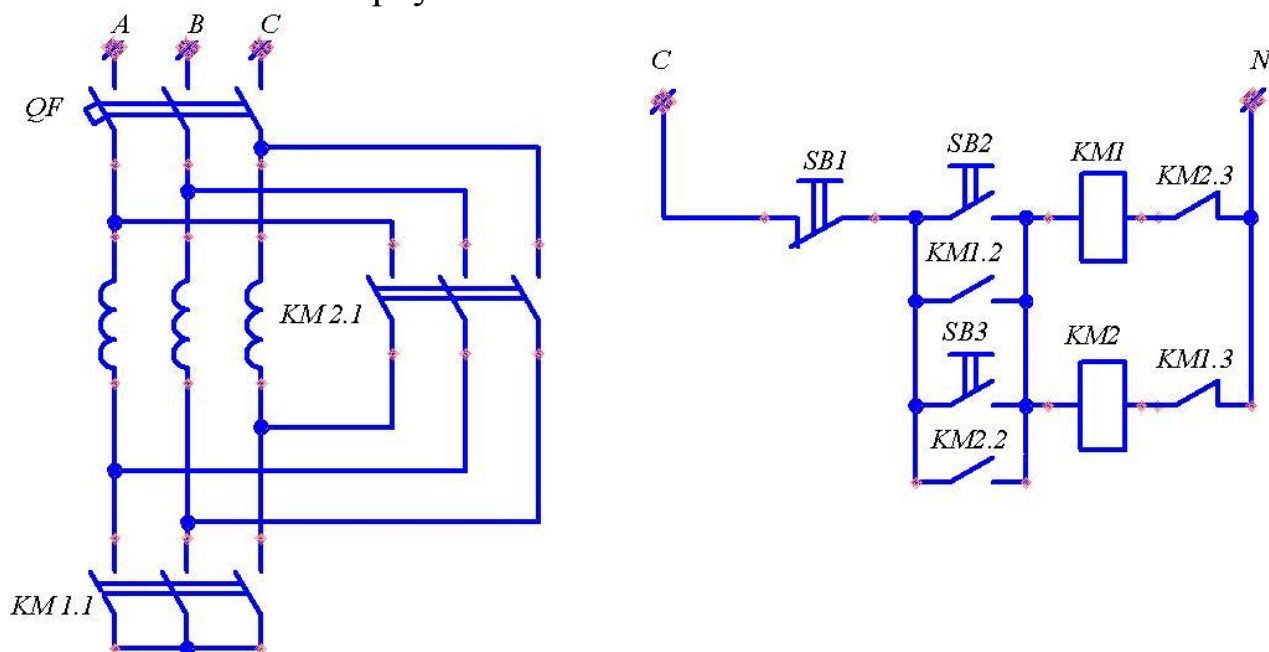


Рисунок 3.9 Схема пуска асинхронного двигателя переключением обмоток «звезда-треугольник».

Конкретно выбор способа пуска определяется, в основном, возможностями сети, моментами сопротивления и инерции, допустимыми динамическими нагрузками, схемой включения и выводами обмотки статора.

При разработке схем управления насосными установками, кроме системы защиты электродвигателей, надо учитывать следующие факторы: пуск и остановку двигателей, заливку и пуск насосов, управление задвижками, сигнализацию и защиту оборудования при авариях, предохранение напорных трубопроводов от гидравлического удара, колебания потребляемой мощности.

4 ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ И МЕХАНИЗМОВ

4.1 Общие сведения

Распространенными механизмами в с.х. производстве являются транспортирующие установки. В животноводстве транспортные работы составляют 30...40% всего объема затрат труда на фермах.

Грузопоток фермы – это количество грузов (Q) подлежащих перемещению в единицу времени (сутки, год). Производство грузопотока на расстояние L_i его перемещения характеризует объем выполняемой работы и составляет грузооборот Γ_i (т·км).

$$\Gamma_i = Q_i \cdot L_i. \quad (4.1)$$

Если по всему объему работ, то

$$\Gamma_o = \sum_{i=1}^n \Gamma_i = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot L_i. \quad (4.2)$$

Грузооборот рассчитывается с учетом ряда факторов: поголовье, суточный рацион, размещение, удой, выход навоза, расход подстилки, топлива и т.д.

Примерный объем перевозок для крупного рогатого скота составляет 60...80 кг, а для свиней 30...40 кг на одно животное в сутки.

Электрифицированные транспортные средства могут быть стационарными и мобильными. Стационарные средства перемещают груз в помещениях для содержания животных и особенно в вспомогательных постройках (кормоцеха, молочные склады, навозохранилища). К ним относятся машины непрерывного транспорта: ковшовые, шнековые, скребковые, ленточные, канатно-скреперные транспортеры. Мобильные средства – электрифицированные тележки, вагонетки, мостовые краны, тельферы – применяют для перемещения грузов в производственных цехах, складах, хранилищах.

4.2 Электропривод стационарных механизмов

Ковшовые элеваторы (нории) предназначены для подъема сыпучих материалов в вертикальном направлении или с небольшим отклонением от него. Основные узлы нории: цепи с ковшами, ведомый нижний и ведущий верхний барабан, направляющие, ограждающие,

поддерживающие, натяжные, загрузочные устройства. Барабан приводится в движение от редуктора.

Производительность нории [кг/с]

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

где φ - коэффициент наполнения ковшей (для зерна 0,75...0,9, продуктов помола – 0,33, у наклонных норий коэффициент заполнения больше на 10...20%);

i – емкость одного ковша, м³;

l – расстояние между ковшами, м;

v - скорость движения ковшей, м/с (для зерна 2...4 м/с, муки – 1...1,5 м/с, корнеплодов - 0,3...0,5 м/с);

γ - насыпная плотность транспортируемого материала, кг/м³.

Мощность электродвигателя нории [кВт] при длительной работе

$$P = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot \eta_n}, \quad (4.4)$$

где H – высота подъема, м;

η_n - КПД для вертикального перемещения нории 0,5...0,7, для наклонного – 0,3...0,4;

η_n - КПД передачи.

Производительность нории возрастает с увеличением частоты вращения до определенного предела, после чего за счет уменьшения коэффициента заполнения ковшей остается постоянной или несколько снижается.

Момент трогания нории составляет примерно 10% от M_n при холостом ходе, а под нагрузкой 30...35% от M_n .

Шнек – это винтовой транспортер для перемещения сыпучих продуктов в горизонтальном, наклонном и даже вертикальном направлении. Внутри кожуха шнека в подшипниках вращается вал с винтообразной лентой, приводимый в действие от электродвигателя через плоскоременную или клиноременную передачу. Вращающийся винт перемещает массу от загрузочного окна до выгрузного люка. Благодаря простоте эксплуатации, высокой производительности и надежности шнеки нашли широкое применение в кормоцехах, кормохранилищах, кормораздатчиках. Шнеки изготавливают диаметром 200...600 мм и длиной до 30 м.

Производительность шнека [кг/с]

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} S \cdot n \cdot k_v \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot c, \quad (4.5)$$

где D – диаметр шнека, м;

S – шаг винта, м (для сыпучих материалов $S=(0,75 \dots 1)D$;

n – частота вращения, об/мин ($n=50 \dots 100$ об/мин).

φ – коэффициент заполнения ($\varphi=0,2 \dots 0,25$ – для крупнокусковых материалов, $\varphi=0,25 \dots 0,33$ – для зерна);

γ – насыпной вес материала, кг/м³;

c – коэффициент, учитывающий угол наклона шнека.

При производительности шнека 14...17 кг/с:

$\alpha, ^\circ$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
c	0,89	0,79	0,7	0,63	0,56	0,5	0,45	0,4	0,36

где α – угол наклона шнека к горизонту;

$k_v = 0,57 \dots 0,6$ – коэффициент отставания осевой скорости материала от осевой скорости шнека.

Производительность шнека увеличивается с ростом частоты вращения до максимума, после которого уменьшается, т.к. уменьшается коэффициент заполнения.

Требованиям высокой частоты вращения отвечает привод с одноступенчатой клиноременной передачей и с непосредственным соединением.

Мощность двигателя привода шнека [Вт]

$$P = \frac{9,81 \cdot k \cdot Q(p \cdot L + H)}{\eta_n}, \quad (4.6)$$

где k – коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления в приводе шнека, $k=1,1$;

p – коэффициент сопротивления перемещению 1 кг материала на расстояние 1 м (для зерна $p=1,85$);

L – длина транспортера, м;

H – высота подъема, м;

η_n – КПД передачи от двигателя к шнеку.

Скребковые транспортеры используют для перемещения корнеклубнеплодов и других наклонных грузов. Транспортируемый материал перемещают скребки, которые укреплены на одной или двух кольцевых цепях, движущихся со скоростью 0,4...0,1 м/с. В сельском хозяйстве наиболее распространены одноцепные скребковые транспортеры со стальными или из ковеного чугуна скребками, движущи-

мися в деревянном желобе, обитом листовым железом. Такие транспортеры могут работать при углах подъема до 30° .

Производительность [кг/с] скребкового транспортера при подаче сыпучих кормов

$$Q = 0,75k \frac{i}{l} v \cdot \gamma, \quad (4.7)$$

где 0,75 – коэффициент неравномерности подачи;

i – объем порции материала, перемещаемого одним скребком, м^3 ;

l – расстояние между скребками, м;

v – скорость движения скребков, м/с;

γ – насыпная масса материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

k – коэффициент, учитывающий угол подъема α , $k=(1 \dots 0,0175)\alpha$.

Мощность [Вт] необходимая для привода скребкового транспортера:

$$P = 9,81 \cdot k(Q \cdot H + Q \cdot f_m \cdot L \cdot \cos \alpha + G_u \cdot f_u \cdot \cos \alpha) / \eta_n, \quad (4.8)$$

где $k = 1,1 \dots 1,2$ – коэффициент, учитывающий сопротивления, не предусмотренные расчетом;

H – высота подъема, м;

f_m – коэффициент трения материала о стенки транспортера;

L – длина транспортера, м;

α – угол подъема, градусов;

G_u – масса скребковой цепи, кг;

$f_u = 0,25 \dots 0,3$ – коэффициент сопротивления движению скребковой цепи;

η_n – КПД передачи.

Приводное устройство скребкового транспортера ставят, как правило, у разгрузочного окна.

Ленточные транспортеры используют для перемещения насыпных грузов в горизонтальном или наклонном направлении: риса, пшеницы, овса, ячменя с углом подъема до 20° ; гороха, кукурузы – до 12° ; лука, отрубей – до 29° ; корнеплодов – до 22° ; силоса и других кормовых грузов – до 20° .

Приводная станция ленточного транспортера состоит из электродвигателя, редуктора, ведущего барабана, а натяжная станция – из барабана и натяжного устройства. Ленты (прорезиненная ткань с раз-

рывным усилием 2200...4400 Н/см²) поддерживаются равномерно расположенными по длине транспортера роликами.

Выбор типа передачи определяется передаточным числом и условиями монтажа.

Производительность транспортера [кг/с]

$$Q = \gamma \cdot v \cdot F, \quad (4.9)$$

где v - скорость движения ленты, м/с;

γ - насыпная плотность материала, кг/м³;

F - площадь поперечного сечения слоя материала на ленте, м².

Скорость движения ленты зависит от вида материала перемещаемого транспортером: для пшеницы, ржи, кукурузы – 3...4 м/с; овса, ячменя, подсолнечника – 2...3 м/с; дробленого зерна - 1,2...1,5 м/с; муки - 1...1,3 м/с; отрубей – 1,5...2 м/с; корнеплодов – 0,3...0,4 м/с. Скорость ленты шириной не более 500 мм при перемещении зерна не должна превышать 2,5 м/с.

Мощность привода ленточного транспортера [Вт]

$$P = [9,81 \cdot Q \cdot H + 30(1,3 + k)\sqrt{3,6Q} + \sqrt[3]{3,6Q \cdot L}]/\eta_n, \quad (4.10)$$

где H – высота подачи продукта, м;

k - число направляющих барабанов;

L - длина транспортера, м;

η_n - КПД передачи.

Канатно-скреперные установки на животноводческих фермах используются 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. У скрепера задняя стенка качающаяся, вследствие чего навоз при обратном ходе не сгребается.

При работе установки трос наматывается на барабан и тянет первый скребок вдоль навозной канавы по направлению к выгрузному окну, а второй скребок по другой канаве передвигается от второго выгрузного окна в исходной положение. На рисунке 4.1 приведена схема управления канатно-скреперной установкой.

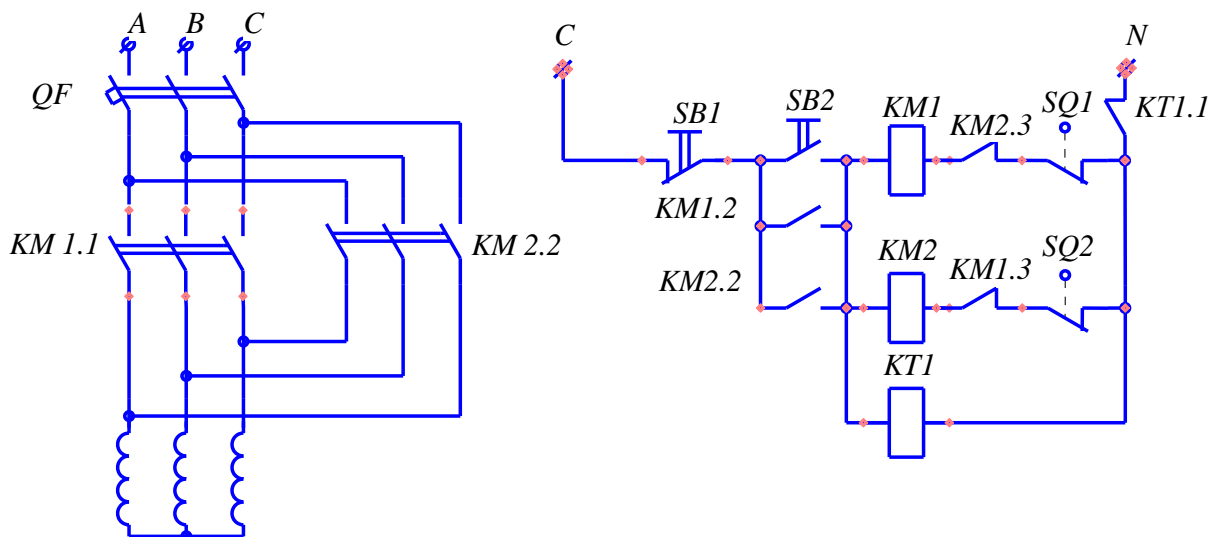


Рисунок 4.1 Схема управления канатно-скреперной установкой.

На рисунке 4.2 приведена схема управления приводом скреперных установок УС-10, УС-12. Здесь $SQ1$, $SQ2$, $SQ3$ – конечные выключатели. Упоры на тросе нажимают $SQ1$ и $SQ2$, когда скребки выгрузят навоз в одно или другое окно. $SQ3$ срабатывает при излишнем натяжении каната. От перегрузок и коротких замыканий двигатель защищен тепловым реле KK и плавкими предохранителями FU . Пускатели взаимно блокированы. Реле времени $KT1$ включается конечными выключателями.

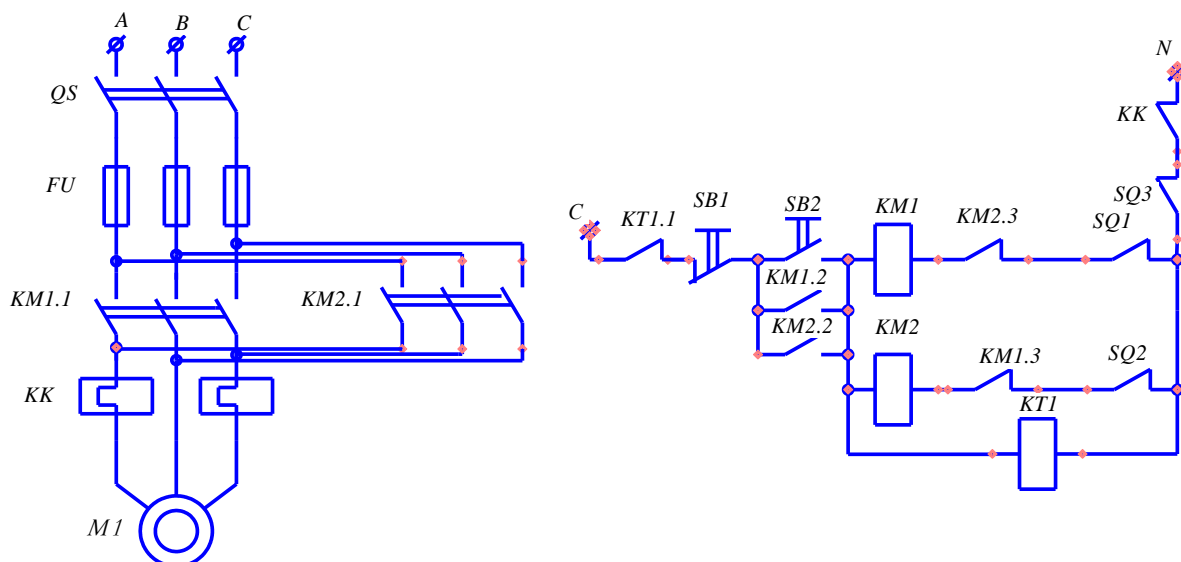


Рисунок 4.2 Схема управления приводом скреперных установок УС-10, УС-12.

Длина хода штанги несколько больше расстояния между скребками, чтобы скребки могли развернуться при холостом ходе.

На рисунке 4.3 приведены механические характеристики некоторых транспортеров.

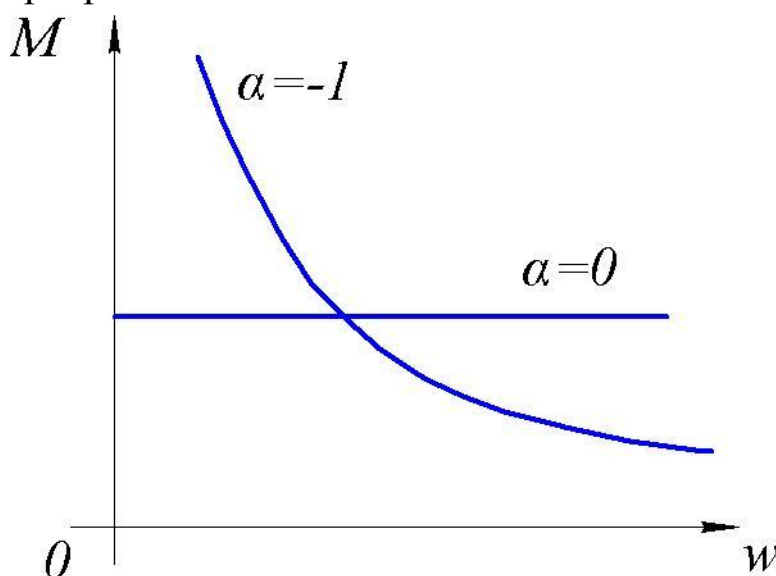


Рисунок 4.3 Механические характеристики транспортеров (скреперных, скребковых, канатно-скреперных транспортеров ($\alpha=0$), шнековых $\alpha=-1$).

Анализ приводных характеристик позволяет сформировать требования к электроприводу:

1. Для транспортеров требуется нерегулируемый привод.
2. Двигатели работают с переменной нагрузкой, причем в начале работы у большинства транспортеров момент сопротивления максимальный.
3. Необходимо использовать двигатели закрытого исполнения с химо- влагостойкой изоляцией.

Для защиты от токов короткого замыкания электродвигателей навозоуборочных установок применяют плавкие предохранители, автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями. От перегрева применяют тепловые реле, автоматические выключатели с тепловыми расцепителями или УВТЗ. Для защиты от работы при неполнофазном режиме применяют фазочувствительные устройства защиты ФУЗ.

Двигатели навозоуборочных установок включаются по времени, уровню заполнения навозоприемника, в зависимости от величины тока. В этом случае двигатель включается периодически. Если нагрузка соответствует заданной или больше, то транспортер работает до тех пор, пока ток двигателя не будет соответствовать току при холостом ходе. Конечные выключатели применяются различных конструкций.

Пусковая и защитная аппаратура размещается в герметичном шкафу в животноводческом помещении.

4.3 Электропривод крановых механизмов

Общие требования. Электрооборудование кранов должно обеспечивать надежную высокопроизводительную и безопасную работу при повторно-кратковременном режиме работы и большой частоте включений в запыленных и с большой влажностью помещениях, на открытом воздухе и в условиях резких изменений температуры.

Напряжение питания кранов не должно превышать 500 В. Поэтому электрооборудование рассчитано на напряжения 220, 380, 500 В переменного и 220, 440 В постоянного токов. На вновь строящихся предприятиях напряжение 500 В не применяется, а напряжение 440 В используется в силовых цепях кранов большой грузоподъемности.

Механизмы подъема и перемещения 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-кратковременном режиме со значительными перегрузками, при котором возможно ложное срабатывание тепловых реле. Электрическая схема крана предполагает наличие нулевой защиты.

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 характеризуется коэффициентами: k_{cp} – использование механизма по грузоподъемности; k_z и k_c – годового и суточного использования механизма; ПВ [%] – продолжительность включения двигателя механизма.

$$k_{zp} = \frac{Q_c}{Q_n}; k_z = \frac{A}{365}; k_c = \frac{B}{24}; ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100\%, \quad (4.11)$$

где Q_c - средний вес поднимаемого за смену груза;

Q_n - номинальная грузоподъемность;

A – число дней работы в году;

B – число часов работы механизма в сутки.

Для электрооборудования кранов подсчет ПВ ведут исходя из того, что время цикла $t_p + t_n \leq 10$ мин, для механизма – не более 1 часа.

Наиболее точно режим работы крана определяется для каждого конкретного условия:

Условия работы	$k_{гр}$	k_r	k_c	ПВ, %	Число средних-сменных включений в час	Температура окружающей среды, °С
Легкие	0,1...1,0	0,25...1,0	0,33...1,0	15...25	60	25
Тяжелые	0,25...1,0	0,75...1,0	0,33...1,0	25...60	240	25

4.4 Статические нагрузки двигателей основных механизмов кранов

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

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

$$P = \frac{(G + G_0)v}{\eta} \cdot 10^{-3}; \quad (4.12)$$

$$M = \frac{(G + G_0)D}{2i\eta} \cdot 10^3, \quad (4.13)$$

где P - мощность на валу двигателя, кВт;

G - сила, необходимая для подъема груза, Н;

G_0 - сила для подъема захватывающего приспособления, Н;

v - скорость подъема груза, м/с;

M - момент на валу двигателя, Н·м;

D - диаметр барабана подъемной лебедки, м;

η - КПД подъемного механизма;

i - передаточное отношение редуктора и полиспаста.

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

$$P = P_{тр} - P_{гр}. \quad (4.14)$$

При опускании средних и тяжелых грузов энергия направляется с вала механизма к двигателю, так как $P_{гр} > P_{тр}$ (тормозной спуск).

При этом мощность на валу двигателя

$$P = (G + G_0)v \cdot \eta \cdot 10^{-3}. \quad (4.15)$$

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

$$P = P_{тр} - (G + G_0)v \cdot 10^{-3}. \quad (4.16)$$

При расчетах следует помнить, что величина КПД механизма зависит от нагрузки (рисунок 4.4).

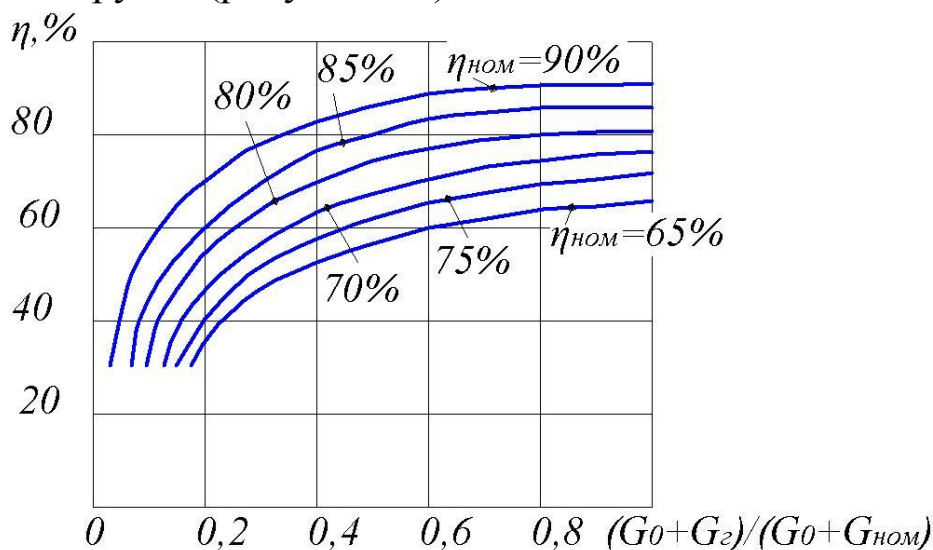


Рисунок 4.4 Зависимости КПД механизма от нагрузки.

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

$$P = \frac{K(G + G_1)(\mu r + f)v}{R \cdot \eta} \cdot 10^{-3}; \quad (4.17)$$

$$M = \frac{K(G + G_1)(\mu r + f)}{i\eta}, \quad (4.18)$$

где P - мощность на валу двигателя, кВт;

M - момент на валу двигателя, Н·м;

G – масса перемещаемого груза, Н;

G_1 – вес механизма передвижения, Н;

r - радиус шейки оси колеса, м;

μ - коэффициент трения скольжения;

f - коэффициент трения качения;

v - скорость движения, м/с;

R - радиус колеса, м;

η - КПД механизма передвижения;

K - коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы;

i - передаточное отношение редуктора механизма передвижения.

Для всех типов механизмов должны ограничиваться ускорения, что обусловлено как особенностями технологических процессов, так и необходимостью обеспечения нормальной работы самих крановых установок. Поэтому при проектировании ЭП крановых механизмов по окончании выбора электродвигателя исходя из статической нагрузки и характера переключений в схеме управления осуществляется проверка ЭП по допустимым значениям ускорений (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Значения допустимых ускорений в зависимости от типа крановых механизмов.

Тип кранового механизма	Допустимое значение ускорения, м/с ²
1	2
Подъемный механизм, предназначенный для подъема хрупких предметов, продуктов; подъемный механизм для различных монтажных работ	0,1
Подъемный механизм грейферных сборочных и металлургических цехов	0,2...0,5
Подъемный механизм грейферных кранов	0,8

1	2
Механизм передвижения со сцепной силой тяжести 0,25...0,5 от полной	0,2...0,7
Механизм передвижения с полной сцепной силой	0,8...1,4
Механизм поворота кранов	0,5...1,2

4.5 Требования к механическим характеристикам электроприводов крановых механизмов

Механические характеристики электроприводов крановых механизмов должны соответствовать требованиям со стороны технологических операций, выполняемых краном. Высокая точность монтажных операций обуславливает применение электроприводов с большой жесткостью характеристик при значительном диапазоне регулирования. На рисунке 4.5 приведены механические характеристики электроприводов кранов.

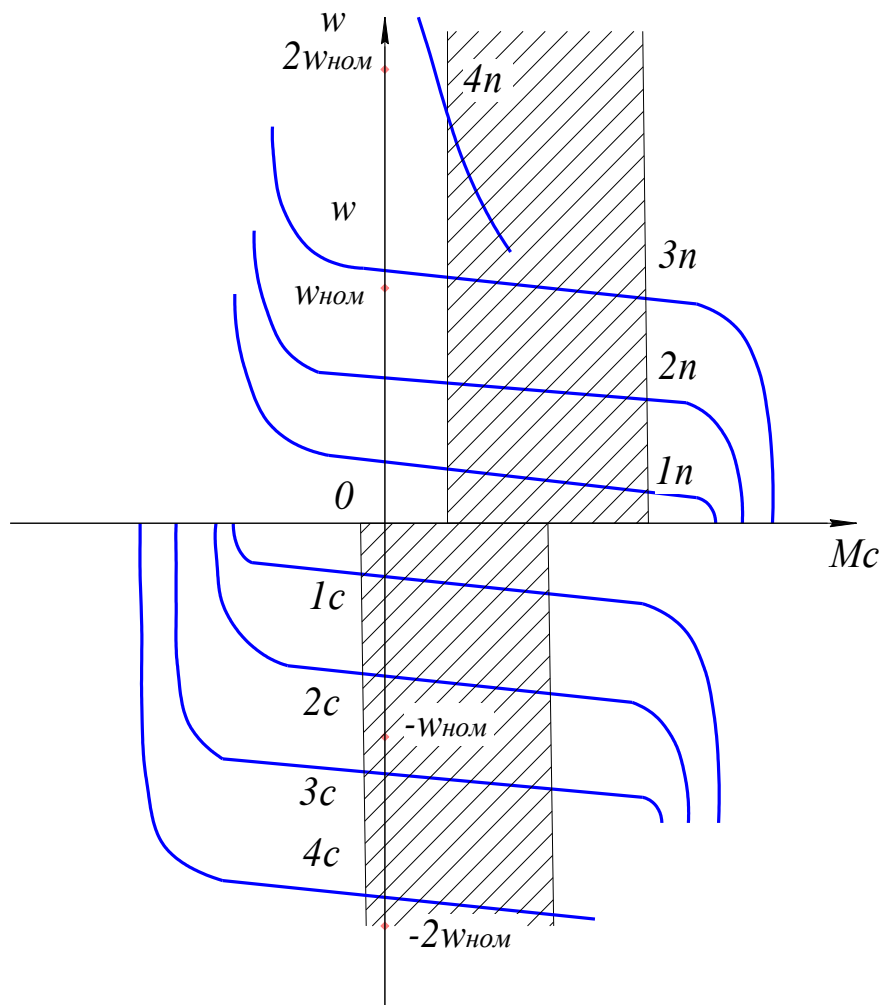


Рисунок 4.5 Требуемые механические характеристики электропривода механизмов подъема крана.

Характеристика $1n$ используется для подъема грузов с пониженной скоростью и предназначена для выбора слабины канатов и точной установки груза при монтажных операциях. Характеристики $2n$, $3n$ служат для подъема грузов с промежуточной и номинальной скоростями. Характеристика $4n$ требуется для подъема малых грузов с повышенной скоростью с целью обеспечения большей производительности кранов, скорость при работе на этой характеристике превышает номинальную в два раза. Характеристика $1c$ служит для спуска грузов с малой скоростью, что требуется для точной установки груза при его спуске. Характеристики $2c$, $3c$ используются для спуска грузов с промежуточной и номинальной скоростями, а характеристика $4c$ - для спуска легких грузов с повышенной скоростью, что также увеличивает производительность работы кранов.

Рассмотрим требуемые для механизмов передвижения и поворота механические характеристики, которые в верхней полуплоскости соответствуют движению механизмов в условном направлении «вперед», а в нижней полуплоскости – «назад» (рисунок 4.6). Характеристики $1в$, $1н$ требуются для выбора зазоров в передачах механизмов и обеспечения точной их остановки. Характеристики $2в$, $2н$ являются промежуточными, а характеристики $3в$, $3н$ служат для движения механизмов с номинальной скоростью.

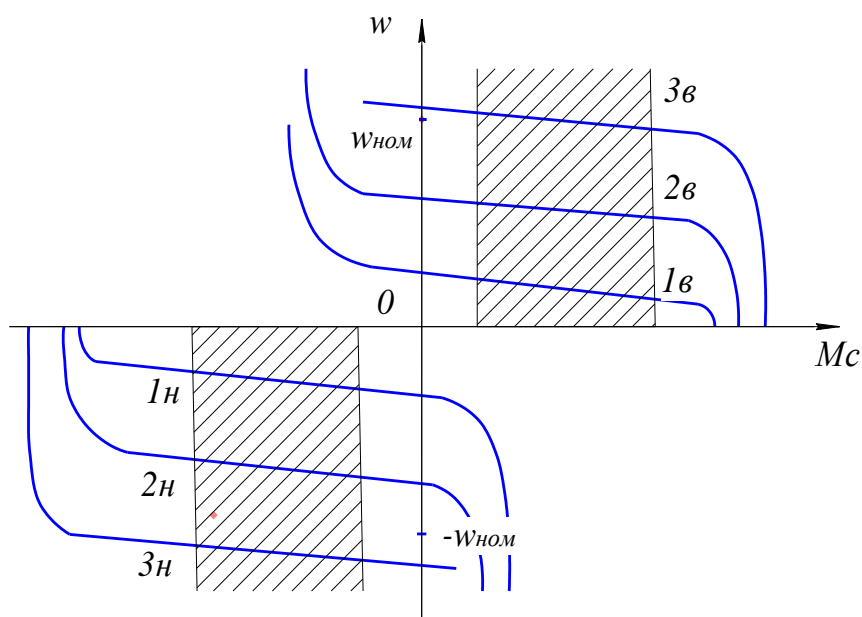


Рисунок 4.6 Требуемые механические характеристики электроприводов механизмов передвижения и поворота.

В отличие от механизмов подъема рассмотренные механические характеристики симметричны относительно начала координат, что обусловлено симметричностью областей изменения моментов сопротивления (заштрихованная часть).

В настоящее время полный набор требуемых механических характеристик обеспечивается при использовании асинхронного ЭП с частотным управлением или ЭП, выполненного по системе тиристорный преобразователь – двигатель. Однако чаще всего для подъемных кранов применяют менее совершенные системы регулируемого ЭП. В этих случаях обычно стремятся для механизма подъема обеспечить в первую очередь характеристики $3n$, $3с$ и $1с$ (для получения номинальных скоростей подъема и спуска, а также пониженной скорости спуска), а для механизмов передвижения и поворота – характеристики $3в$, $3н$ и $1в$, $1н$ (для получения номинальных и пониженных скоростей для движения механизма в обоих направлениях).

5 ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВОК ДЛЯ ДОЕНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА

5.1 Общие сведения

Для доения коров применяют в зависимости от условий содержания различное оборудование: при беспривязном («Молокопровод – 100», «Молокопровод – 200», ДАС-2 и др.); на пастбищах передвижные установки со стойками проходного типа (УДС-3); на площадках при стойловом и беспривязном содержании («Елочка»).

Основные элементы: вакуум-провод, охладитель молока, молокопровод, вакуум-насосы, диафрагменный насос, молочный танк, центробежный молочный насос, сепаратор.

Молоко из подсосковых камер стаканов доильных аппаратов по шлангам через коллектор, молокопровод транспортируется воздухом в охладитель, из которого охлажденное молоко диафрагменным насосом перекачивается в молочный танк. Из танка насосом молоко подается в транспортную цистерну. Кроме этого предусматривается устройство циркуляционной мойки доильной аппаратуры и молокопровода, для этого имеется паровой котел и бойлер.

Все рабочие машины приводятся в движение от асинхронных электродвигателей с установленной мощностью для вакуум-насоса 2,8 кВт, диафрагменного молочного насоса 0,6 кВт, мешалки танка 0,27 кВт, компрессора холодильной установки 4,5 кВт, вентилятора 0,6 кВт.

5.2 Электропривод ротационных вакуум-насосов доильных установок

Эти насосы служат для создания в вакуум-проводе разрежения, необходимого для работы доильных аппаратов. Ротор насоса в цилиндре расположен эксцентрично, в теле ротора выполнены четыре паза, в пазах свободно в радиальном направлении движутся лопатки. Во время вращения ротора лопатки под действием центробежных сил прижимаются к внутренней поверхности цилиндра корпуса. Объем свободного пространства в зоне всасывающей камеры увеличивается, а в зоне выхлопной камеры уменьшается. Благодаря этому создается отсос воздуха из вакуум-провода. Механическая характеристика ва-

куум-насоса (1) имеет слабо выраженный вентиляторный (2) вид (рисунок 5.1).

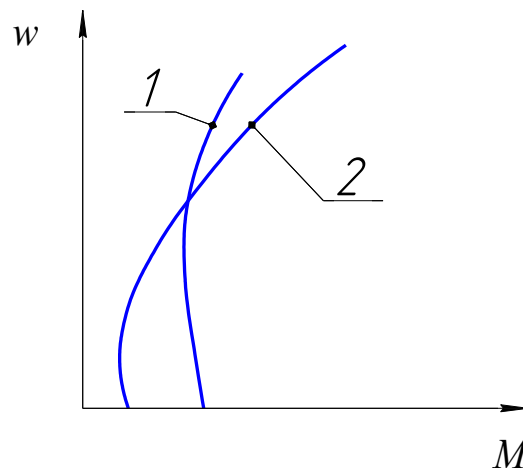


Рисунок 5.1 Механическая характеристика вакуум-насоса 1 и вентилятора 2.

Нагрузочная характеристика равномерна. Режим работы длительный. Момент трогания находится в пределах $(0,75 \dots 1,0)M_n$.

Мощность привода насоса [Вт]

$$P = \frac{Q \cdot H}{\eta_n \cdot \eta_n}, \quad (5.1)$$

где η_n - КПД передачи;

η_n - КПД насоса (для ротационного $0,2 \dots 0,25$);

Q - производительность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

H - вакуум, развиваемый насосом, $\text{Н}/\text{м}^2$.

В начале системы вакуум должен поддерживаться на уровне $6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}/\text{м}^2$.

Производительность насоса определяется потребной производительностью Q_n

$$Q_n = k \cdot q \cdot n_a, \quad (5.2)$$

где $k = 2 \dots 3$ - коэффициент, учитывающий неполную герметичность системы;

q - расход воздуха одним доильным аппаратом (при 60 пульсациях в минуту $q = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$);

n_a - число доильных аппаратов в установке.

Производительность четырехлопастного ротационного вакуум-насоса

$$Q = 0,98 \cdot e \cdot D \cdot L \cdot w \cdot \varphi_n \cdot \eta_m, \quad (5.3)$$

где e - эксцентриситет, м;

D - диаметр цилиндра корпуса, м;

L - длина ротора, м;

w - угловая скорость вращения, с^{-1} ;

φ_n - степень наполнения всасывающей камеры, $\varphi_n = 0,68$;

η_m - манометрический коэффициент, $\eta_m = 0,32 \dots 0,52$.

$$\eta_m = \frac{H_a - H}{H},$$

где H_a - атмосферное давление;

H - вакуум в системе трубопроводов.

Продолжительность работы привода насоса за одну дойку поголовья

$$t = \frac{k \cdot t_0 \cdot n_k}{n_a} + \Delta t, \quad (5.4)$$

где k - относительный коэффициент дойных коров в стаде, $k = 0,8$;

t_0 - продолжительность дойки одной коровы, $t_0 = 7 \dots 9$ мин.;

n_a - число доильных аппаратов;

n_k - общее число коров в стаде;

Δt - время промывки молокопровода и аппаратов, $\Delta t = 20 \dots 30$ мин.

5.3 Электропривод холодильных машин

Первичная обработка молока на животноводческих фермах включает следующие операции: очистка, охлаждение, сепарирование и пастеризация молока.

Молоко на фермах и молокосливных пунктах проходит первичную обработку в охладителе-очистителе, который состоит из сепаратора, оросительного охладителя, центробежного насоса.

Танк-охладитель применяют для очистки, охлаждения и длительного хранения молока на молочных фермах. Молоко, соприкасаясь с холодными стенками и днищем ванны, охлаждается от 36°C до 6°C за 2,5 ч.

При работе поршневой компрессор сжимает пары фреона и нагнетает их в конденсатор воздушного охлаждения. В конденсаторе пары фреона превращаются в жидкость, стекающую в ресивер. С ресивера фреон поступает в испаритель. В испарителе фреон отнимает

тепло от окружающей его воды и в парообразном виде вновь засасывается компрессором.

В компрессоре применяется насос поршневого типа, мощность на валу которого изменяется по синусоидальному закону в зависимости от угла поворота кривошипа (рисунок 5.2).

У поршневого насоса одинарного действия подача осуществляется только при движении поршня вперед. Механизм двойного действия осуществляет подачу при ходе поршня в обе стороны.

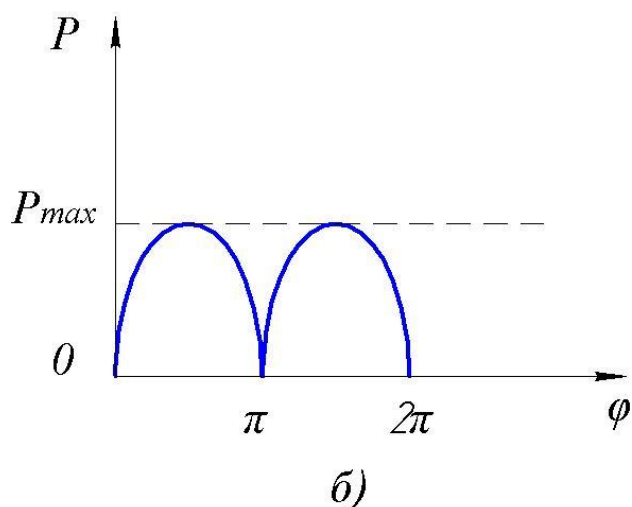
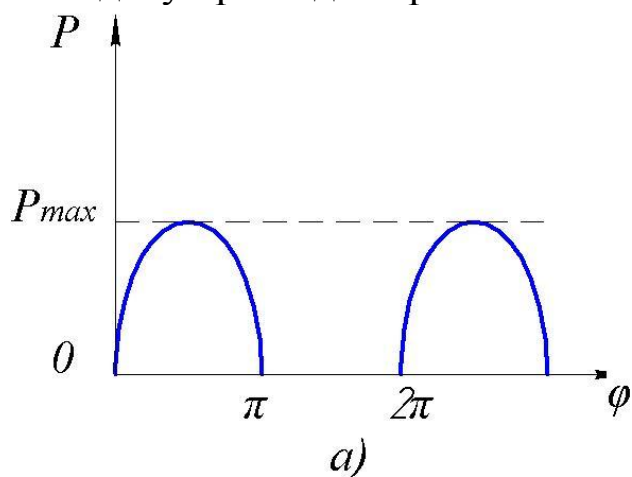


Рисунок 5.2 Зависимость мощности поршневого насоса от угла поворота кривошипа: а) одинарного действия; б) двойного действия.

Средняя мощность по графику нагрузки по рисунку 5.2, б:

$$P_{cp} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P \cdot d\varphi = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} P_{max} \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi = \frac{2P_{max}}{\pi}. \quad (5.5)$$

Если поршневой компрессор работает на магистраль с постоянным давлением, то при каждом ходе поршня приходится преодоле-

вать постоянное среднее усилие независимо от угловой скорости, поэтому и двигатель работает с постоянным моментом, независимым от угловой скорости.

Мощность P [кВт] и производительность при этом возрастают пропорционально угловой скорости:

$$P = \frac{Q \cdot H}{\eta_k \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3} = \frac{Q \cdot (P_2 - P_1)}{\eta_k \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}. \quad (5.6)$$

где Q - производительность компрессора, м³/с;
 H - давление, развиваемое компрессором, Н/м²;
 P_1 - начальное давление газа, Н/м²;
 P_2 - конечное давление газа, Н/м²;
 η_k - КПД компрессора;
 η_n - КПД передачи от двигателя к компрессору.

5.4 Электропривод сепараторов молока

Сепарирование молока – это механический процесс отделения сливок от обрата, осуществляемый при помощи центробежных сил, которые действуют на частицы молока при вращении его в барабане сепаратора с частотой 6000...8000 об/мин. В таблице 5.1 приведены характеристики некоторых молочных сепараторов.

Таблица 5.1 Характеристики некоторых молочных сепараторов

Марка	Производительность, л/ч	Частота вращения барабана, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт	Масса, кг
СМПФ-2000	2000	7200	2,8	330
Ж5-ОСЦП	3000	6480	7,5	428
Ж5-ОС2Т	5000	6480	5,5	422
Ж5-ОС2Д	350...1100	6500	6,0	450

Механическая характеристика сепаратора (рисунок 5.3) без учета резонансных пиков может быть выражена формулой

$$M_c = M_{c0} + b \cdot \omega^2, \quad (5.7)$$

где M_{c0} - начальный момент на валу привода, в среднем равный 0,2 Н·м;

ω - угловая скорость барабана;

b - коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематики.

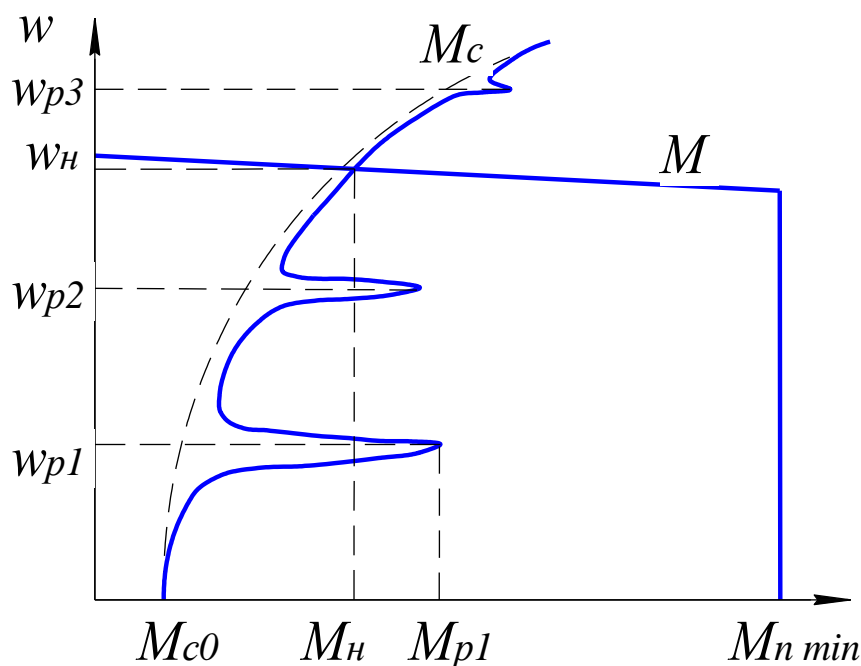


Рисунок 5.3 Механическая характеристика сепаратора.

Расчетная мощность двигателя, необходимая для привода сепаратора

$$P_{расч} \geq h \cdot M_c \cdot \omega, \quad (5.8)$$

где $h = 1,2...2$ - опытный коэффициент, учитывающий мощность, которая нужна для сообщения кинетической энергии, поступающей в барабан жидкости.

Выполнение этого условия является необходимым, но недостаточным. Наиболее напряженным в тепловом отношении является режим пуска, поэтому необходима проверка по условиям нагрева именно в этом режиме. При этом важным представляется знание теплового запаса и возможности повторного пуска.

Нагрев электродвигателя при пуске (в основном обмоток) протекает чрезвычайно интенсивно по сравнению с нормальными режимами работы. Тепло практически не передается другим частям машины, и потери идут в основном на повышение температуры обмоток. При таком допущении получают несколько завышенное значение температуры, а погрешность будет тем меньше, чем короче пуск.

Следовательно, условиями нормальной работы обмоток ротора и статора будут

$$\tau_{\text{don } 2} \geq \frac{\Delta W_{n2}}{c_2 \cdot m_2}; \quad (5.9)$$

$$\tau_{\text{don } 1} \geq \frac{\Delta W_{n1}}{c_1 \cdot m_1}, \quad (5.10)$$

где ΔW_{n2} , ΔW_{n1} - потери энергии при пуске в обмотках ротора и статора соответственно;

$\tau_{\text{don } 2}$, $\tau_{\text{don } 1}$ - допустимые значения температур обмоток ротора и статора ($\tau_{\text{don } 2} = 200^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{don } 1}$ определяется классом изоляции);

c_2 , c_1 - удельные теплоемкости материала обмоток ротора и статора;

m_2 , m_1 - массы обмоток, кг.

Для рабочего процесса сепаратора характерны три режима:

- 1) пуск в ход;
- 2) приложение нагрузки;
- 3) установившийся режим при постоянных нагрузке и скорости.

Во время работы сепаратора необходимо поддерживать постоянной частоту вращения барабана. Ее снижение сопровождается ухудшением сливкоотделения, а увеличение приводит к преждевременному износу червячной пары. Поэтому для привода сепараторов следует применять электродвигатели с жесткой механической характеристикой (трехфазные и однофазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором). По условиям окружающей среды наиболее подходящими для молочных сепараторов являются электродвигатели закрытого обдуваемого химовлагоморозостойкого исполнения. Молочным сепараторам присущ большой приведенный момент инерции, а, следовательно, им свойственно длительное время разбега, достигающее 1,5...3 мин и более. Для облегчения условий пуска установка двигателя повышенной мощности приводит к возникновению значительных динамических усилий, которые могут привести к поломке червячной пары. Поэтому для облегчения условий пуска применяют двухскоростные двигатели, центробежные или электромагнитные муфты.

До недавнего времени использовались два типа ЭП сепараторов:

1. ЭП с центробежной муфтой скольжения (или порошковой).
2. ЭП с многоскоростным асинхронным двигателем.

При применении муфты скольжения двигатель набирает скорость практически вхолостую до скорости сцепления, а затем постепенно принимает 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.

В таком приводе полные потери (в обмотках и муфте) остаются такими же, как и при прямом пуске, но здесь потери перераспределяются между двигателем и муфтой и, тем самым режим пуска облегчается. Количественно соотношение потерь в муфте и обмотке ротора зависит от скольжения сцепления (S_{cu}) ведущей и ведомой полумуфт.

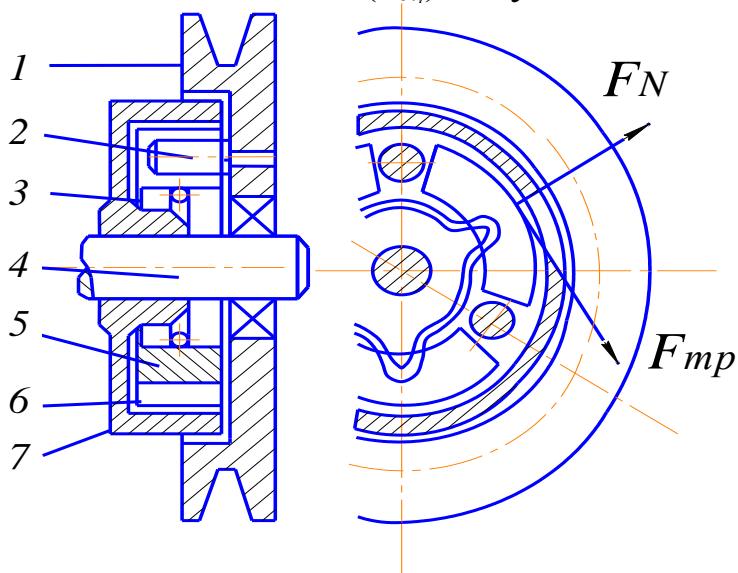


Рисунок 5.4 Устройство центробежной муфты скольжения:
1 – ведущий шкив; 2 – пальцы; 3 – пружинное кольцо; 4 – вал;
5 – колодки; 6 – накладки; 7 – ведомый барабан.

Центробежная муфта скольжения (рисунок 5.4) состоит из следующих частей: ведущего барабана-шкива 1 с пальцами 2, ведомого барабана 7, колодок 5 с наклепанными на них накладками 6. Колодки поддерживаются пружинным кольцом 3. Ведомый барабан 7 насажен на приводной вал 4 рабочей машины, а ведущий барабан 1 может вращаться относительно этого вала.

При включении двигателя шкив 1 начинает вращаться, пальцы 2 увлекают колодки 5, которые скользят по внутренней поверхности барабана 7. По мере увеличения частоты вращения центробежная си-

ла F_N становится больше, прижимая колодки к барабану. Поэтому увеличивается и сила трения $F_{тр}$ между колодками и барабаном, что приводит к увеличению момента, передаваемого муфтой.

На рисунках 5.5 и 5.6 представлены функциональная характеристика и принципиальная электрическая схема электропривода сепаратора с муфтой скольжения

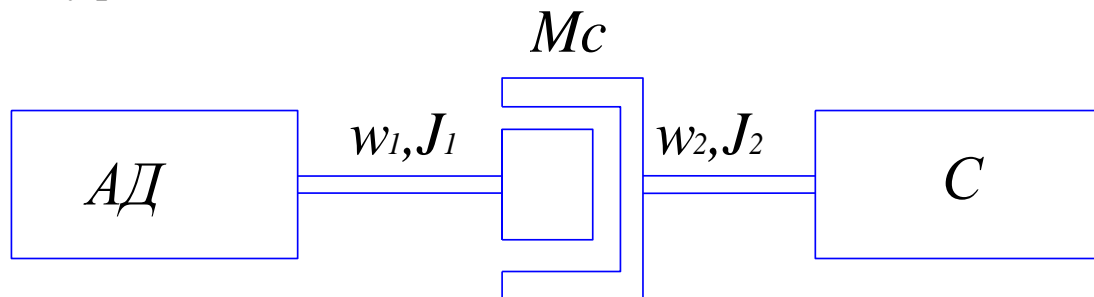


Рисунок 5.5 Функциональная характеристика сепаратора с муфтой скольжения: АД – асинхронный двигатель, МС – муфта скольжения, С – сепаратор.

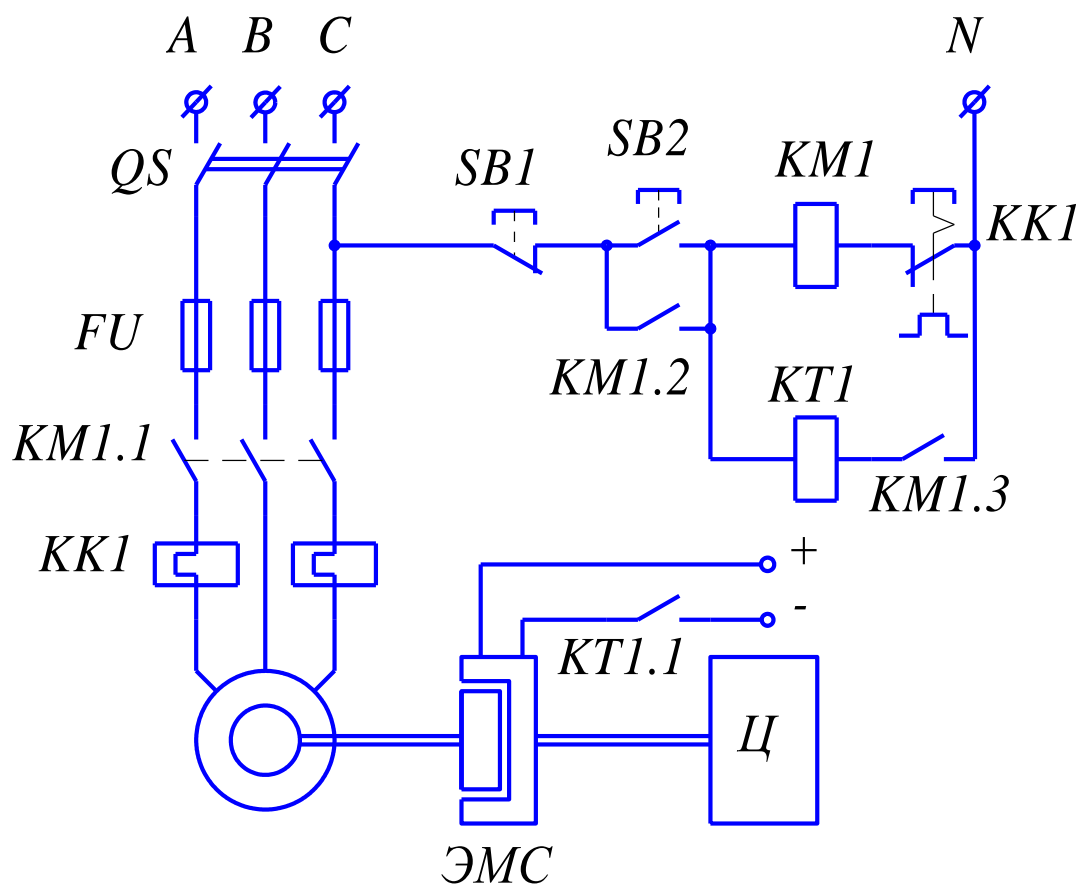


Рисунок 5.6 Электропривод сепаратора с муфтой скольжения.

Суммарные потери в обмотке ротора за время пуска

$$\Delta W_{n2} = \frac{J \cdot w_0^2}{2} (2s_{cy} - s_{cy}^2), \quad (5.11)$$

где J – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции;

w_0 – синхронная угловая скорость двигателя.

Потери энергии в муфте

$$\Delta W_m = \frac{J \cdot w_0^2}{2} (1 - s_{cy}^2)^2. \quad (5.12)$$

Очевидно, что сумма потерь энергии в обмотке ротора и муфте равна общим пусковым потерям в роторе

$$\Delta W_n + \Delta W_m = \frac{J \cdot w_0^2}{2}. \quad (5.13)$$

Таким образом, выбирая скольжение сцепления путем настройки пружинного механизма муфты скольжения, можно оптимизировать потери в роторе во избежание недопустимого превышения температуры. Так, для распределения потерь поровну между обмоткой и муфтой скольжение $s_{cy}=0,3$, т.е. оно близко к критическому скольжению двигателя по механической характеристике.

В настоящее время применяются преимущественно ЭП сепараторов с многоскоростным асинхронным двигателем. Пуск механизма производится последовательным переключением двигателя на высшие ступени (меньшие числа пар полюсов) по мере разгона (рисунок 5.7). Пуск, как правило, автоматизирован. Управление производится в основном в функции времени, или измерением скорости. Достоинствами такого привода по сравнению с приводами с центробежными муфтами являются:

1. Упрощение механической части привода, так как входной вал центрифуги непосредственно соединяется с валом двигателя.

2. Такой привод является энергосберегающим, так как потери энергии в обмотке ротора при пуске снижаются, а вместе с ним и уменьшается нагрев двигателя.

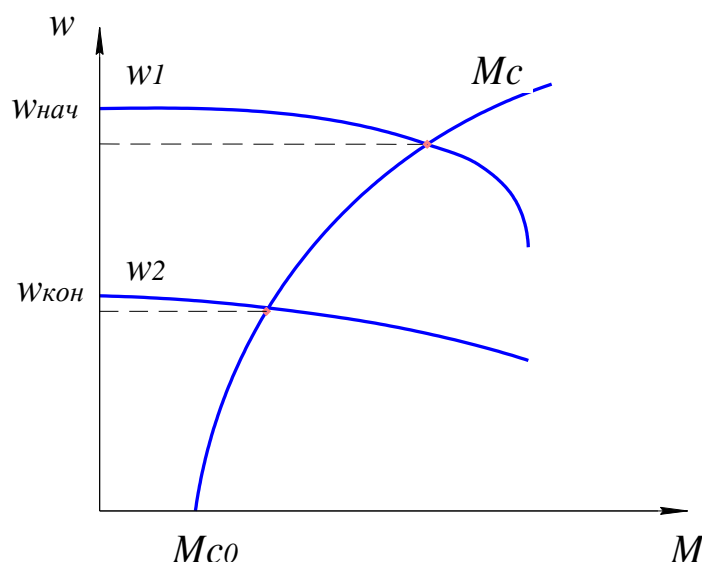


Рисунок 5.7 Механическая характеристика сепаратора при пуске в две ступени.

Промышленность выпускает асинхронные двигатели двух-, трех- и четырехскоростные, серий 4А, АИР. При этом предпочтение следует отдать двигателю с характеристикой, близкой к постоянству мощности. Опыт показывает, что в ЭП сельскохозяйственных сепараторов для решения вопросов пуска применяются в основном двухскоростные асинхронные двигатели.

Недостатки ЭП с многоскоростными двигателями связаны с резкими колебаниями динамического момента при переключениях ступеней, что неблагоприятно сказывается на механической передаче.

Потери в асинхронном двигателе при пуске

$$\Delta A_n = \int_{s_{\text{кон}}}^{s_{\text{нач}}} J \cdot \omega_1^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) s \cdot ds, \quad (5.14)$$

где J - суммарный приведенный момент инерции сепаратора и двигателя;

ω_1 - синхронная угловая скорость двигателя;

R_1 - сопротивление обмотки статора;

R_2' - приведенное сопротивление обмотки ротора.

При пуске в одну ступень $s_{\text{нач}} = 1$, $s_{\text{кон}} \approx 0$

$$\Delta A_n = \frac{J \cdot \omega_1^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (5.15)$$

Пуск двухскоростного двигателя осуществляют на первой ступени от неподвижного состояния ($w_{нач} = 0, s = 1$) до половины скорости ($w_{кон} = w_{01} = \frac{w_{02}}{2}, s_{кон} = 0,5$).

$$\begin{aligned} \Delta A_{n1} &= J \cdot \omega_{01}^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) \int_0^1 s ds = \frac{J \cdot \omega_{01}^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) \\ &= \frac{J \cdot \omega_{02}^2}{8} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \end{aligned} \quad (5.16)$$

где w_{01} и w_{02} - первая и вторая синхронные угловые скорости.

Затем двигатель переключается на вторую скорость: происходит разбег двигателя от половинной скорости

($w_{нач} = \frac{w_{02}}{2}, s_{нач} = 0,5$) до полной ($w_{кон} \approx w_{02}, s_{кон} \approx 0$).

$$\Delta A_{n2} = J \cdot \omega_{02}^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) \int_0^{0,5} s ds = \frac{J \cdot \omega_{02}^2}{8} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (5.17)$$

Общие потери

$$\Delta A_{n2} = \Delta A_{n1} + \Delta A_{n2} = \frac{J \cdot \omega_{02}^2}{4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (5.18)$$

т.е. в два раза меньше, чем при одноступенчатом изменении скорости.

Схема включения двухскоростного асинхронного привода сепаратора с управлением по скорости представлена на рисунке 5.8.

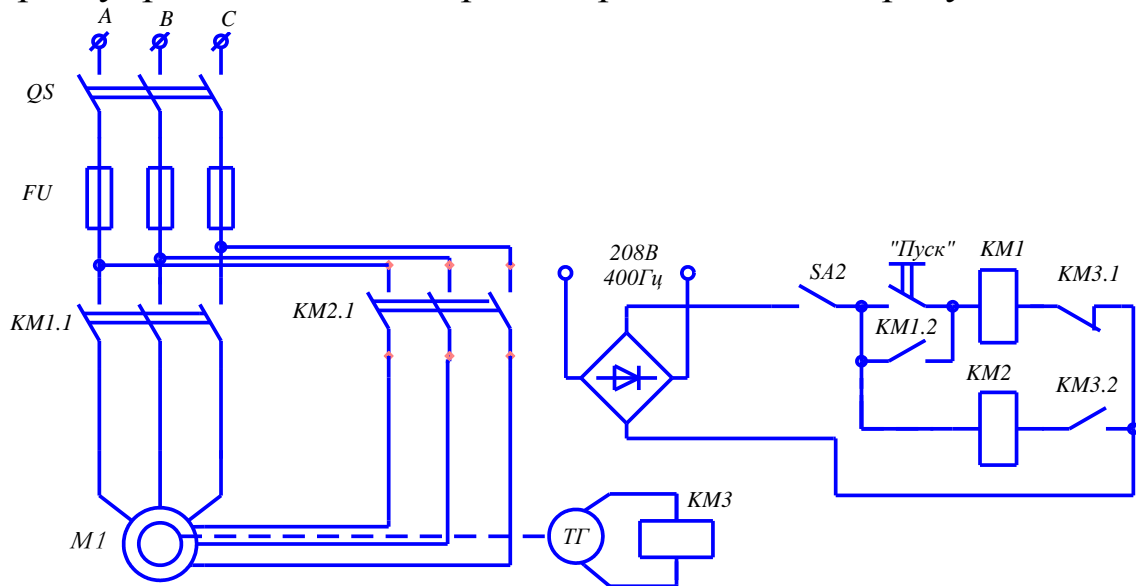


Рисунок 5.8 Схема включения двухскоростного асинхронного привода сепаратора с управлением по скорости.

При включении на первой скорости кнопкой «Пуск» двигатель развивает большой пусковой момент при меньшем пусковом токе. При достижении 4000 об/мин и более $TГ$ на выходе создает ЭДС большого напряжения, срабатывает $KМЗ$, который отключает $KМ1$, включает $KМ2$, переводя двигатель на вторую скорость. Происходит дальнейший разбег до номинальной скорости вращения при увеличенном избыточном моменте и пониженном по сравнению с начальным пусковым током.

Преимущества такого электропривода заключается в более простом передаточном устройстве (соединительная муфта), меньшем пусковом токе, большем пусковом моменте, приводящим к снижению времени пуска.

Оптимальное сочетание механических характеристик двигателя и муфты должно быть $s < s_{кр}$ в точке пересечения характеристик (рисунок 5.9).

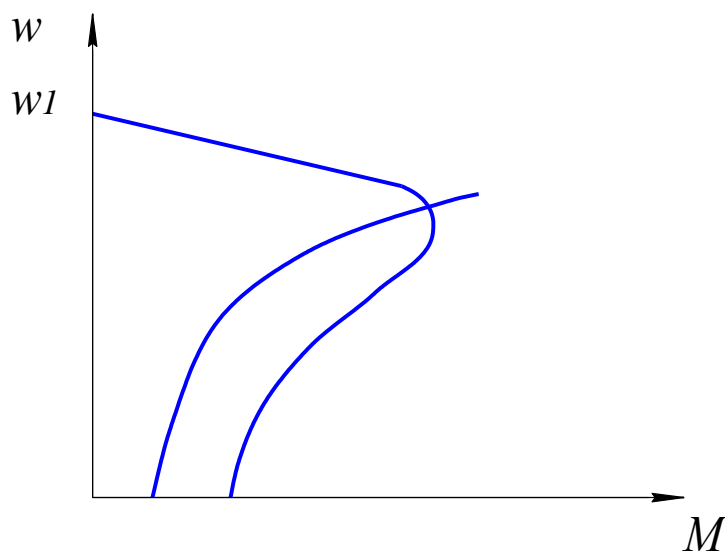


Рисунок 5.9 Определение оптимального сочетания механических характеристик двигателя и муфты.

На рисунке 5.10 приведена схема управления по времени ЭП сепаратора с двухскоростным асинхронным двигателем.

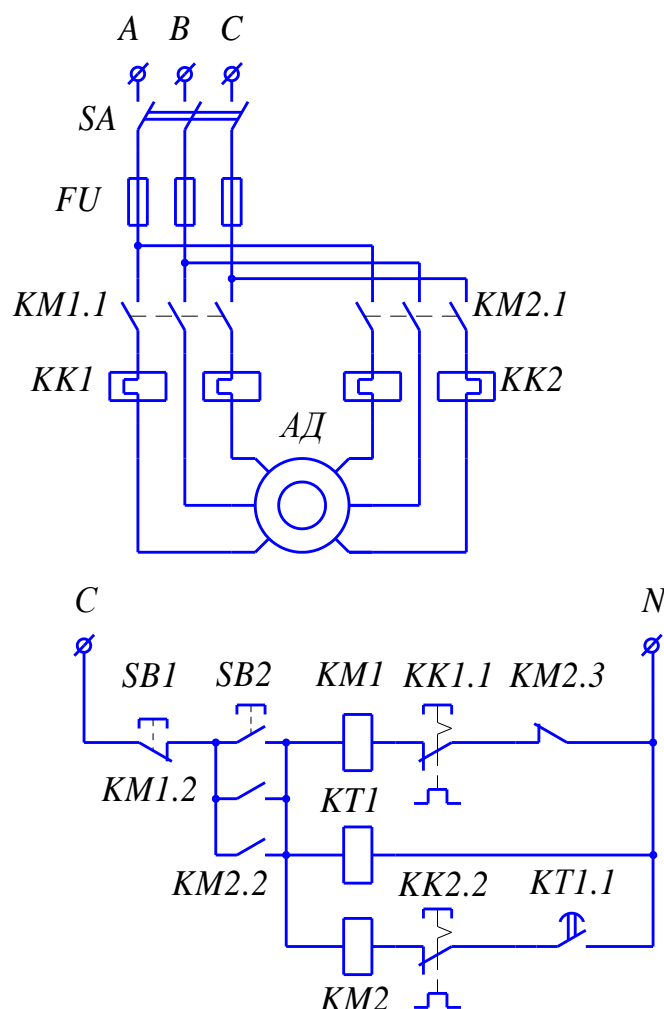


Рисунок 5.10 ЭП сепаратора с двухскоростным асинхронным двигателем.

5.5 Электропривод сепаратора по системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель

ЭП по системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель (рисунок 5.11) представляется наиболее перспективным по всем основным показателям:

1. Пуск возможен при постоянном моменте (или токе) за вполне определенное время.
2. Минимальные пусковые потери в обмотках, в (3...5) раз меньше, чем в приводах с муфтой.
3. Возможность регулирования скорости в широких пределах (для некоторых типов центрифуг).

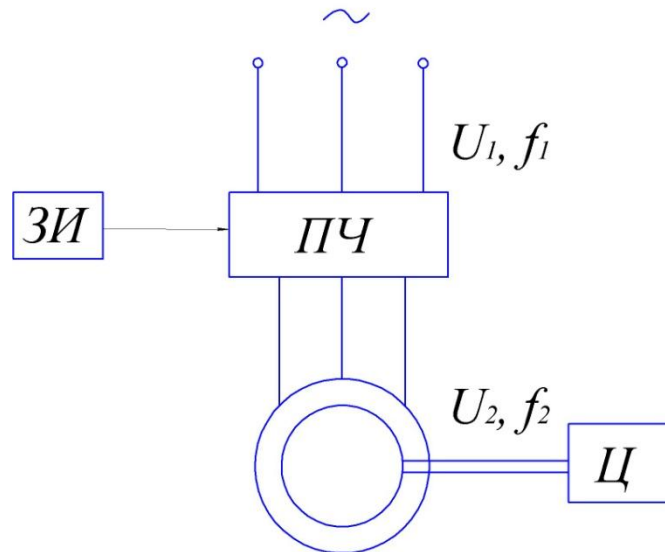


Рисунок 5.11 Функциональная схема ЭП по схеме ПЧ-АД.

При питании от сети переменного тока U_1, f_1 преобразователь выдает на выходе регулируемые напряжение и частоту U_2, f_2 . Постоянство пускового момента и ускорение обеспечивает закон регулирования $\frac{U_2}{f_2} = const$. При этом пуск автоматизирован, а темп изменения U_2 и f_2 задается в зависимости от времени пуска с помощью задатчика интенсивности (ЗИ).

6 ЭЛЕКТРОПРИВОД РУЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

6.1 Электроинструменты и выбор оптимальной частоты вращения электродвигателя

Электрифицированный ручной инструмент получает рабочее движение от встроенного электродвигателя, а подача и управление осуществляются вручную. Двигатель с редуктором заключен в легкий корпус. Электрическая энергия подводится по шланговому проводу. В качестве рабочих органов применяются сверла, дисковые и цепные пилы, точильные и шлифовальные круги, вибраторы, ножи и т.п. Двигатели электроинструментов рассчитаны на продолжительность включения ПВ 40, 60 %.

Во время работы необходимо следить за температурой корпуса электроинструмента, которая не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 20°C. Электроинструменты должны удовлетворять целому ряду технико-экономических требований, но прежде всего они должны быть безопасными, надежными и удобными в работе.

Передача момента от двигателя к инструменту может осуществляться через редукторы (цилиндрический, червячный), вращающийся обращенный ротор (электрорубанок), непосредственным образом – рабочие органы расположены непосредственно на валу двигателя (дисковые пилы, электроточила).

Масса двигателя составляет 75...88% общей массы электроинструмента и для ее уменьшения стараются использовать высокоскоростные двигатели.

При постоянной мощности P [кВт] с увеличением частоты вращения двигателя $n_{\text{дв}}$ [об/мин] и частоты питающей сети f [Гц] масса его активных материалов G [кг] уменьшается (кривая 1 на рисунке 6.1)

$$G = G_0 \sqrt{\frac{50}{f} \cdot \frac{P}{n_{\text{дв}}}}, \quad (6.1)$$

где G_0 - экспериментальный коэффициент, $G_0 = 11 \dots 13$.

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.

Рабочие органы инструмента требуют определенной, оптимальной для них скорости движения. Передаточное число и масса редуктора при повышении частоты вращения двигателя увеличиваются (кривая 2 на рисунке 6.1). Значит суммарная характеристика масс G_{Σ} двигателя G_{∂} и редуктора G_p при изменении частоты вращения будет иметь минимум. Для ручного инструмента он находится в области 8...12 тыс. об/мин.

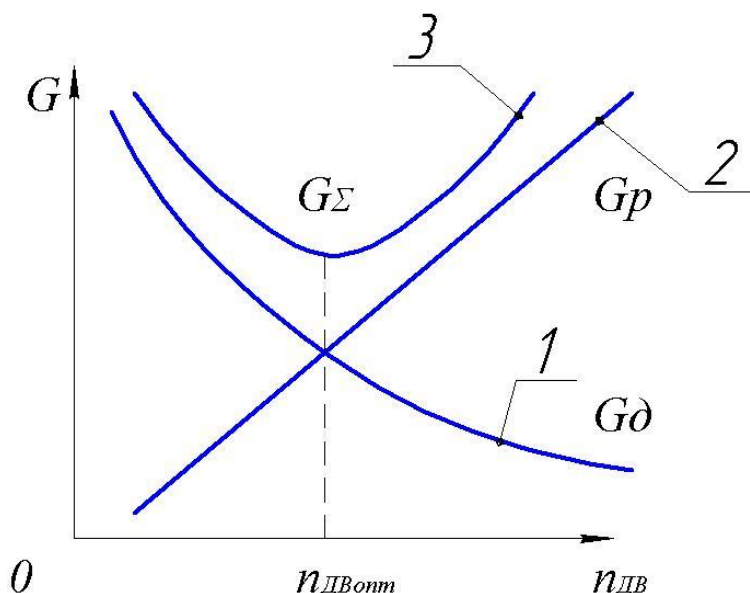


Рисунок 6.1 Определение оптимальной скорости движения рабочих органов инструмента.

6.2 Двигатели и источники питания электроинструмента

В приводе электроинструментов применяют универсальные коллекторные двигатели переменного однофазного тока, которые могут работать и от сети постоянного тока и асинхронные трехфазные двигатели нормальной и повышенной частоты обычного и обращенного исполнения.

Преимущества коллекторных электродвигателей — их быстроходность, достигающая 12...18 тыс. об/мин. Основные недостатки — наличие малонадежного контакта коллектор-щеткой, а также мягкость механической характеристики, ведущая к снижению частоты вращения при незначительных перегрузках.

Асинхронные электродвигатели, частота вращения которых близка к 3000 об/мин при 50 Гц и 12000 об/мин при 200 Гц, обладают достаточной жесткой механической характеристикой (в ее рабочей части), отличаются большой перегрузочной способностью, 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, высокочастотного преобразователя, 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 разделить на две части – рабочую и пусковую и последовательно с пусковой обмоткой включить фазосдвигающий элемент – активное, индуктивное или емкостное сопротивление. Лучший эффект дает использование конденсаторов; подобные схемы характеризуются высоким пусковым моментом и максимальным пусковым током.

Схемы включения трехфазных двигателей в однофазную сеть приведены на рисунке 6.2.

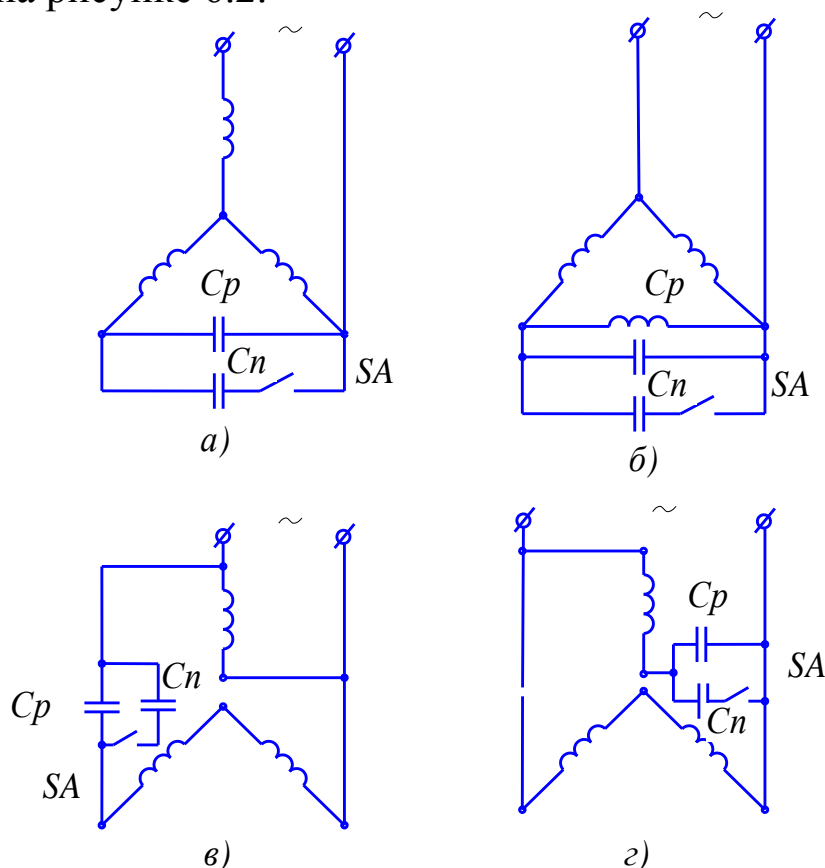


Рисунок 6.2 Схемы включения трехфазных двигателей в однофазную сеть.

Значение рабочей емкости C_p [мкФ] и расчетные напряжения U_p [В] на конденсаторах определяются по следующим соотношениям:

для схемы на рисунке 6.2, а

$$C_p = \frac{2800I_{\phi}}{U}, U_p = 2,2U; \quad (6.2)$$

для схемы на рисунке 6.2, б

$$C_p = \frac{4800I_{\phi}}{U}, U_p = 1,15U; \quad (6.3)$$

для схемы на рисунке 6.2, в

$$C_p = \frac{1600I_{\phi}}{U}, U_p = 2,2U; \quad (6.4)$$

для схемы на рисунке 6.2, г

$$C_p = \frac{2740I_{\phi}}{U}, U_p = 1,3U, \quad (6.5)$$

где I_{ϕ} - номинальный фазный ток двигателя, А;

U - напряжение сети, В.

Значение пусковой емкости, включаемой кратковременно, принимают в 2...3 раза больше значения рабочей.

При пуске двигателя вхолостую пусковая емкость не нужна. Для рабочей емкости используют конденсаторы КБГ, БГТ или БГЧ. Пусковую емкость можно использовать из электролитических конденсаторов типа ЭП.

Трехфазные понижающие трансформаторы 380/36 В мощностью 0,5; 1; 1,5 кВА применяют для питания электроинструмента, рассчитанных на пониженное напряжение. Также инструменты используют в условиях, особо опасных в отношении поражения людей электрическим током.

Преобразователи частоты предназначены для питания высокочастотного электроинструмента. Выпускаются в виде системы Д-Г. Двигатель приводит во вращение генератор. На выходе генерируется ток повышенной частоты 200...400 Гц.

Используются передвижные электростанции. Дизельный двигатель приводит в движение электрический генератор. На выходе генератора устанавливаются необходимые напряжение и частота.

7 ЭЛЕКТРОПРИВОД МОБИЛЬНЫХ МАШИН

7.1 Способы снабжения электрической энергией

Применение электропривода значительно упрощает кинематику агрегатов, увеличивает их надежность и производительность, повышает культуру производства.

Электрические двигатели мобильных сельскохозяйственных машин могут получать энергию от источников различными способами: по троллейным и кабельным линиям, через электрическую трансмиссию, от аккумуляторов, топливных химических элементов.

При троллейном способе энергия к электродвигателям поступает от неизолированных проводов через подвижные контакты (щетki, ролики и т.д.). Электрифицированный агрегат, двигаясь параллельно троллейным проводам, выполняет те или иные полевые работы.

Кабельный способ питания наиболее пригоден для большинства конструкций электрифицированных агрегатов. Электродвигатель получает питание от сети или трансформаторной подстанции по гибкому кабелю, который последовательно разматывается с барабана и наматывается на барабан, расположенный на агрегате, или поднят над землей.

В 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.

Вариант питания электродвигателя от аккумуляторной батареи в принципе является идеальным решением проблемы электроснабжения электропривода мобильных машин. 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.

Использование на сельскохозяйственных машинах топливных элементов, превращающих химическую энергию топлива непосредственно в электрическую, представляется весьма заманчивым и перспективным, но стоимость топливных элементов все еще слишком высока.

7.2 Электрокары, электропогрузчики, кормораздаточные тележки

Грузоподъемность электрокар – 200 кг, скорость перемещения – 10...14 км/ч. Используются для перевозки грузов внутри ферм, складов по асфальтированным, булыжным и бетонным дорогам. Грузоподъемность электропогрузчиков – до 2000 кг.

На электрокарах устанавливается реверсивный закрытый двигатель постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения (мощностью до 3 кВт, номинальным током до 150 А). Регулирование скорости осуществляется ступенчато изменением сопротивления в цепи статора и потока возбуждения.

Предусматривается блокировка ножного и ручного тормозов (нельзя запустить двигатель при включенных тормозах). Регулирование скорости кормораздатчика также осуществляется тиристорным коммутатором, подающим на электродвигатель импульсное напряжение, модулированное по длительности. Уменьшается длительность – уменьшается скорость и наоборот.

Электрокара обладает хорошей маневренностью на ограниченных площадках и узких проездах скотных дворов. Бесшумность хода и отсутствие дыма – ценные качества при эксплуатации на животноводческих фермах. Недостаток – необходимость применения аккумуляторной батареи.

Емкость батарей рассчитывают на непрерывную работу двигателя в течение 5 часов, что практически достаточно для обслуживания фермы в течение полного рабочего дня. В конце рабочего дня аккумуляторную батарею ставят на подзарядку.

7.3 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 движение режущие аппараты, заменяет механическую трансмиссию косилки. При этом кинематическая схема существенно упрощается. Кроме того, механическая трансмиссия после работы в течение 1000-1500 часов требует значительного ремон-

та, а безремонтный срок работы электропривода косилки равен 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 современных косилках используют вращательное движение элементов электропривода (до 800 об/мин), что позволяет применять высокоскоростные, а следовательно, и легкие асинхронные двигатели.

Электропривод жаток. Для скашивания зерновых культур использовался агрегат, состоящий из трактора ДТ-54 и двух жаток ЖЭА-2Р, причем, 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.

Электрооборудование получает энергию от синхронного генератора мощностью 15 кВт по гибкому кабелю. Синхронный генератор установлен на кронштейне позади трактора и работает от вала отбора мощности трактора.

Мощность электродвигателя для привода жатки определяется следующим образом:

$$P_{\text{дв}} = (P_{\text{хх}} + P_{\text{рез}} + P_{\text{валк}}) / \eta_{\text{п}}, \quad (7.1)$$

где $P_{\text{хх}}$ - мощность холостого хода жатки, Вт;

$P_{\text{валк}}$ - мощность, затрачиваемая на образование валка (примерно 0,25 кВт);

$P_{\text{рез}} = c \cdot b \cdot v \cdot p_1 \cdot t$ – мощность, затрачиваемая на резание стеблей, Вт;

c - коэффициент засоренности посевов;

v - скорость движения жатки, м/с;

b - ширина захвата жатки, м;

t - число стеблей на 1 м² поля;

p_1 - работа, затрачиваемая на резание одного стебля (около 0,3 Н·м).

8 ЭЛЕКТРОПРИВОД СТЕНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

8.1 Общие сведения

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 ДВС, а во втором ДВС работает на тормозное устройство – электродвигатель, работающий в тормозном режиме. Продолжительность и интенсивность обкатки определяются технологическими условиями на ремонт ДВС.

Анализ технических требований на ремонт ДВС показывает, что для высококачественной обкатки привод стенда должен обеспечить плавное регулирование скорости вращения в широких пределах, обладать достаточным моментом для трогания ДВС и соответствовать условиям горячей обкатки, т.е. загружать ДВС до номинальной мощности и частоты вращения. Этим требованиям удовлетворяет стенд, в которых использован асинхронный двигатель с фазным ротором.

Для измерения момента двигателя применяют балансирную систему. Корпус электродвигателя монтируется на стойки 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.

Электродвигатель соединен с ДВС шарнирным валом. Для плавного регулирования частоты вращения и загрузки электродвигателя применен в цепи ротора жидкостный реостат, раствор которого перемешивает вертикальный центробежный электронасос.

Электростенд по сравнению с гидротормозом обладает рядом преимуществ: 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.

Установка на основе двигателя с фазным ротором также менее металлоемка и проще в обслуживании, чем система Г-Д постоянного тока.

8.2 Электропривод обкаточных стендов двигателей внутреннего сгорания (ДВС)

Режимы обкатки ДВС. Обкатка ДВС производится после его сборки на ремонтных предприятиях и на моторостроительных заводах. Она предназначена для приработки трущихся поверхностей сборочных деталей, проверки правильности двигателей и работоспособности механизмов и узлов двигателя.

Обкатка производится по техническим требованиям на капитальный ремонт двигателей в двух режимах: 1) холодная обкатка; 2) горячая обкатка. Холодная обкатка проводится на неработающем двигателе без компрессии и с компрессией. Горячая обкатка проводится на работающем двигателе без нагрузки и с нагрузкой.

Частоту вращения коленчатого вала и нагрузку двигателя при обкатке изменяют по возрастающей плавно или ступенчато. Обкатка может производиться как в ручном, так и автоматическом режимах.

В соответствии с техническими требованиями на капитальный ремонт ДВС общая продолжительность стендовой обкатки составляет три часа. Сначала производится холодная обкатка, а потом горячая. Продолжительность холодной обкатки составляет 70 минут: сначала без компрессии 40 минут, затем с компрессией – 30 минут. Горячая обкатка длится 110 минут: сначала без нагрузки на холостом ходу в течение 30 минут, затем под нагрузкой – 80 минут.

Обкатка ДВС производится на специализированных, так называемых обкаточно-тормозных или обкаточно-испытательных стендах. Наиболее полно удовлетворяют требованиям обкаточно-испытательных стендов стенды с электрическими приводами.

В обкаточных стендах в качестве электрических машин применяются электрические машины постоянного и переменного тока.

В стендах постоянного тока используются электрические машины смешанного возбуждения. Они отличаются плавностью и широким диапазоном регулирования скорости и нагрузочных режимов. Диапазон регулирования скорости составляет 8:1. Они в большинстве случаев используются в научно-исследовательских лабораториях. Также применяются машины переменного тока (асинхронные с фаз-

ным ротором), у которых диапазон регулирования скорости $2 \dots 2,5:1$. Эти стенды в основном используются в ремонтных предприятиях АПК для обкатки автотракторных двигателей, агрегатов и узлов. Частоту вращения у асинхронных машин с фазным ротором регулируют с помощью переменных резисторов, включаемых в электрическую цепь ротора. В качестве переменных резисторов на обкаточных стендах применяют жидкостные регулировочные реостаты.

В обкаточных стендах используются электрические машины как в обычном общепромышленном, так и балансирном исполнениях. В первом случае статор расположен неподвижно на основании стенда, во втором случае статор подвешивается на пружинных стойках, может совершать угловые перемещения около оси ротора.

Жидкостный регулировочный реостат. Жидкостный реостат представляет собой металлический бак, наполненный электролитом. Внутри бака помещены три стальных электрода. Каждый электрод состоит из трех пластин: средней (основной) и двух боковых (дополнительных).

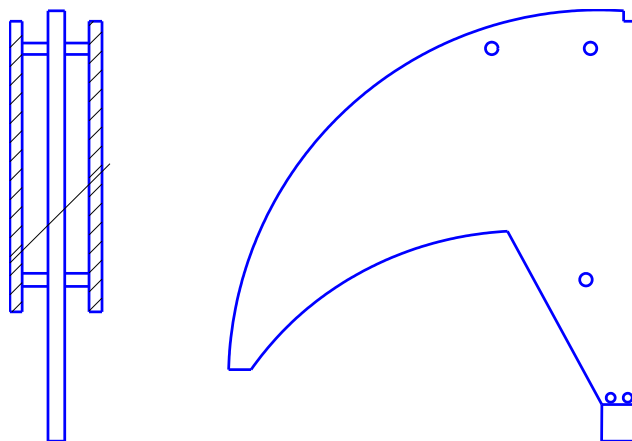


Рисунок 8.1 Форма основной пластины.

Пластины электродов (рисунок 8.1) изготавливают толщиной 3 мм и более и укрепляют их таким образом, чтобы исключить возможность непосредственного соприкосновения их между собой. Электроды погружают в раствор заостренной частью основной пластины. В начальный момент площадь контакта с раствором незначительна, сопротивление велико. При полном погружении электродов в раствор совместно с боковыми дополнительными пластинами сопротивление реостата становится наименьшим. Сопротивление жидкостного реостата зависит от площади электродов, расстояния между электродами, концентрации и температуры электролита:

$$R = \rho_t \frac{l}{S}, \quad (8.1)$$

где ρ_t - удельное сопротивление электролита;

l - расстояние между электродами;

S - площадь поверхности электрода.

Электролитом для жидкостного реостата служит 0,5...3% раствор кальцинированной соды в воде.

В связи с использованием в обкаточном стенде асинхронного двигателя с фазным ротором и жидкостного регулировочного реостата к обкаточным стендам предъявляются дополнительные технические требования:

- должно обеспечиваться автоматическое поднятие электродов жидкостного реостата в верхнее исходное положение при исчезновении напряжения на электрической машине;
- должна обеспечиваться автоблокировка электрической машины для предотвращения ее запуска, если электроды реостата не находятся в верхнем исходном положении;
- должна обеспечиваться остановка стенда для предотвращения нежелательных ударных нагрузок и колебаний электрической машины и весового механизма;
- должна быть электросветовая индикация на пульте управления о месте расположения электродов в реостате;
- в конструкции жидкостного реостата должно быть устройство для короткого замыкания обмоток электрической машины при полностью погруженных в раствор электродах.

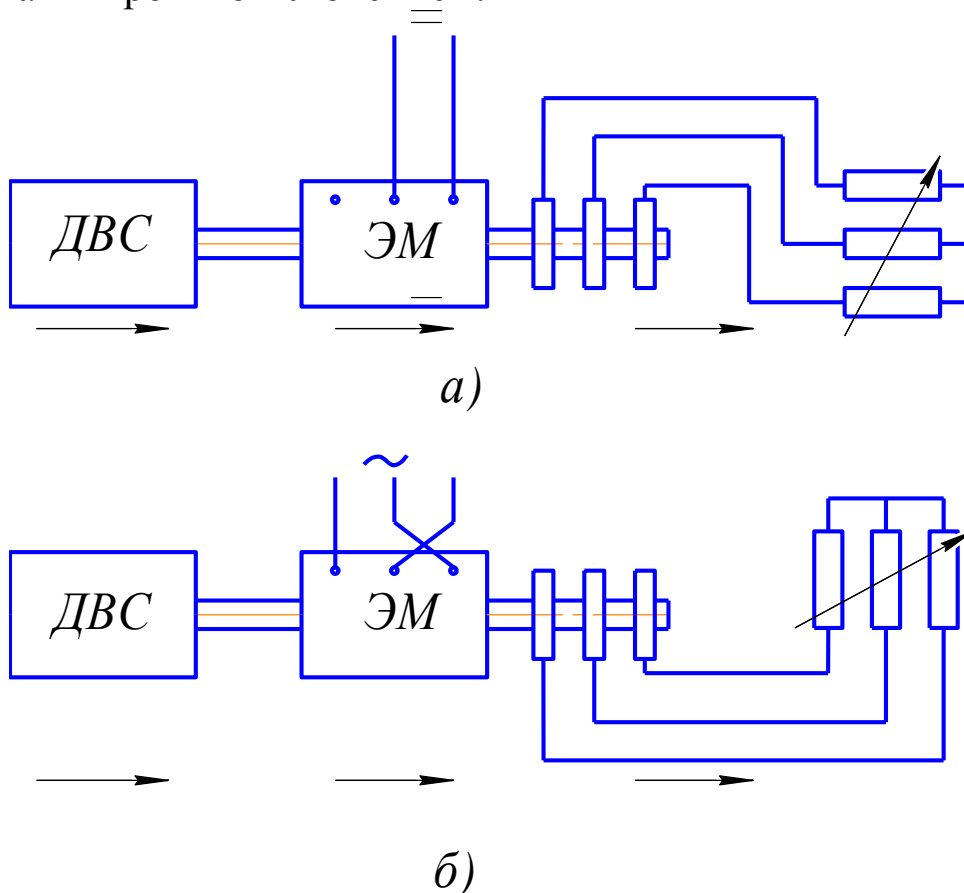
8.3 Структурные схемы обкаточных стендов

При проектировании обкаточных стендов в первую очередь решается вопрос: куда направить электрическую энергию, вырабатываемую электрической машиной (ЭМ) при горячей обкатке ДВС.

Одно из возможных направлений заключается в преобразовании электрической энергии в тепловую, которая будет выделяться в регулировочном реостате и в самой электрической машине. Такие системы электропривода называются системами с полной потерей энергии торможения.

Структурные схемы обкаточных стендов с выделением тепловой энергии в регулировочном реостате приведены на рисунке 8.2, в ко-

торых торможение электрической машины может быть как динамическое, так и противовключением.



**Рисунок 8.2 Структурные схемы обкаточных стандов с выделением тепловой энергии в регулировочном реостате:
а) динамическое торможение; б) торможение противовключением (стрелками показаны направления потока энергии).**

Недостатком таких схем является бесполезная потеря энергии. Чем выше мощность обкаточного станда, тем труднее решение вопроса с отводом тепла от регулировочного реостата и электрической машины.

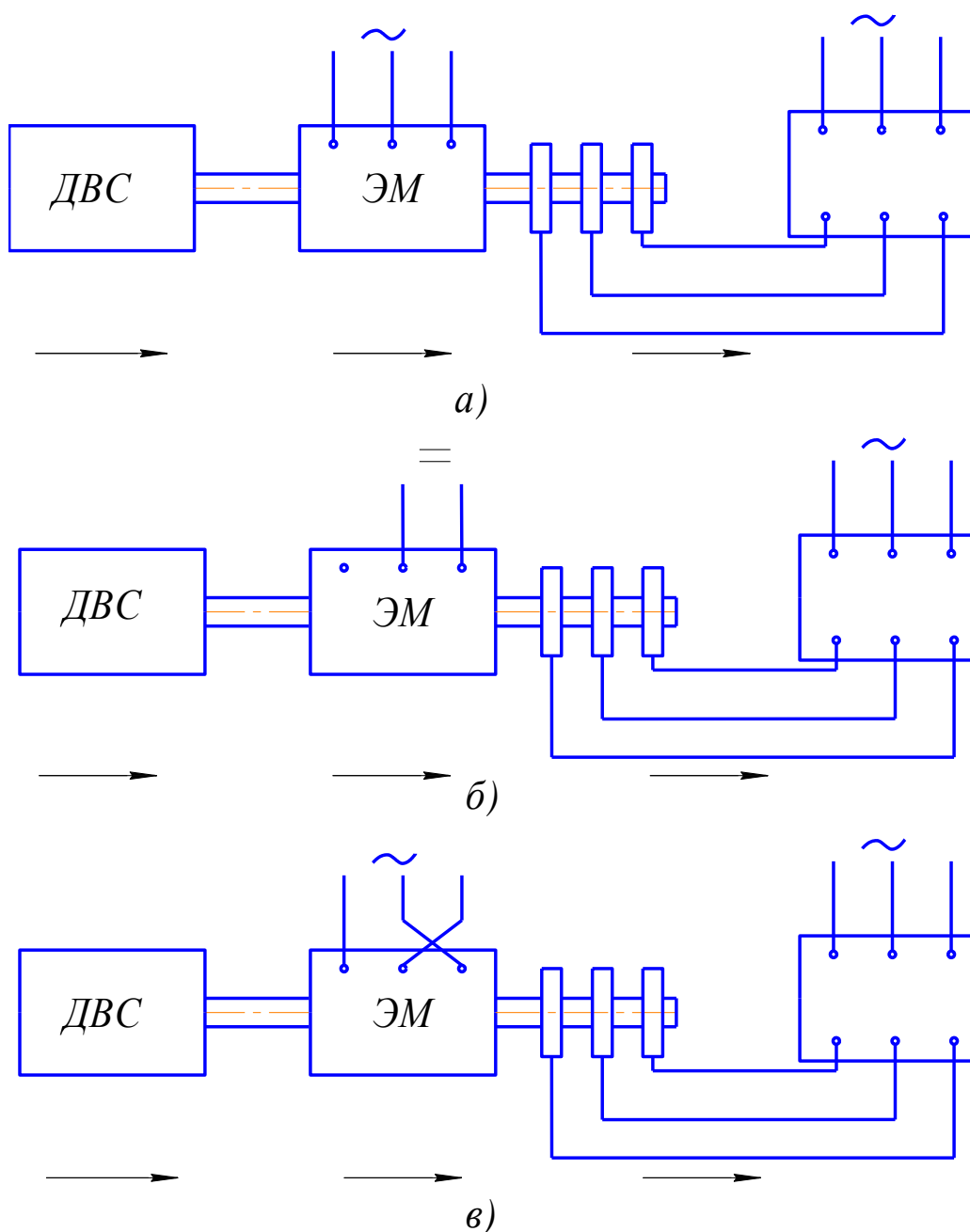


Рисунок 8.3 Структурные схемы обкаточных стандов с отдачей энергии в электрическую сеть.

Другое направление – отдача энергии в электрическую сеть. Такие системы электрического привода называются системами с рекуперацией энергии. Структурные схемы стандов с рекуперацией электрической энергии в сеть имеют варианты с полной и частичной рекуперацией энергии (рисунок 8.3). Стенды с полной рекуперацией энергии используют в своих схемах вместо регулировочного реостата преобразователь частоты (рисунок 8.3, а). В схемах с частичной рекуперацией энергии происходит отдача части энергии в электрическую сеть через статорную обмотку (рисунок 8.3, в) и отдача части энергии

через роторную обмотку в регулировочный реостат, где она преобразуется в тепловую и бесполезно теряется.

Окончательный выбор структурной схемы обкаточного стенда делается на основе технико-экономического анализа.

Одним из вариантов расширения возможностей обкаточных стендов заключается в использовании на одном стенде нескольких структурных схем.

8.4 Технологическая схема стенда

На рисунке 8.4 приведена технологическая схема обкаточно-тормозного стенда.

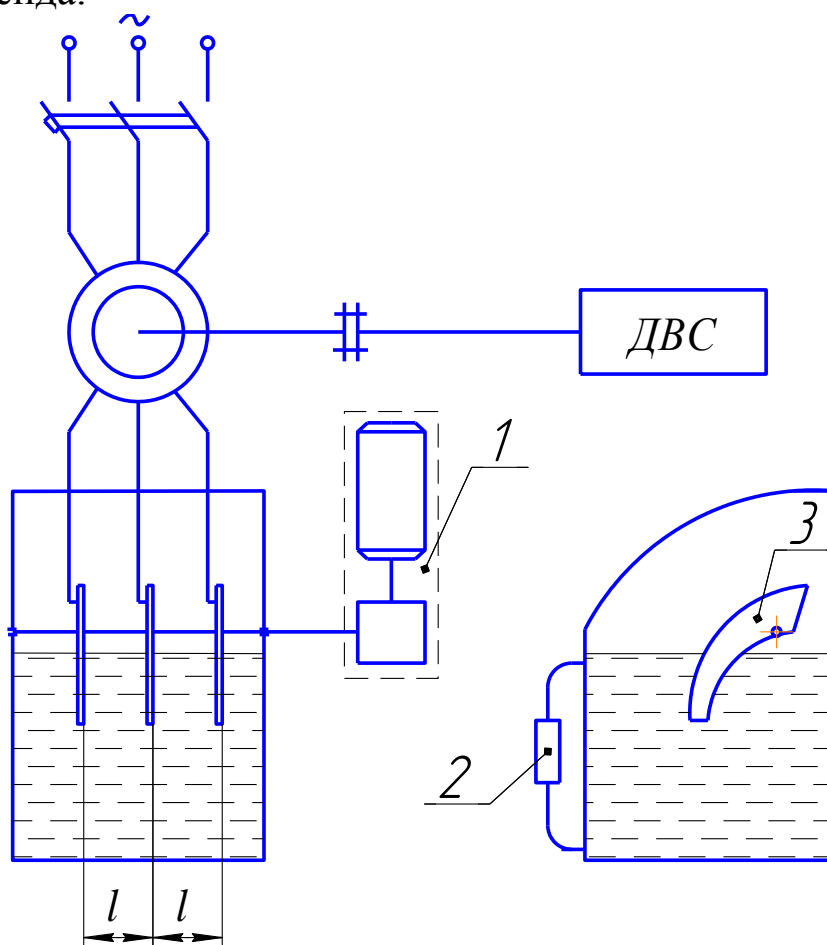


Рисунок 8.4 Технологическая схема обкаточно-тормозного стенда: 1 – привод жидкостного реостата; 2 – насос-охладитель жидкостного реостата; 3 – электроды жидкостного реостата; l – расстояние между электродами.

Выбирают асинхронный двигатель с фазным ротором на напряжение 380/220 В общепромышленного балансирного исполнения.

Исходными данными для выбора электрической машины являются: тип, номинальная мощность и номинальная частота вращения обкатываемого двигателя.

На основании исходных данных необходимо предварительно выбрать электрическую машину по частоте вращения и типу передачи. Обкатываемые двигатели, частота вращения коленчатого вала которых близка к частоте вращения электрической машины, рекомендуется соединять с электрической машиной с помощью соединительной муфты и карданных валов.

При необходимости повысить или понизить частоту вращения у обкатываемого двигателя одновременно с выбором частоты вращения электрической машины выбирают редуктор и его передаточное отношение.

Выбор электрической машины по частоте вращения заключается в том, чтобы номинальная частота вращения электрической машины в сверхсинхронном режиме при передаточном отношении между обкатываемым двигателем и электрической машиной, равном единице, была меньше или равна номинальной частоте вращения ДВС, т.е.

$$n_{нэг} \leq n_{нДВС} < n_{дон}, \quad (8.2)$$

где $n_{нэг} = n_c(1 + S_{нэг})$ - номинальная частота вращения электрической машины в сверхсинхронном (генераторном) режиме, об/мин;

n_c - синхронная частота вращения электромагнитного поля, об/мин;

$n_{дон}$ - максимальная допустимая частота вращения электрической машины;

$n_{нДВС}$ - номинальная частота вращения коленчатого вала обкатываемого ДВС.

8.5 Энергетические характеристики стенда

В обкаточном стенде тормозная мощность электрической машины в сверхсинхронном режиме ($P_{Мэг}$) и номинальной частоте вращения обкатываемого двигателя ($P_{нДВС}$) должна быть не меньше номинальной мощности этого двигателя

$$P_{Мэг} \geq P_{нДВС}. \quad (8.3)$$

Номинальная мощность электрической машины в двигательном режиме $P_{нэд}$ для обкаточного стенда определяется следующим образом

$$P_{нэд} \geq P_{нДВС} \frac{n_{нэд}}{n_{нДВС}} \cdot \eta_{нэг} \cdot \eta_{нэд}, \quad (8.4)$$

где $\eta_{нэг}$ и $\eta_{нэд}$ – соответственно, номинальный КПД электрической машины в сверхсинхронном и двигательном режимах.

Известно, что на обкаточном стенде обкатываемый двигатель большую часть времени работает с недогрузкой. Так, при горячей обкатке ДВС нагружается до 85...90% от номинальной величины, а при холодной обкатке момент сопротивления примерно 40...50% от номинального момента обкатываемого двигателя. Учитывая это обстоятельство, обкатывать ДВС можно на стендах с электрическими машинами, номинальный тормозной момент которых в сверхсинхронном режиме может быть меньше номинального крутящего момента обкатываемого двигателя на 10...25%.

8.6 Механические характеристики

По механическим характеристикам электрической машины и обкатываемого двигателя:

- проводится анализ электромеханических процессов в работе стенда;
- определяется диапазон регулирования частоты вращения;
- вычисляется величина добавочного сопротивления в цепи ротора электрической машины;
- проверяется возможность трогания с места электропривода и рабочей машины.

Для анализа электромеханических процессов в работе стенда на рисунке 8.5 приведены механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором и ДВС, где показаны естественная 1 и рабочие ветви искусственных 2 и 3 механических характеристик асинхронного двигателя в двигательном (I) и сверхсинхронном режимах (II квадрант) при различных сопротивлениях регулировочного реостата и механическая характеристика 4 обкатываемого ДВС.

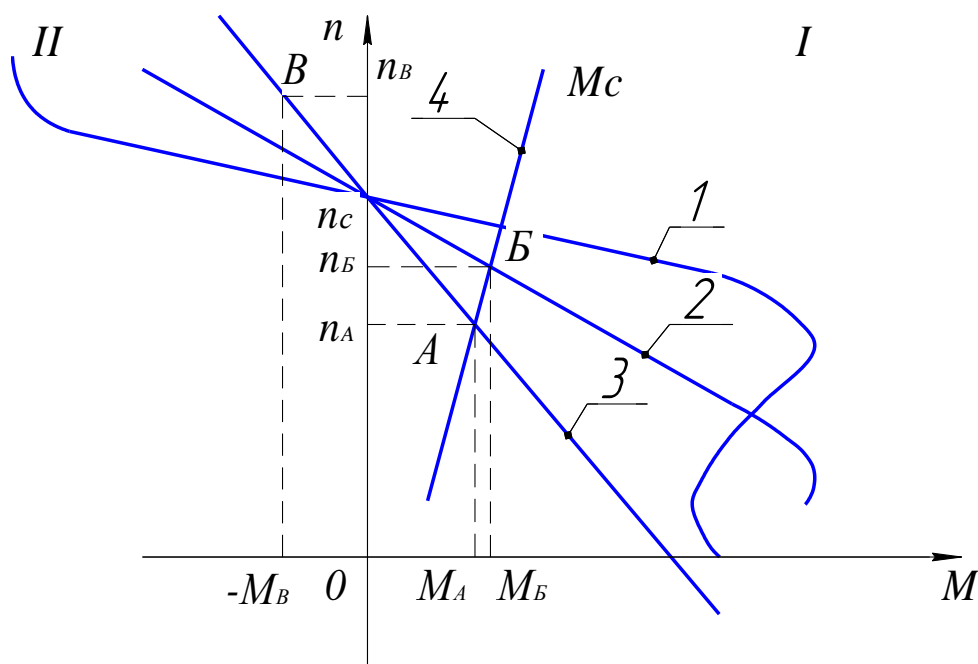


Рисунок 8.5 Механические характеристики электродвигателя и обкатываемого двигателя.

В начале пуска, когда сопротивление регулировочного реостата достаточно велико, механическая характеристика электродвигателя имеет вид 3. При уменьшении сопротивления реостата характеристика электродвигателя изменится от вида 3 к виду 2, а при сопротивлении реостата, равном нулю, переходит к виду 1. При уменьшении сопротивления регулировочного реостата пусковой момент электродвигателя увеличивается, становится больше момента трогания ДВС, и электропривод приходит в действие. В дальнейшем частоту вращения стенда повышают до значения n_A , что соответствует точке «А» в которой момент двигателя становится равным моменту сопротивления ДВС. Изменением сопротивления регулировочного реостата получают $n_A = 500 \dots 700$ об/мин. Далее сопротивление регулировочного реостата продолжают уменьшать до механической характеристики вида 2, на которой в точке «Б» привод регулировочного реостата останавливают и пускают привод тяги регулятора топливного насоса для запуска ДВС. В обкатываемый двигатель поступает топливо и он запускается. В начале ДВС работает на холостом ходу. По мере увеличения подачи топлива движущий момент ДВС совместно с частотой вращения становится больше, чем электрической машины. Начиная с частоты вращения n_C , процесс обкатки ДВС переходит в сверхсинхронный для электрической машины режим. ДВС принимает на себя возрастающую нагрузку. По истечении заданного времени обкатки

электрическая машина по механической характеристике 2 переходит в точку «В», где скорость вращения электрической машины становится равной номинальной скорости вращения ДВС. В точке «В» нагрузочный момент ДВС составляет 90...95% от номинального. Обкатка закончилась. ДВС продолжает работать на холостом ходу. В дальнейшем оператор останавливает ДВС, а стенд отключается от электрической сети.

Координаты точки «В» определяются по паспортным данным ДВС: $n_B = n_{ДВС}$ и $M_B = (0,9 \dots 0,95)M_{нДВС}$. Координаты точки «Б» находятся путем проведения прямой линии через точки «В» и n_C до пересечения с механической характеристикой M_c ДВС (характеристика 4). Координаты точки «Б» при этом составляют n_B и M_B .

8.7 Электрические схемы обкаточных стендов

Наиболее простая схема управления обкаточным стендом приведена на рисунке 8.6.

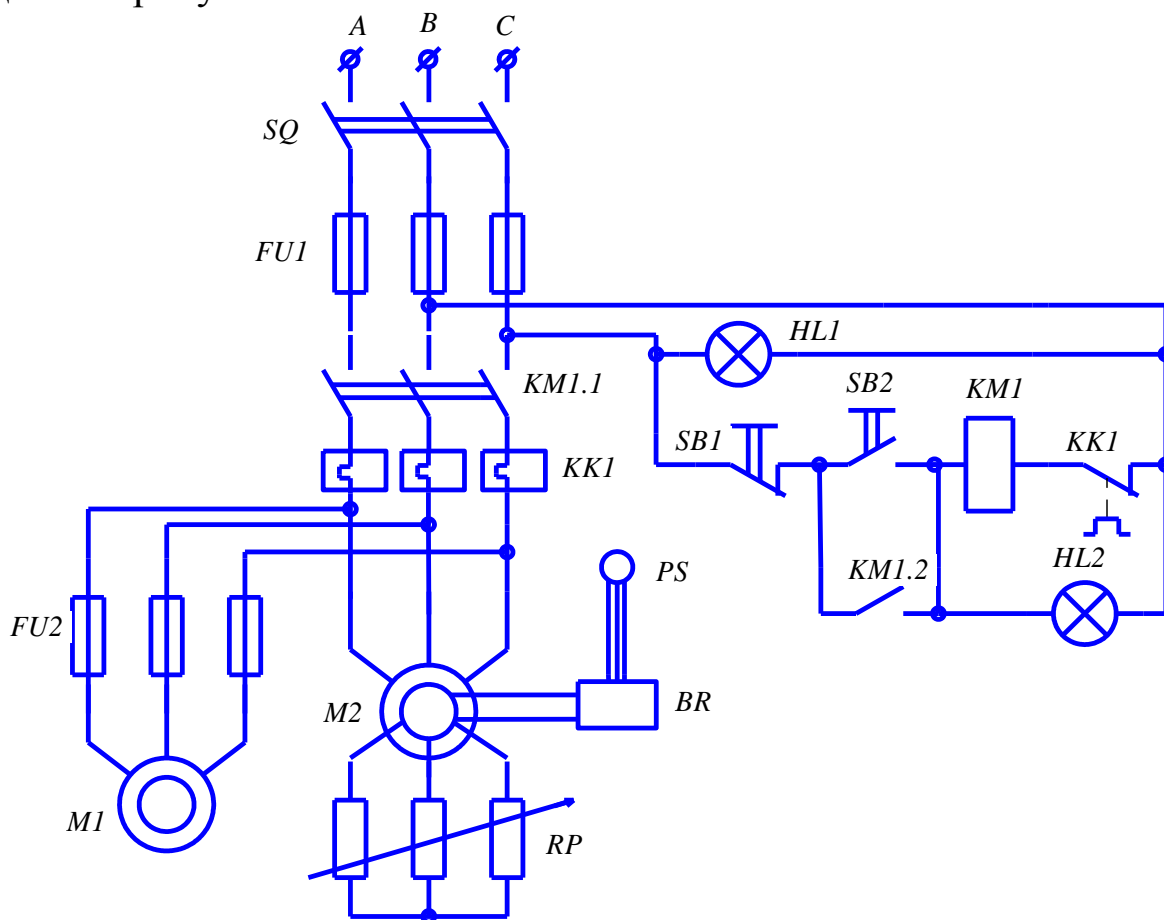


Рисунок 8.6 Схема управления обкаточным стендом.

Включение станда осуществляется выключателем *SQ*. При этом загорается электрическая лампа *HL1*. Включение электрической машины *M2* обкатывающей ДВС и электрической машины *M1* насоса центробежного станда осуществляется нажатием кнопки *SB2*. Лампа *HL2* сигнализирует о включении электрических машин. Поднятие и опускание электродов в жидкость регулируется реостатом *RP* и производится вручную с помощью ручки. Частоту вращения *M2* контролируют датчики частоты вращения *BR* с регистрирующим прибором *PS*.

Ниже приведена схема управления обкаточного станда с ограничителем частоты вращения ДВС (рисунок 8.7).

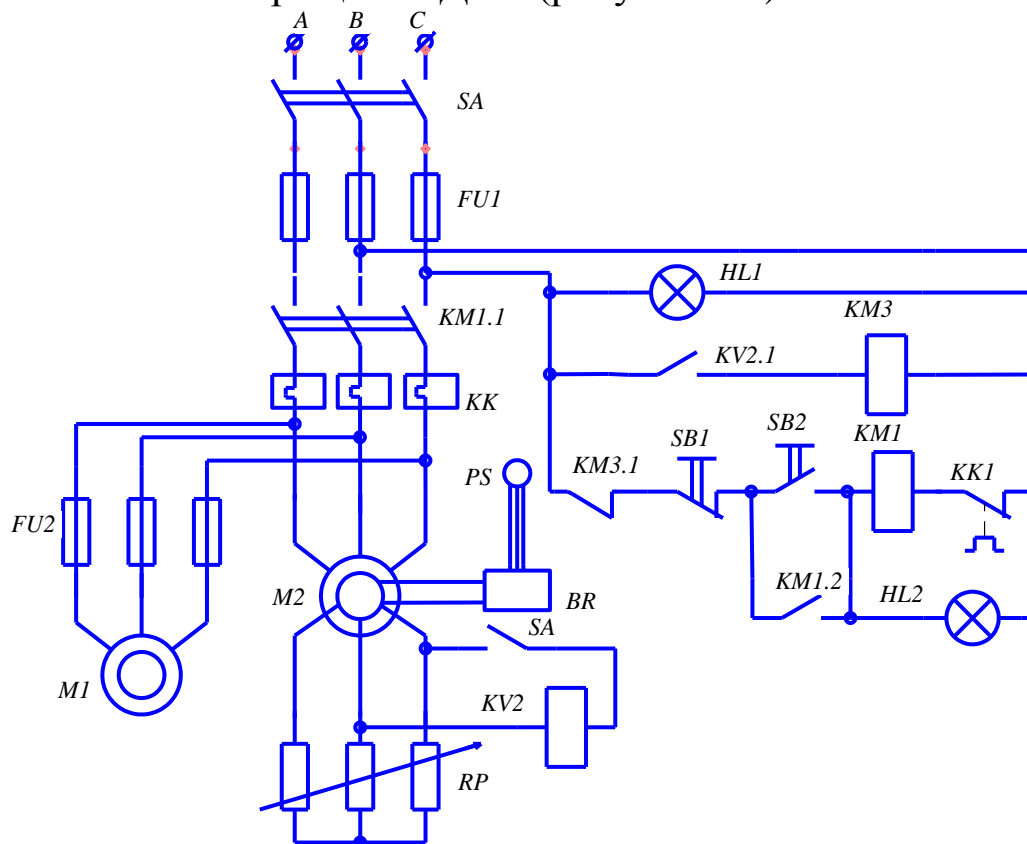


Рисунок 8.7 Схема управления обкаточного станда с ограничителем частоты вращения ДВС.

Ограничение частоты вращения ДВС необходимо для предотвращения разноса, из-за отсутствия регулятора максимальных оборотов ДВС. Разнос ДВС возможен, если при обкатке с нагрузкой произойдет непроизвольное выключение электрической машины *M2* или снятие без предупреждения напряжения. Для ограничения частоты вращения применяют реле напряжения *KV2*, катушка которого включена в цепь ротора *M2*, а замыкающий контакт *KV2.1* в цепь промежуточного реле *KM3*. Один из контактов *KM3* должен быть включен

в электрическую цепь электромагнитного клапана с целью прекращения подачи топлива в ДВС при остановке $M2$. Опускание и поднятие электродов производится вручную.

Ниже на рисунке 8.8 приведена принципиальная электрическая схема автоматического управления обкаточным стендом при плавном изменении параметров обкатки.

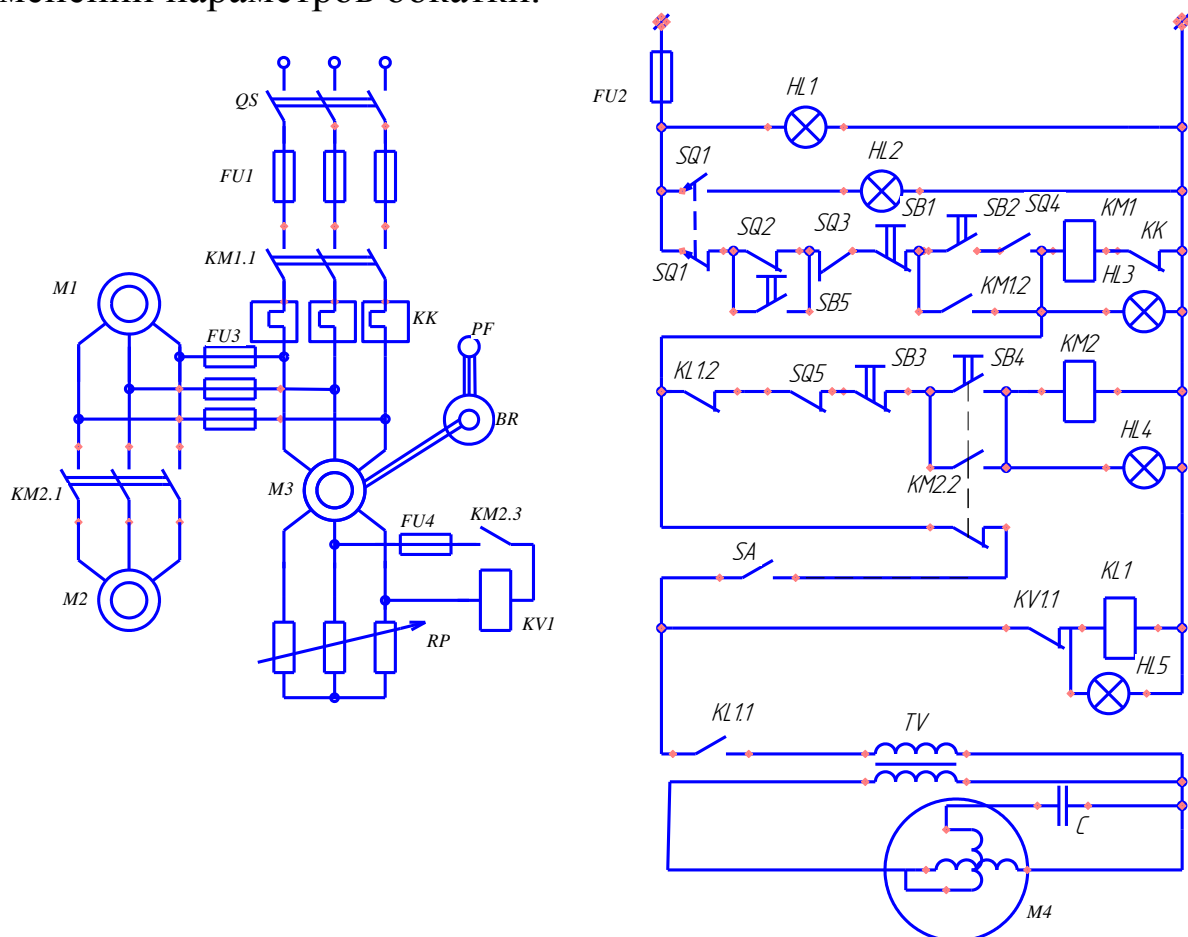


Рисунок 8.8 Схема автоматического управления обкаточным стендом при плавном изменении параметров обкатки.

Обкаточный стенд оборудован электроприводом $M2$ для поднятия и опускания электродов в регулировочном реостате RP , электроприводом $M4$ тяги регулятора топливного насоса для плавного увеличения подачи топлива по заданной программе при горячей обкатке ДВС; электрическим насосом $M1$, который перемешивает электролит в жидкостном регулировочном реостате RP и двигателем $M3$ для обкатки ДВС.

Для ограничения нагрузочного момента на шестерне весового механизма устанавливают упоры, а на стойке весового механизма – конечные выключатели $SQ1$, $SQ2$, $SQ3$. Выключатель $SQ1$ отключает стенд при достижении максимального значения крутящего момента.

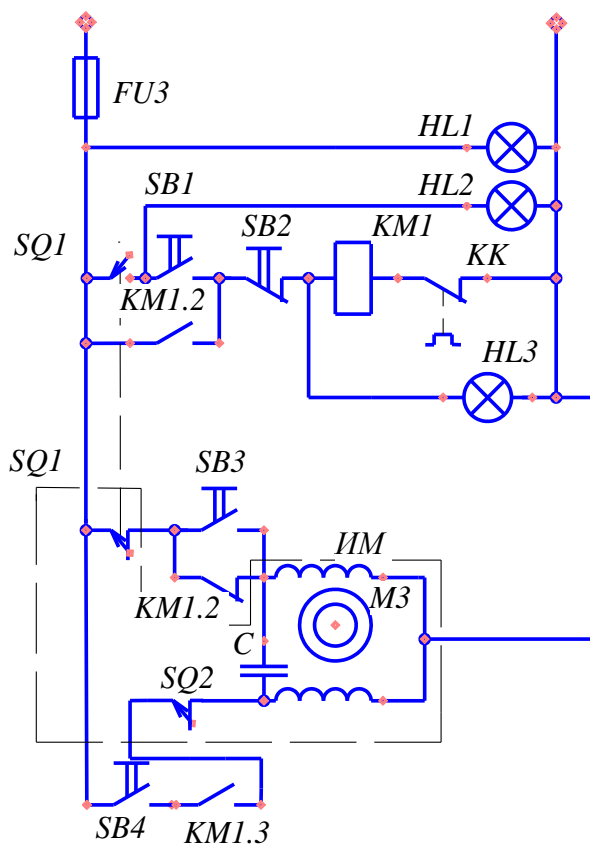
SQ2 останавливает стенд при холодной обкатке в случае перегрузки. Для преодоления большого момента трогания он шунтируется кнопкой *SB5*. Конечный выключатель *SQ4* замкнут при верхнем положении электродов жидкостного реостата, конечный выключатель *SQ5* останавливает электропривод *M2* жидкостного реостата, когда его электроды занимают крайнее нижнее положение.

Схема рассчитана на ручное и автоматическое управление стендом.

Рубильник *QS* подает напряжение на электрическую схему стенда, загорается сигнальная лампа *HL1*. Кнопкой *SB2* «пуск» запускаются в работу главная электрическая машина *M3* и электродвигатель *M1* водяного насоса. Конечный выключатель *SQ4* замкнут при верхнем положении электродов жидкостного реостата *RP*. Загорается сигнальная лампа *HL3*. Затем нажимают на кнопку *SB4* и включают тумблер *SA*. Катушка *KM2* включает свои контакты, электрическая машина *M2* опускает электроды реостата в электролит, при этом частота вращения *M3* увеличивается, идет процесс холодной обкатки ДВС. Горит сигнальная лампа *HL3*. Заданную программу по продолжительности холодной обкатки осуществляют предварительным выбором передаточного числа электропривода *M2*. При срабатывании *KM2* замыкаются его контакты в цепи реле напряжения *KV1*, который размыкает контакты в цепи *KL1*.

С увеличением частоты вращения электрической машины *M3* напряжение на ее кольцах уменьшается до заданной величины. Реле *KV* замыкает свои контакты в цепи реле *KL*, которое отключает магнитный пускатель *KM2*, электрическую машину *M2* и реле *KV* и одновременно замыкает контакты *KL* в цепи трансформатора *TV*.

При этом электродвигатель *M4* плавно перемещает рейку топливного насоса, и топливо подается в цилиндры ДВС при этом электрическая машина переходит в сверхсинхронный режим. Происходит процесс горячей обкатки ДВС с увеличением частоты вращения и крутящего момента. Горит лампа *HL5*. Через заданный промежуток времени момент нагрузки достигает установившегося максимального значения. Кулачок весового устройства воздействует на конечный выключатель *SQ1*, стенд отключается от электрической сети и включается лампа *HL2* «обкатка закончена». ДВС остается работать на холостом ходу до остановки его дежурным оператором, который после остановки ДВС вручную выводит электроды реостата из электролита.



Стендом управляют следующим образом. Включают рубильник *QS*, при этом загорается сигнальная лампа *HL1*. Лампа *HL2* будет гореть, если электроды реостата в верхнем положении. Если электроды реостата находятся в другом положении, то они сначала автоматически войдут в верхнее положение и только после этого загорится лампа *HL2*. Получается это вследствие того, что в конечном выключателе *SQ1* имеются еще контакты, включенные в цепь исполнительного механизма, при помощи которого электроды перемещаются вверх. Как только электроды окажутся в верхнем положении, сразу включается контакт *SQ1* в цепи магнитного пускателя *KM1* и отключится контакт *SQ1* в цепи исполнительного механизма ИМ. Стенд готов к пуску.

Следует отметить, что нельзя запустить исполнительный механизм ИМ для опускания электродов реостата в раствор, если не включен *KM1*, т.е. пока не будет подано напряжение на *M2*. Стенд также блокируется, предотвращая запуск, если электроды жидкостного реостата не находятся в верхнем положении, т.е. когда контакт *SQ1* в цепи магнитного пускателя разомкнут. Запуск стенда производится следующим образом. Кнопкой *SB1* включают магнитный пускатель *KM1*, при этом загорается сигнальная лампа *HL3* и запускаются электрические машины *M1* и *M2*. Последующим нажатием *SB4* и удержанием ее в замкнутом состоянии исполнительный механизм ИМ опускает электроды в раствор. При движении электродов вниз электрическая лампа *HL2* погаснет из-за размыкания контактов *SQ1* в цепи магнитного пускателя *KM*. Глубина погружения электродов реостата в раствор зависит от длительности удержания кнопки *SB4* в замкнутом положении. При полном погружении электродов в раствор исполнительный механизм ИМ автоматически останавливается, т.к. в его цепи размыкаются контакты конечного выключателя *SQ2*. Остановка ИМ происходит независимо от того, удерживается *SB4* в замкнутом положении или нет.

Электроды реостата выходят из раствора путем нажатия на кнопку *SB3*. Таким образом, поочередным нажатием на кнопки *SB3* и *SB4* регулируется величина погружения электродов реостата в раствор и тем самым устанавливают необходимую частоту вращения и нагрузку обкатываемого ДВС.

Для быстрой остановки стенда нажимают кнопку *SB2*, для замедленной остановки – на кнопку *SB3* и удерживают ее в замкнутом состоянии, пока на пульте управления стендом не загорится лампа *HL2*, после чего, нажимая на кнопку *SB2*, останавливают машину *M2*, при этом сигнальная лампа *HL3* погаснет.

Замедленный способ остановки стенда является предпочтительным, т.к. предотвращает нежелательные колебания электрической машины и весового механизма стенда.

Рубильник *QS* следует выключать после того, как электроды реостата переместятся в верхнее (исходное) положение и загорится сигнальная лампа *HL2*.

Чтобы лучше наблюдать за показаниями приборов в процессе обкатки ДВС, имеются обкаточные стенды с маятниковым механизмом, измерительная головка – указатель которого установлен не около балансирной машины, а вместе с другими контрольно-

измерительными приборами на пульте управления. Такое конструктивное решение выполнено благодаря электросельсиновой связи от маятника весового механизма у балансирной машины с осью стрелки его указателя на пульте управления.

Наиболее пригодным для использования в обкаточных стендах оказались бесконтактные электрические сельсины марки БД-404А (сельсин-датчик - *СД*) и БС-404А (сельсин-приемник - *СП*). Они представляют собой малогабаритные индукционные электрические машины, предназначенные для использования в качестве датчиков и приемников в системах синхронной передачи. От одного сельсин-датчика могут параллельно работать два сельсин-приемника. Электросельсины питаются от трансформатора 220/110 В. На рисунке 8.10 приведена схема соединения СД и СП в обкаточном стенде.

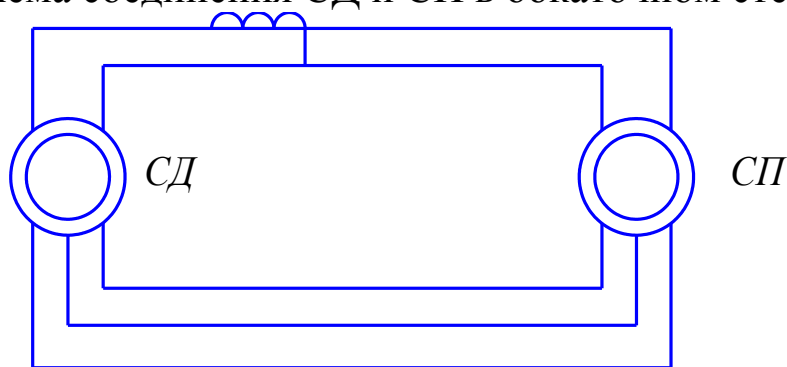


Рисунок 8.10 Бесконтактные электрические сельсины, применяемые на обкаточных стендах.

Благодаря применению электрических сельсинов и электрических тахометров на обкаточных стендах можно использовать дублирующий пульт с контрольно-измерительными приборами и пусковыми кнопками, устанавливаемый в звукоизолированной камере для оператора.

С развитием и совершенствованием ДВС, режимов их обкатки, элементов электрического оборудования и автоматики также непрерывно обновляются методы и технические средства обкатки и испытаний, совершенствуется электрический привод и электрические схемы управления обкаточными стендами. Появляются обкаточно-испытательные стенды, использующие ЭВМ в качестве управляющего устройства электроприводов.

КМ2. При нажатии на кнопку *SB1* обесточивается пускатель *КМ1*, его контакты *КМ1.3* подключают пускатель *КМ2*, двигатель переходит в режим торможения противовключением, скорость его торможения резко снижается. Наиболее эффективен вариант настройки реле *КСР* при торможении, когда реле размыкает свои контакты в момент от которого до остановки двигателя проходит время, равное собственному времени отключения тормозного пускателя *КМ2* (приблизительно 0,1 с). При такой настройке двигатель отключается от сети в момент остановки ротора.

Мощность резания определяется по формуле

$$P_{\text{рез}} = F_{\text{рез}} \cdot v, \quad (9.1)$$

а мощность подачи

$$P_{\text{п}} = F_{\text{п}} \cdot v, \quad (9.2)$$

где $F_{\text{рез}}$, $F_{\text{п}}$ - сила резания и подачи;

v - скорость резания и подачи.

Мощность двигателя определяется по формуле

$$P_{\text{дв}} = \frac{1}{\eta_{\text{п}}} (P_{\text{рез}} + P_{\text{п}}), \quad (9.3)$$

где $\eta_{\text{п}}$ - КПД передачи.

9.2 Электропривод лесопильной рамы

Нагрузочная диаграмма лесопильной рамы представляет собой чередующиеся периоды резкого повышения и снижения нагрузки (рисунок 9.2).

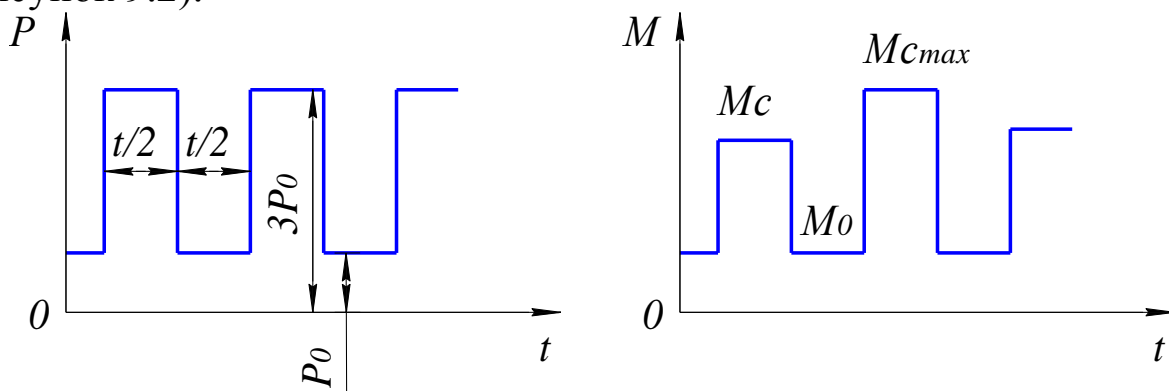


Рисунок 9.2 Нагрузочные диаграммы лесопильной рамы.

Выбор мощности двигателя производится следующим образом.

Определяется $M_{с.ср}$ – среднестатический момент сопротивления.
Средняя мощность для привода пилорамы

$$P_{ср} = \frac{M_{с.ср} w_{кр}}{1000 \cdot \eta_n}, \quad (9.4)$$

где η_n - КПД передачи.

$$P_{дв} \geq 1,2 P_{ср}. \quad (9.5)$$

Затем предварительно выбранный двигатель проверяется по условиям перегрузки и пуска.

Современные вертикальные лесопильные рамы большой производительности приводятся в действие от двух или трех электродвигателей. Главный двигатель связан с ременной передачей с кривошипным валом машины ($n = 200 \dots 500$ об/мин), а вспомогательные двигатели приводят механизм подачи и гидронасос.

Повышению производительности лесопильной рамы способствует автоматически регулируемая подача лесоматериалов к пильной раме. Электропривод механизма подачи автоматически изменяет величину посылки при изменении мощности резания по длине распиливаемого бревна. Пилорама приводится асинхронным двигателем $M1$ (рисунок 9.3), механизм подачи – двигателем постоянного тока независимого возбуждения $M2$. Двигатель $M3$ связан с генератором постоянного тока G , который снабжает электроэнергией двигатель подачи.

Угловая скорость двигателя $M2$ регулируется в широких пределах, изменяя напряжение генератора и ток возбуждения двигателя.

Начальная угловая скорость $M2$ задается напряжением генератора, а регулирование величины посылки осуществляется в функции 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 $LM2$ двигателя $M2$. При прохождении тока нагрузки двигателя $M1$ по первичной обмотке трансформатора TA на его вторичной обмотке возникает напряжение,

пропорциональное току нагрузки. Это напряжение создает в обмотке возбуждения *LM2* дополнительный ток, накладывающийся на начальный ток от независимого источника – трансформатора напряжения *TV2* и выпрямителя *VD1*. Оба тока возбуждения, создают результирующий поток, зависящий от потребляемой на резание мощности.

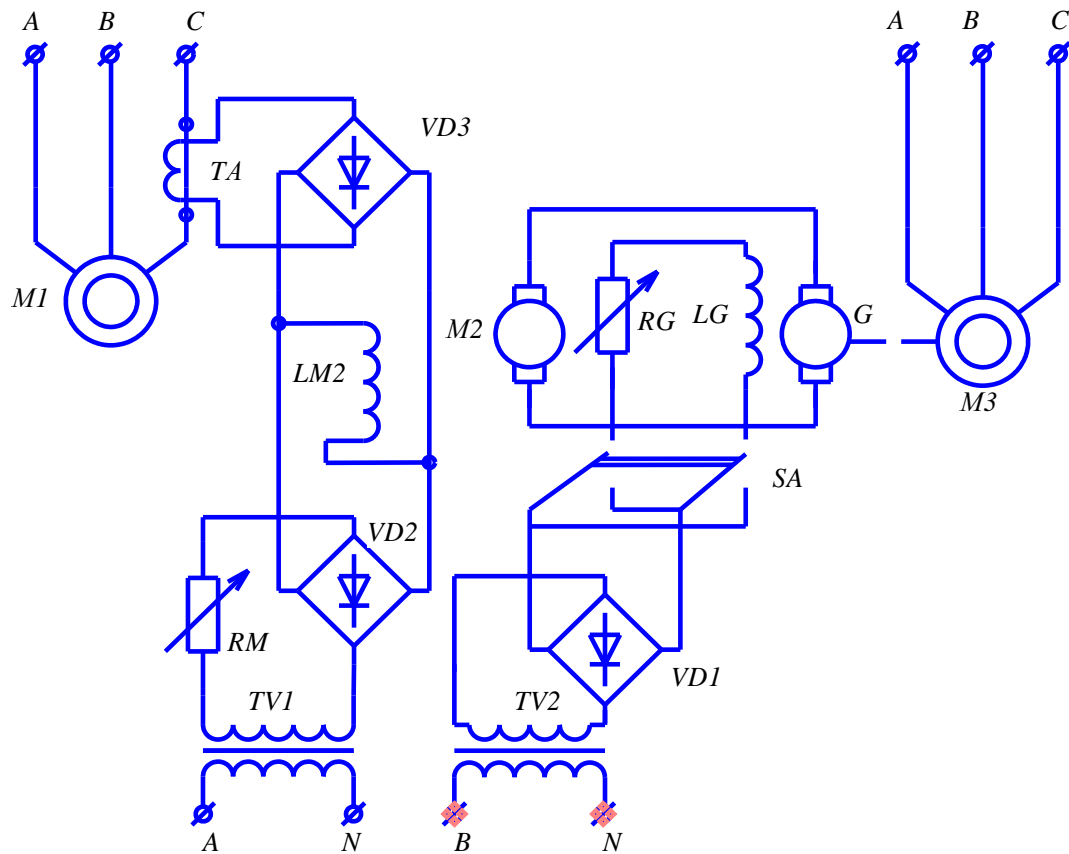


Рисунок 9.3 Электрическая схема привода пилорамы.

С увеличением нагрузки на главный электродвигатель при повышении мощности резания поток возбуждения двигателя подачи становится больше, а скорость вращения 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 скорость вращения двигателя подачи и посылка увеличатся. Механическая мощность двигателя подачи на высоких посылках составляет 3 кВт – при мощности холостого хода механизма подачи 0,6 кВт.

При номинальной загрузке 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%.

9.3 Электропривод металлообрабатывающих станков

Каждый вид обработки на металлорежущих станках характеризуется оптимальными по производительности значениями скоростей, усилий, мощностей, найденных в результате большой научно-исследовательской и экспериментальной работы и собранными в специальных изданиях бюро технических нормативов.

Скорость, усилие и мощность можно определить по специальным технологическим нормативам или по теоретическим формулам с экспериментальными коэффициентами.

Например, скорость резания [м/мин] при точении:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_c}}, \quad (9.6)$$

где C_v – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал, материал резца, вид токарной обработки (при обработке стали и чугуна находится в пределах 39,5...262 для твердосплавных резцов и 18,2...53,7 – для резцов из быстрорежущей стали);

T – стойкость резца (время работы между двумя заточками), мин;

t – глубина резания (для отделочных работ 0,1...2 мм, для обдирки – 3...20 мм);

S – подача (для отделочных работ 0,1...0,4 мм, для обдирки – 0,4...3 мм);

m, x_v, y_c – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемых материалов, материала резца и вида обработки ($m = 0,1 \dots 0,2, x_v = 0,15 \dots 0,2, y_c = 0,35 \dots 0,8$).

Усилие резания (Н) при точении

$$F_z = 9,81 \cdot C_F \cdot t \cdot S^{0,75} \cdot v^n, \quad (9.7)$$

где $C_F = 208$ для резцов из быстрорежущей стали, $C_F = 300$ для резцов твердосплавных;

n – показатель степени ($n = 0,15$ для резцов твердосплавных и $n = 0$ в остальных случаях).

Радиальное усилие F_y и осевое усилие F_x определяют по формулам, аналогично со своими коэффициентами.

Мощность резания [кВт]

$$P_z = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot 1000}. \quad (9.8)$$

Суммарное усилие [Н] при резании

$$F_n = k \cdot F_x + (F_z + F_y + G_c)f, \quad (9.9)$$

где $k=1,1 \dots 1,3$ – коэффициент запаса, учитывающий перекосы;

$f=0,05 \dots 0,15$ – коэффициент трения при движении;

G_c – вес суппорта.

Мощность подачи при резании [кВт]

$$P_n = \frac{F_n \cdot v_n}{60 \cdot 100}, \quad (9.10)$$

где $v_n=S \cdot n$ – 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:

$$P_n \approx (0,001 \dots 0,01)P_z. \quad (9.11)$$

Расчет мощности электроприводов станков необходим для правильного выбора двигателей. Если мощность двигателя завышена, ухудшаются энергетические показатели. В противном же случае двигатель оказывается перегруженным и быстро выходит из строя. Мощность двигателя механизма станка в установившемся режиме определяется выражением (9.8).

Типовыми механизмами станка являются механизмы главного привода, подачи и вспомогательные механизмы (зажима поперечины, перемещения узлов и т.д.). Каждый из них имеет свои особенности, обусловленные технологическим процессом и конструкцией.

Условия работы механизмов станков по характеру нагрузки, режиму и регулированию скорости весьма различны. Этим объясняется большое разнообразие применяемых систем электроприводов, начиная от нерегулируемого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и заканчивая сложными системами с 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 методам, изложенным в основах электропривода. Для главных приводов лег-

ких и средних станков характерна нагрузка с постоянной мощностью во всем диапазоне регулирования. Для тяжелых станков характерна нагрузка с постоянным моментом.

Приводам подач и вспомогательным приводам присуща нагрузка с постоянным моментом трения.

Приводы основных движений тяжелых станков (главный и подачи) работают в двигательном 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 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 приводов регулируемых 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 короткозамкнутым ротором и являются нерегулируемыми.

Выбранный двигатель проверяют по его начальному или пусковому моменту, а также по перегрузочной способности.

Характерными 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 использовании метода средних потерь, а также при учете переходных процессов неизбежны предварительный выбор двигателя и его последующий проверочный расчет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нейман, Л.Р. Теоретические основы электротехники [Текст]; учеб. пособие / Л.Р.Нейман, К.С.Демирчан. – Л.: Энергия, 1966. – 407 с.
2. Костенко, М.П., Пиотровский, Л.М. Электрические машины [Текст]; учеб. пособие / М.П.Костенко, Л.М.Пиотровский. – Л.: Энергия, 1973. Т.1,2. 542 с., 648 с.
3. Копылов, И.П. Электромеханические преобразователи энергии [Текст]; учеб. пособие / И.П.Копылов. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
4. Фоменков, А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий [Текст]; учебник / А.П.Фоменков. – М.: Колос, 1973. – 311 с.
5. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин [Текст]; учеб. пособие / И.П.Копылов. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
6. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]; учеб. пособие / Н.Ф.Ильинский. – М.: Изд-во МЭН, 2003. – 224 с.
7. Москаленко, В.В. Электрический привод [Текст]; учеб. пособие / В.В.Москаленко. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 368 с.
8. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода [Текст]; учеб. пособие / М.Г.Чиликин, А.С.Сандлер. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.
9. Ключев, В.И. Теория электропривода [Текст]; учеб. пособие / В.И.Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 704 с.
10. Вольдек, А.И. Электрические машины [Текст]; учеб. пособие / А.И.Вольдек. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 782 с.
11. Епифанов, А.П. Электромеханические преобразователи энергии [Текст]; учеб. пособие / А.П.Епифанов. – СПб.: Лань, 2004. – 208 с.
12. Бурлаков, А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями [Текст]; учеб. пособие / А.А.Бурлаков. – М.: Академия наук СССР, 1955. – 216 с.
13. Епифанов, А.П. Электрические машины [Текст]; учеб. пособие / А.П.Епифанов. – СПб.: Лань, 2006. – 272 с.
14. Ильинский, Н.Ф. Электропривод, энерго- и ресурсосбережение [Текст]; учеб. пособие / Н.Ф.Ильинский. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 208 с.

15. Электропривод: конспект лекций. Часть I [Текст]/ Р.С.Аипов. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. – 104 с.
16. Соколова, Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование [Текст]; учеб. пособие / Е.М.Соколова. – М.: Изд. центр «Академия», 2013. – 224 с.