

## Введение

Курсовая работа по дисциплине "Электропривод" направлена на закрепление и углубление знаний теоретической части курса, а также на освоение методов расчета и построения механических характеристик электродвигателя и рабочей машины, анализа переходных процессов, определения времени разбега и торможения системы с учетом приведенного момента инерции, определения потерь и расхода электроэнергии.

Основная цель работы состоит в том, чтобы научить студентов практическому приложению знаний и навыков по отдельным разделам курса "Электропривод"; в приобретении и проявлении технической зрелости и самостоятельности при решении конкретных задач при проектировании электропривода.

## 1. Содержание курсовой работы

В курсовой работе студент должен выполнить следующее.

1. Дать краткое описание технологической и кинематической схем установки.
2. Рассчитать (или получить другим способом) и построить нагрузочную диаграмму электродвигателя.
3. Выбрать тип электродвигателя по электрическим модификациям, по конструктивному исполнению, по климатическому исполнению, по степени защищенности от воздействия окружающей среды. Выбрать электродвигатель по частоте вращения и по мощности.
4. Рассчитать и построить механическую характеристику рабочей машины. Проверить выбранный электродвигатель по перегрузочной способности.
5. Определить приведенный к валу двигателя момент инерции рабочей машины.
6. Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя (при многодвигательном приводе – для главного двигателя или двигателя с наиболее тяжелым режимом работы или пуска). Определить время пуска и торможения электропривода графоаналитическим и графическим методами. Определить фактическое и допустимое число пусков привода в час.
7. Проверить выбранный электродвигатель по тепловому режиму при работе и при пуске.
8. Определить активную и реактивную мощности, потребляемые из сети двигателем или агрегатом в целом и  $\cos\varphi$ .
9. Составить функциональную, принципиальную и монтажную электрические схемы управления электроприводами. Дать описание работы электрической принципиальной схемы.
10. Выбрать аппаратуру управления и защиты.
11. Рассчитать показатели надежности электропривода.

Объем курсовой работы - расчетная записка на 25 - 30 страницах; графическая часть выполняется в виде двух чертежей формата А1.

На чертежах изображаются:

- Технологическая схема процесса или рабочей машины, совмещенная с функциональной схемой с указанием мест расположения электродвигателей, элементов автоматики.
- Принципиальная схема автоматического управления электроприводом.
- Вид общий шкафа или пульта управления.
- Монтажная схема одного комплекта электрооборудования (шкафа или пульта управления).
- Спецификации.
- Зависимости  $M_{\partial}(\omega)$ ,  $M_c(\omega)$ ,  $M_{изб}(\omega)$ ,  $\omega_{\partial}(t)$ ,  $M_{\partial}(t)$ ,  $M_c(t)$ ,

$$M_{изб}(t)$$

Требования, предъявляемые к курсовой работе:

Все расчеты должны быть выполнены в Международной системе (СИ), пояснительная записка написана на листах формата А4 (210x297).

В записке дается краткое обоснование методики расчета, расчетные формулы, с подстановкой всех величин и результатов расчетов. Оформляется пояснительная записка и чертежи в соответствии с действующими стандартами. В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы. Работа подписывается автором и проставляется дата ее выполнения.

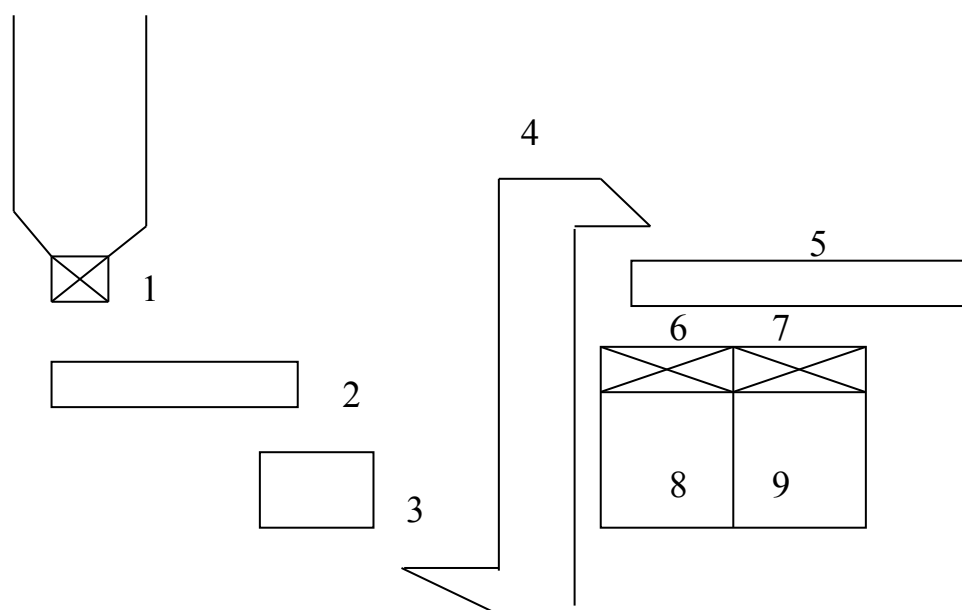
## 2 Методические советы

### К заданию 1.

Технологические характеристики машин могут быть представлены в виде технологических схем, показывающих направление движения обрабатываемого продукта и последовательность совершения различных технологических и транспортных операций, а также в виде технологических карт и графиков выполнения операций. С технологическими схемами машин необходимо ознакомиться во время прохождения эксплуатационной практики или по литературным источникам.

Кинематические схемы показывают последовательность передачи движения от электродвигателя к рабочим органам. На этих схемах могут указываться моменты инерции или маховые моменты движущихся частей, коэффициенты полезного действия передач.

Пример 1. Технологическая схема загрузки бункеров показано на рис. 2.1

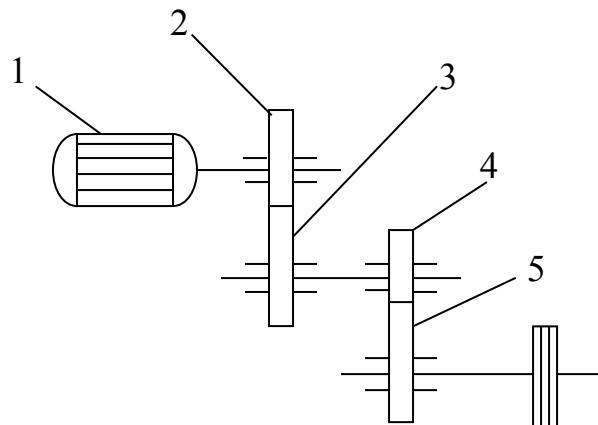


1 – задвижка; 2 – ленточный транспортер; 3 – дробилка; 4 – нория;  
5 – шнековый транспортер; 6, 7 – заслонки бункеров; 8, 9 – бункера.

Рисунок 2.1 – Технологическая схема загрузки бункеров

Зерно из бункера через задвижку 1 поступает на транспортер 2 и далее в дробилку 3. Измельченное зерно норией 4 подается на шнековый транспортер 5 и далее либо в бункер 8, либо в бункер 9. Линия должна отключиться при заполнении одного из бункеров.

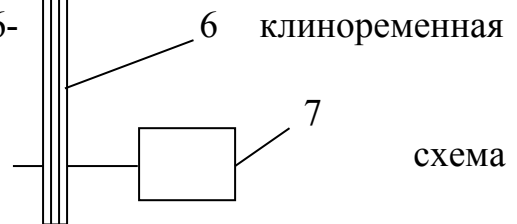
Пример 2. Кинематическая схема ленточного транспортера показана на рисунке 2.2.



1-двигатель; 2,3,4,5-шестерени; 6- клиноременная передача;

7-расчетная машина.

Рисунок 2.2. – Кинематическая ленточного транспортера.



### К заданию 2.

Литературные источники, в которых изложены методы определения усилий, возникающих при работе, и потребной мощности для привода:

- Подъемно – транспортных машин (4, 9, 13, 14, 16);
- Кормоприготовительных машин (3, 4, 5, 7, 8, 10);
- Навозоуборочных транспортеров (4, 5, 6, 8, 10, 19);
- Кормораздатчиков (3, 4, 8, 10, 13);
- Машин подсобных предприятий (3, 4, 5, 6, 15);
- Насосных и вентиляционных установок (3, 4, 5, 6, 13);
- Машин для растениеводства (3, 4, 5, 6, 13).

Формулы для определения мощностей  $P_m, кВт$ , необходимых для привода некоторых машин.

Мощность, потребная для привода основного рабочего органа – плоских качающихся решет решетного стана **зерноочистительной машины** определяется по формуле

$$P_m = \frac{k_z \cdot m \cdot j^2}{657,5 \cdot n},$$

где  $k_z$  – коэффициент запаса,  $k_z = 1,2 - 1,5$ ;

$m$  – масса решетного стана, кг (приближенно  $m = 100 - 300 кг$ );

$j$  – оптимальное ускорение решета;  $j = 15 - 30 \frac{м}{с^2}$ ;

$n$  – число колебаний сита в минуту (обычно  $n = 500$ );

Если щетки и шнек решетного стана имеют привод от того же электродвигателя, что и решетный стан, то рассчитанная мощность для привода решет двигателя увеличивается в 1,25 – 1,75 раза.

Мощность для привода цилиндрического триерного блока зерноочистительной машины

$$P_m = P_1 \cdot Q \cdot 10^{-3},$$

где  $P_1$  – удельная мощность,  $P_1 = 0,2 - 0,6 \frac{\text{Вт}}{\text{кг/ч}}$ ;

$Q$  – производительность триера,  $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ ;

Мощность на привод **зерноультов** находится по формуле

$$P_m = \frac{k \cdot Q \cdot v^2 \cdot 10^{-3}}{2};$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий сопротивления в механизмах,  $k = 1,5 - 2$ ;

$Q$  – производительность транспортера,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$v$  – начальная скорость метания продукта,  $v = 15 - 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

Мощность на привод **нории для зерна** находится по формуле

$$P_m = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta_n},$$

где  $Q$  – производительность,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$H$  – высота нории, м;

$\eta_n$  – кпд нории (для норий, у которых  $Q < 20 \frac{\text{м}}{\text{ч}}$  и  $H < 20 \text{ м}$ ,

принимают  $\eta_n = 0,4 - 0,5$ )

Мощность для привода **жерновой мельницы с горизонтальной осью** определяется по формуле

$$P_m = \frac{k_3 \cdot k_1 \cdot Q \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}}{60},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса;

$k_1$  – коэффициент зависящий от диаметра жернова (для жерновов с

диаметром  $0,5 - 0,8$  м,  $k_1 = 1,3 - 1,1 \frac{H}{кг/ч}$ );

$Q$  – производительность,  $\frac{кг}{с}$ ;

$D$  – диаметр жернова, м;

$n$  – частота вращения жернова, об/мин.

Мощность для привода **соломосилосорезки** находится по формуле

$$P_m = \frac{5 \cdot P_{рез} \cdot 10^{-3}}{3} = \frac{5 \cdot k \cdot a \cdot b \cdot z \cdot n \cdot 10^{-3}}{3},$$

где  $P_{рез}$  – мощность, расходуемая на резание корма, Вт;

$n$  – частота вращения ножей, об/с.;

$k$  – число ножей;

$a, b$  – высота и ширина горловины, м;

$z$  – удельное давление резания материала на единицу длины лезвия,

$$z = 3500 \dots 5000 \frac{H}{м};$$

Потребную мощность для привода **корнеклубнемоек, дробилок** можно определить по энергетическим затратам по формуле

$$P_m = k A_{уд} Q,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий потери холостого хода,  $k = 1,15 - 2,0$ ;

$A_{уд}$  – удельные затраты на измельчение (см. таблицу 1),  $кВт ч/кг$ ;

$Q$  – производительность,  $кг/ч$ .

Таблица 2.1 – Энергоемкость переработки корнеплодов измельчителями

Марка измельчителя	Энергоемкость, $A_{уд}$ , $кВт ч/кг$
МРК-5	0,69
КПИ-4	1,0
Волгарь	1,2
ИКС-5М	1,2

Для дробилок энергия,  $A$ ,  $кДж / кг$ , расходуемая на измельчение 1 кг материала, рассчитывается по формуле

$$A = k_2 k_3 [k_4 \lg \lambda^3 + k_5 (\lambda - 1)],$$

где  $k_2$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности продукта (при влажности  $W, \%$ ,  $14\%$   $k_2 = 1$ , при влажности большей  $14\%$   $k_2$

определяется по формуле  $k_2 = 1 + k_6 (W - 14)$ ),

здесь  $k_6$  – коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей машины,  $k_6 = 0,06 - 0,075$ ;

$W$  – влажность зерна, %;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства зерна и принцип дробления;

$k_4$  – коэффициент, характеризующий работу на деформацию корма до начала текучести,  $\text{кДж/кг}$ ;

$\lambda$  – степень измельчения зерна, представляющая собой отношение средних размеров частиц исходного материала к среднему размеру частиц корма после измельчения;

$k_5$  – коэффициент, характеризующий работу на измельчение корма от предела текучести до разрушения.

Значения коэффициентов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.2 – Значения коэффициентов

Культура	$k_3$	$k_4$ $\text{кДж/кг}$	$k_5$ $\text{кДж/кг}$
Ячмень	0,9 – 1,5	8,50	7,50
Овес	3,5 – 6,5	2,34	1,96
Рожь	1,1 – 1,8	8,40	6,40

Мощность для привода **барабанной корнеклубнемойки** определяется по формуле

$$P_m = (0,00045 + 0,2 \cdot Q),$$

где  $n$  – частота вращения барабана,  $\text{об/мин.}$ ;

$Q$  – производительность,  $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$ ;

Мощность для привода **ленточного дозатора кормов** рассчитывается по формуле

$$P_m = P_1 + P_2$$

где  $P_1$  – мощность, необходимая на подачу корма, кВт;

$P_2$  – мощность, необходимая на преодоление трения продукта о стенки желоба, кВт;

$$P_1 = 9,81 \cdot Q \cdot (0,2 \cdot L + H) \cdot k_1 \cdot 10^{-3};$$

$$P_2 = h \cdot l \cdot \gamma \cdot f \cdot k_n \cdot v \cdot 10^{-3},$$

где  $Q$  – производительность дозатора,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$L$  – длина дозатора,  $\text{м}$ ;



$H$  – высота подъема корма, м;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий сопротивление барабанов, перегибы ленты;

$h$  – высота слоя корма на ленте, м;

$l$  – длина бортов, м;

$\gamma$  – плотность корма,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$f$  – коэффициент трения корма о борт;

$v$  – скорость движения транспорта,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$k_n$  – коэффициент подвижности корма,

$$k_n = \frac{1 - \text{Sin}\varphi_0}{1 + \text{Sin}\varphi_0},$$

здесь  $\varphi_0$  – угол естественного откоса корма при движении.

Для **лопастных смесителей кормов** мощность для привода находится по формуле

$$P_m = 0,43 \cdot Z \cdot D^{4,26} \cdot n^{2,78},$$

где  $Z$  – число лопастей;

$D$  – диаметр крыльчатки, м;

$n$  – частота вращения вала мешалки, об/мин.

Мощность для привода **винтовых дозаторов кормов** определяется по формуле

$$P_m = 9,81 \cdot Q \cdot (L \cdot k_1 + H) \cdot k_2 \cdot 10^{-3} / \eta,$$

где  $Q$  – производительность дозатора,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$L$  – горизонтальная проекция пути корма, м;

$k_1$  – коэффициент сопротивления перемещению корма в корпусе дозатора,  $k_1 = 1,2 - 2,5$ ; (для зерна и продуктов размола  $k_1 = 1,2$ ; влажных кормов  $k_1 = 2$ ; мясокостной муки  $k_1 = 2,5$ ).

$H$  – высота подъема корма, м;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий потери на трение в подшипниках,  $k_2 = 1,1 - 1,2$ ;

$\eta$  КПД винтового дозатора с трансмиссией  $\eta = 0,4 \dots 0,6$ .

Для шнеков перемещающих цемент, песок, соль, глину  $k_1 = 4$ .

Для шнеков с углом наклона от 45 до 90° мощность ориентировочно

увеличивают в 2,5 – 3 раза.

Производительность шнеков со сплошными винтами определяется по формуле

$$Q = 47,1 \left[ (D + 2\lambda)^2 - d^2 \right] \cdot S \cdot n \cdot \Psi \cdot \gamma \cdot C,$$

где  $D$  – наружный диаметр винта, м;

$\lambda$  – радиальный зазор между наружной кромкой винта и внутренней поверхностью кожуха шнека,  $\lambda = 0,006$  м;

$d$  – диаметр вала винта, м;

$S$  – шаг винтов, м;

$\Psi$  – коэффициент заполнения;

$n$  – частота вращения винта,  $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ;

$\gamma$  – плотность транспортируемого материала, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – коэффициент снижения производительности.

Коэффициент  $C$  зависит от угла наклона шнека,  $\beta$ , град

Таблица 2.3 – Значения коэффициента  $C$

$\beta$ , град	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
$C$	1	0,97	0,94	0,92	0,88	0,82	0,76	0,7	0,64	0,58	0,51	0,46

Мощность для привода **цепочно-скрепковых кормораздатчиков** рассчитывается по формуле

$$P_M = F \cdot v \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – общее тяговое сопротивление транспортера, Н;

$v$  – скорость движения скребков,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$$F = F_{xx} + F_1 + F_2 + F_3,$$

где  $F_{xx}$  – сопротивление перемещению транспортера на холостом ходу, Н;

$F_1$  – сопротивление трения кормов о дно кормушки, Н;

$F_2$  – сопротивление трения кормов о боковые стенки кормушки, Н;

$F_3$  – сопротивление возможного заклинивания корма между скребками и стенками кормушки, Н;

$$F_{xx} = 9,81 \cdot m \cdot L_y \cdot f_0;$$

$$F_1 = 9,81 \cdot m_{y\partial} \cdot L_k \cdot f;$$

$$F_2 = 2 \cdot k \cdot F_1;$$

$$F_3 = g_1 \cdot n,$$

где  $m$  – масса 1 м длины транспортера,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}}$ ;

$L_y$  - длина цепи транспортера, м;

$f_0$  - приведенный коэффициент трения,  $f_0 = 0,4 - 0,45$ ;

$m_{y0}$  - масса корма на один метр длины транспортера,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}}$ ;

$L_k$  - длина кормушки, м;

$f$  - коэффициент трения корма о дно кормушки;

$k$  - коэффициент бокового давления,  $k = 0,5 - 0,6$ ;

$g_1$  - сопротивление от заклинивания одного скребка,  $g = 15 - 20 \text{ Н}$ ;

$n$  - количество скребков.

Мощность для привода **тросошайбового транспортера для раздачи сухих кормов** рассчитывается по формуле

$$P_M = 9,81 \cdot Q \cdot (H + f_0 \cdot L_0 + f_2 \cdot L_2),$$

где  $Q$  - производительность транспортера,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$H$  - высота подъема продукта, м;

$L_0, L_2$  - суммарная длина труб участков вертикального и горизонтального перемещения, м;

$f_0, f_2$  - коэффициенты сопротивления передвижению по вертикали и горизонтали.

$$Q = \gamma \cdot F \cdot v \cdot k_1 \cdot k_2,$$

здесь  $\gamma$  - плотность транспортируемого материала,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$F$  - площадь поперечного сечения транспортируемого груза,  $\text{м}^2$

$v$  - скорость транспортирования,  $v = 0,1 - 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$k_1$  - коэффициент заполнения желоба;  $k_1 = 0,8 - 0,9$ ;

$k_2$  - коэффициент, учитывающий уплотнение груза,  $k_2 = 1,05 - 1,1$ .

Мощность двигателя, необходимая для привода **ленточного транспортера** определяется суммарным сопротивлением движению  $W$  ленты со скоростью  $V$ :

$$P = W \cdot V,$$

где  $W = W_n + W_0 + W_{заг} + W_{разг}$

Сопротивление движению на прямолинейном участке транспортера по настилу:

$$W_n = g \cdot (q + q_n) \cdot L \cdot (\omega_n \cdot \cos \alpha + \sin \alpha),$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$

$q$  - масса груза, приходящийся на 1 м длины,  $q = 7 \text{ кг/м}$ ;

$q_n$  - полная масса ленты,  $q_n = 4 \text{ кг/м}$ ;

$L$  – длина транспортера,  $L=30$  м;

$\alpha$  – угол подъема,  $\alpha=0$ .

$\omega_n$  – коэффициент сопротивления движению по настилу,  $\omega_n=0,5$ .

Сопротивление движению при огибании барабанов:

$$W_{\bar{o}} = \varepsilon \cdot S_{наб} \cdot k_{\bar{o}},$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент местного сопротивления,  $\varepsilon = 0,06-0,09$ ;

$S_{наб}$  – натяжение набегающей ветви,  $H$ ;

$k_{\bar{o}}$  – число барабанов,

Сопротивление от загрузки материала определяется производительностью, скоростью ленты и начальной скоростью груза:

$$W_{заг} = 0,278 \cdot Q \cdot (V_l^2 - V_n^2) / V_l;$$

где  $Q$  – производительность транспортера,  $m^3/c$ .

$$Q = q \cdot V_l;$$

Сопротивление от плужкового сбрасывателя пропорционально ширине ленты:

$$W_{разг} = 2,7 \cdot g \cdot q \cdot B,$$

где  $B$  – ширина ленты, м.

С учетом передаточного устройства, предназначенного для передачи энергии от электродвигателя к исполнительному механизму рабочей машины, мощность  $P, кВт$  для её привода находится по формуле

$$P = \frac{P_m}{\eta_n},$$

где  $\eta_n$  – КПД механической передачи,

для ремённой передачи  $\eta_n = 0,85...0,9$ ;

клиноремённой –  $\eta_n = 0,97...0,98$ ;

зубчатой –  $\eta_n = 0,98$ ;

цепной –  $\eta_n = 0,96 - 0,98$ ;

червячной –  $\eta_n = 0,75...0,82$ .

Вентиляционная установка позволяет поддерживать нормальные параметры воздуха по температуре, влажности и содержанию газов в помещениях.

Предварительная оценка **мощности электропривода вентилятора** может быть получена из выражения:

$$P = \frac{QHК_з}{\eta_n \eta_v}$$

где  $Q$  – производительность  $m^3/c$ ;

$H$  – полный напор,

$\eta_n$  - к.п.д. передачи ;

$\eta_v$  - к.п.д. вентилятора ( $\eta_v = 0,4-0,6$  - для крупных,  $0,1-0,2$  - для мелких) ;

$K_3$  - 1,1-1,5 - коэффициент запаса при работе с трубопроводом (большие значения относятся к малым мощностям).

Производительность одного вентилятора оценивается после определения общего количества воздуха, необходимого для подачи его в помещение.

$$Q = \frac{L}{n}$$

где  $L$  - расчетное количество воздуха для технологического процесса;

$n$  - число выбранных вентиляторов.

Количество воздуха,  $L$ , подаваемое в помещение, где находятся люди или животные, определяется по известным методикам на основании расчетов, связанных с удалением избыточных влаги, углекислоты и тепла. Однако, если данные для выполнения этих расчетов отсутствуют, можно рассчитывать потребный расход воздуха на основании данных допустимой кратности обмена воздуха в помещена:

$$L = K\theta$$

где  $K=4-15$  — кратность воздухообмена для животноводческих помещений в зависимости от температуры наружного воздуха, 1/ч;

$\theta$  - объем помещения, м<sup>3</sup>

Есть и другой способ определения потребного количества воздуха, необходимого для подачи его в помещение. Он связан с предельно допустимыми скоростями движения воздуха внутри помещения:

$$L = VS$$

где  $V$  - допустимое значение скорости воздуха ( $V = 0,1-0,5$  м/с - для животноводческих помещений;  $V = 0,5-1,0$  м/с - для хранилищ зерна, овощей, фруктов;  $V = 0,15-0,3$  м/с - для тепличных помещений);

$S$  - активное сечение помещения, м<sup>2</sup>

В последнем случае необходимо знать размеры помещения и размеры технологического оборудования, уменьшающего активные объем и сечение помещения.

Для животноводческих помещений расход воздуха может быть определен и на основании вентиляционной нормы на 1 голову

$$L = qN$$

где  $q$  - вентиляционная норма, м<sup>3</sup>/ч ;

$N$  - количество животных.

Выбранный вентилятор должен обеспечивать соответствующий полный напор:

$$H_n = H_{дин} + H_{ст}$$

Динамическая составляющая напора вентилятора определяется по формуле

$$H_{дин} = \frac{\rho V^2}{2}$$

где  $\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1,26$  при температуре 20 С<sup>0</sup>);

$V$  - скорость воздуха в воздуховоде вентилятора, м/с

( $V_{дон} \leq 20$  м/с).

Статическая составляющая напора вентилятора определяется по формуле

$$H_{ст} = H_{дин} (lR + \sum \xi)$$

где  $l$  - длина воздуховода, м;

$R$  - сопротивление воздуховода, 1/м;

$\sum \xi$  - потери в местных сопротивлениях, о. е.

Таким образом, определение необходимого напора вентиляционной установки требует знания технологической схемы вентиляции помещения, размеров вентиляционных шахт, диаметров и длин воздуховодов.

Водоснабжение населенных пунктов, ферм, участков поливных земель и т.д. связано, прежде всего, с выбором технологической схемы подачи вода. Для предварительной оценки **мощности привода насоса** используют расчетную формулу

$$P = \frac{QH K_3}{\eta_n \eta_n}$$

где  $Q$  - расход воды, обеспечиваемый насосом, м<sup>3</sup>/с;

$H$  - напор насоса, Н/м;

$\eta_n$  - к.п.д. насоса ( $\eta_n = 0,4-0,8$ );

$\eta_n$  - к.п.д. передачи (для прямой  $\eta_n = 1$ , для различного вида передачи  $\eta_n = 0,95-0,97$ );

$K_3$  - 1,05-1,1 - коэффициент запаса (большая величина для малых насосов)

Для водоснабжения животноводческих ферм производительность насоса определяют из выражения

$$Q_H = Q_{макс.ч.} = \frac{K_ч K_{сут} Q_{ср.сут.}}{24\eta}$$

где  $Q_{макс.ч.}$  - максимальный часовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$K_ч$  - коэффициент неравномерности часового расхода ( $K_ч = 1,5-3$ );

$K_{сут}$  - коэффициент неравномерности суточного расхода ( $K_{сут} = 1,1-1,3$ );

$\eta$  - к.п.д., учитывающий потери воды ( $\eta=0,9$ );

$Q_{ср.сут.}$  - среднесуточный расход вода  $Q_{ср.сут.} = \sum q_i n_i$  ;

$q_i$  - норма на одного потребителя;

$n_i$  - количество потребителей данного вида.

Для водоснабжения орошаемого участка земли количество подаваемой воды рассчитывают по формуле

$$Q_{расч} = \frac{q_{макс} F}{\eta},$$

где  $Q_{расч}$  - общая водоподача на всю площадь севооборота, м<sup>3</sup>/с;

$q_{макс}$  - максимальная норма водоподачи по графику, м<sup>3</sup>/с/га ;

$F$  - орошаемая площадь севооборота, га;

$\eta=0,75$  - к.п.д. оросительной системы, учитывающий потери на испарение и фильтрацию в открытых каналах.

Величину нормы подачи (гидромодуль) вычисляют по формуле

$$q = \frac{\alpha N_n}{t\tau 3600}, \text{ м}^3/\text{с}/\text{га}$$

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

$F_i$  - площадь, занятая одной культурой;

$N_n$  - поливная норка, м<sup>3</sup>/га;

$t$  - поливной период, сут.;

$\tau$  - продолжительность полива в одни сутки, ч/сут.

При выборе насоса по каталогу может оказаться невозможным обеспечение подачи данного количества воды, тогда выбирают несколько насосов, обеспечивающих потребную подачу воды.

Основополагающим при выборе насоса является величина напора, которую он должен обеспечить при подаче воды в самую удаленную точку технологической схемы.

В общем случае напор определяется из формулы

$$H = H_{вс} + H_{нагн} + H_n + H_{вых} + H_{выкл}$$

где  $H_{вс}$  - высота всасывания;

$H_{нагн}$  - высота нагнетания ;

$H_n$  - потери в трубопроводе и на местных сопротивлениях (повороты, вентили, задвижки);

$H_{\text{вых}}$  - свободный напор, обеспечивающий определенную скорость вытекания воды из трубы ;

$H_{\text{выкл}}$  - напор, соответствующий избыточному давлению выключения в напорных котлах.

Чтобы использовать формулу для расчета мощности привода, надо представить её в виде

$$P = \frac{9.81\gamma Q H K_3}{\eta_n \eta_n}$$

где  $\gamma$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$H$  - полный напор, м.

При выборе насоса по универсальной характеристике уточняют его производительность и коэффициент полезного действия для данного расчетного значения напора.

**Подъемно - транспортные машины** отличаются чрезвычайно большим разнообразием по своим технологическим характеристикам. Однако расчет мощности привода всех этих машин определяется по одной и той же формула

$$P = \frac{FV}{\eta_n}$$

где  $F$  - суммарное усилие, необходимое на преодоление сил сопротивление движению, Н;

$V$  - линейная скорость, м/с;

$\eta_n$  - к.п.д. передачи.

Если скорости движения каждой машины задаются соответствующими рекомендациями, то расчет усилий в системе привода является подчас достаточно сложной задачей.

Наиболее просто определяется мощность привода подъемных механизмов (тельферов):

$$P = \frac{9.81(m_o + m_2)V_{\text{под}}}{\eta_n}$$

где  $m_o$  - масса крюка и полиспаста, кг;

$m_2$  - масса груза, кг ;

$V_{\text{под}}$  - скорость подъема, м/с ;

$\eta_n$  - к.п.д. передачи.



Здесь необходимо отметить, что мощность электрического двигателя определяется с учетом режима работы механизма.

Расчет мощности привода механизма передвижения тельфера по балке и механизма передвижения кран-балки вдоль цеха производится по формуле

$$P = \frac{9.81(m_o + m_z + m_m)V_{пер}f_{об}}{\eta_n}$$

где  $f_{об}$  - обобщенный коэффициент сопротивления движению;

$V_{пер}$  - скорость перемещения, м/с;

$\eta_n$  - к.п.д. передачи.

$m_m$  - масса тележки и балки, кг ;

Обобщенный коэффициент сопротивления определяется по формуле:

$$f_{об} = \frac{K(\mu r + f_0)}{R_{хк}}$$

где  $K$  - коэффициент сопротивления, учитывающий трение реборд колес о рельсы ( $K=1,5-2,5$ );

$\mu$  - коэффициент трения качения ( $\mu=0,015$ ) или трения скольжения ( $\mu=0,15$ ) в зависимости от вида подшипника;

$r$  - радиус шейки оси колеса, м;

$f_0$  - коэффициент трения качения ходового колеса по рельсу, М ( $f_0=0,0003$  м для колес  $R_{хк} \leq 150$  мм);

$R_{хк}$  - радиус ходового колеса.

В сельскохозяйственном производстве используется целая гамма транспортных самоходных тележек (электровозов), на базе которых выполнены кормораздатчики различного типа. Движение колес этих тележек осуществляется по разному виду дорог, причем движение может быть с подъемом и по криволинейному пути. С учетом этих условий расчет мощности привода выполняется по формуле:

$$P = (F_0 + F_{кр} + F_i)V\eta_n^{-1}$$

где  $F_0$  - тяговое сопротивление на прямолинейном горизонтальном пути, Н;

$F_{кр}$  - тяговое сопротивление на закруглениях пути, Н;

$F_i$  - дополнительное тяговое сопротивление на подъеме, Н;

$V$  - скорость движения транспортной тележки, м/с;

$\eta_n$  - к.п.д. передачи.

При прямолинейном движении по горизонтальному участку пути основное сопротивление зависит от трения качения колес в точке

соприкосновения колес с поверхностью дороги, трения реборд колес о рельсы, трения в осях колес, от конструкции ходовых колес и скорости движения.

$$F_0 = f_0 m$$

где  $f_0$  - коэффициент сопротивления передвижению транспорта на прямолинейном горизонтальном участке пути, Н/кг;

$m$  - масса транспортной тележки с грузом, кг.

Величина коэффициента сопротивления для условий внутриусадбных дорог находится в пределах  $f_0=0,1-0,2$  Н/кг;

Дополнительное сопротивление движению на криволинейных участках

$$F_{кр} = f_{кр} m$$

где  $f_{кр}$  - коэффициент дополнительного сопротивления на закруглении пути, Н/кг.

Для вагонеток с диаметром ходовых колес 100 мм определяется по формуле

$$f_{кр} = (0,25 - 0,35)R^{-1}$$

где  $R$  - радиус закругления дороги, м.

Дополнительное сопротивление на подъеме определяется по формуле:

$$F_i = 9.81m \cdot \sin \alpha$$

где  $\alpha$  - угол подъема дороги.

Рекомендуемые скорости передвижения транспортных тележек:  $V = 0,3-1,5$  м/с.

Тяговое усилие при трогании тележек:

$$F_{тр} = f_{тр} m$$

где  $f_{тр} = 0,17-0,35$  Н/кг.

Расчетная мощность привода **сепаратора** определяется по формуле:

$$P_{расч} = hM_c \omega ,$$

где  $h= 1.2...2$  – опытный коэффициент, учитывающий мощность, которая нужна для сообщения кинетической энергии, поступающей в барабан жидкости, преодоления гидродинамических потерь и потерь трения в подшипниках и передаточном механизме.

Механическая характеристика сепаратора без учета резонансных пиков может быть выражена формулой:

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

где  $M_0$  – начальный момент на валу привода, в среднем равный 0,2 Нм;

$b$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематической схемы привода, массы барабана, шероховатости поверхности сепаратора, для центрифуг производительностью 50...1000 л/ч этот коэффициент в среднем равен  $18,24 \cdot 10^{-7}$  Нм/(рад/с<sup>2</sup>);

$\omega$  – угловая скорость барабана, рад/с.

Квадратичная зависимость момента сопротивления сепаратора сохраняется при линейной скорости барабана до 70 м/с. Применительно к сепараторам сельскохозяйственного назначения это соответствует частоте вращения барабана 10000 об/мин.

Использование *вакуум-насосов в доильных установках* определяет их производительность, связанную с числом доильных аппаратов:

$$Q = kqn$$

где  $n$  - число доильных аппаратов в установке;

$q$  - расход воздуха одним доильным аппаратом ( $q \approx 1,8$  м<sup>3</sup>/ч);

$k=2-3$  - коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы.

Расчетная мощность привода вакуум-насоса определяется по формуле:

$$P = \frac{QH}{\eta_n \eta_{\text{н}}}$$

где  $H$  - вакуум, развиваемый насосом, Па;

$\eta_n$  - к.п.д. передачи;

$\eta_{\text{н}} = 0,2-0,25$  - к.п.д. вакуум-насоса.

Величина вакуума, соответствующая нормальной работе установки, равна  $H=400$  мм.рт.ст.

Работу по вспашке земли в местах, труднодоступных для тракторов, могут выполнять *электролебедки*.

Предварительную оценку мощности привода дают по условию:

$$P = K_3 (P_1 + P_2) 0.5$$

где  $K_3 = 1,1-1,3$  - коэффициент запаса;

$P_1$  и  $P_2$  - мощности, необходимые для пахоты плугом в начале и конце гона.

Изменение величины мощности в процессе движения плуга связано с тем, что трос лебедки, наматываясь на барабан в несколько рядов, меняет радиус намотки. При этом линейная скорость движения троса является

величиной переменной при относительно мало меняющейся угловой частоте вращения барабана.

$$V = \omega_{\sigma} R$$

где  $\omega_{\sigma}$  - угловая частота вращения барабана,  $\text{с}^{-1}$ ;

$R$  - радиус намотки троса на барабан, м.

Мощность в начале движения плуга

$$P_1 = (F_{n.нач} + F_m) V_{нач} \eta_l^{-1}$$

где  $V_{нач} = \omega_{\sigma} R_{нач}$ , м/с;

$\eta_l$  - к.п.д. лебедки с передачей.

Сопротивление от волочения троса о почву

$$F_m = 9,81 K_m m_m l f$$

где  $K_m$  - коэффициент, учитывающий условия работы (для равнины -  $K_m = 1$ , для горной местности  $K_m = 3$ );

$m_m$  - Удельная масса троса ( $m_m = 3$  кг/м);

$l$  - длина той части троса, которая движется по земле (составляет 80% длины гона);

$f = 0,35$  - коэффициент трения троса о почву.

Мощность в конце движения плуга

$$P_1 = (F_{n.кон} + F_m) V_{кон} \eta_l^{-1}$$

где  $V_{кон} = \omega_{\sigma} R_{кон}$ , м/с;

$\eta_l$  - к.п.д. лебедки с передачей.

Тяговое сопротивление в начале движения в начале  $F_{n.нач}$  и в конце движения  $F_{n.кон}$  плуга определяется по формуле:

$$F_{n(нач,кон)} = 9,81 f_n m_n + kab + \varepsilon ab V_{n(нач,кон)}^2$$

где  $f = 0,2-0,4$  - коэффициент трения плуга о почву;

$m_n$  - масса плуга, кг;

$k = 4-8,5$  Н/см<sup>2</sup> - удельное сопротивление почвы;

$a$  - глубина вспашки, см;

$b$  - ширина захвата плуга, см;

$\varepsilon = 0,1-0,3$  - коэффициент, учитывающий влияние скоростей.

Лебедки на пахоте должны перемещаться вдоль участка и иметь необходимую мощность привода:

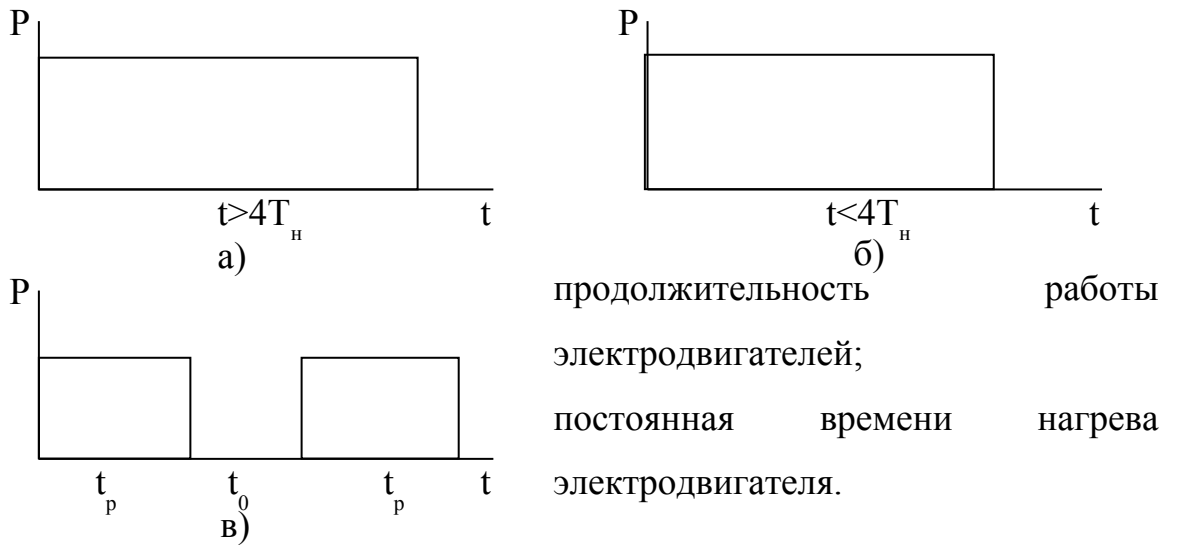
$$P = 9.81m_n V_n \eta_n^{-1}$$

где  $m_n$  - масса лебедки, кг;

$V_n$  - скорость передвижения лебедки, м/с;

$\eta_n^{-1}$  - к.п.д. передачи.

Нагрузочные диаграммы представляют собой зависимости момента сопротивления на валу электродвигателя или рабочей машины, мощности или тока электродвигателя от времени, т.е.  $M_c(t)$ ,  $P(t)$ ,  $I(t)$ . Нагрузочные диаграммы могут быть получены экспериментально или рассчитаны аналитически.



Нагрузочные диаграммы  $P(t)$  для режимов работы электродвигателя  $S_1, S_2, S_3$  показаны на рисунке.2.3.

а) – режим работы  $S_1$ ; б) – режим работы  $S_2$ ; в) – режим работы  $S_3$ .

Рисунок 2.3. – Нагрузочные диаграммы электродвигателей

Метод обработки нагрузочных диаграмм зависит от характера кривых  $P(t)$ ,  $I(t)$ ,  $M_c(t)$ . Кривая  $P(t)$  изображенная на рисунке 2.4 аппроксимируется отрезками прямых. Аппроксимирующая прямая проводится таким образом, чтобы площадь под кривой мощности и под аппроксимирующей прямой были одинаковыми. При этом максимальная разность между ординатами кривой мощности и аппроксимирующей прямой не должны превышать половины среднего значения ординат прямой.

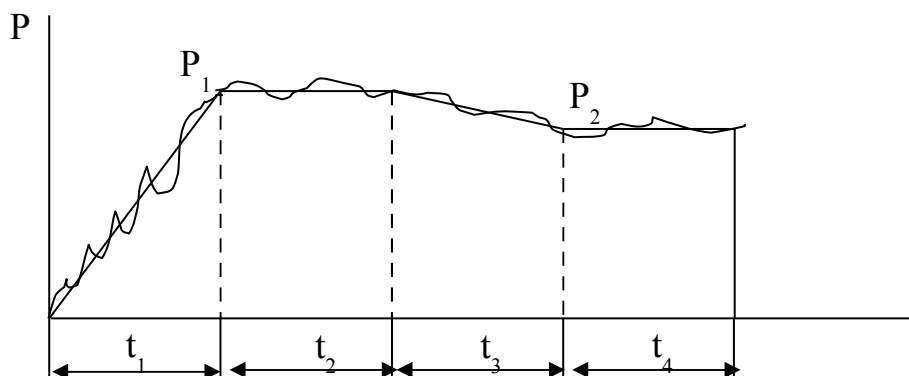


Рисунок 2.4 – Фактическая и аппроксимирующая ступенчатая нагрузочные диаграммы электродвигателя

Эквивалентная мощность  $P_{\text{э}}$ , кВт определяется по нагрузочной диаграмме по формуле

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (P(t))^2 dt},$$

где  $T$  – период действия нагрузки;

$P(t)$  – зависимость мощности от времени за расчётный период  $T$ .

В конкретном случае (см. рисунок 2.4) эквивалентная мощность определяется по формуле

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\frac{P_1^2}{3} t_1 + P_1^2 t_2 + \frac{P_1^2 + P_1 P_2 + P_2^2}{3} t_3 + P_2^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}},$$

При случайном характере нагрузки нагрузочная диаграмма обрабатывается методами теории вероятности. На нагрузочной диаграмме определяется приближенное значение частоты, с которой изменяется нагрузка и период изменения нагрузки  $T_n$  в секундах.

Длительность участка диаграммы, подлежащего обработки принимается равной

$$T_{\text{д}} \geq 10T_n$$

Интервал выборки

$$\Delta t \leq 0,2T_n$$

Для определения расчётных данных минимальный объем выборки определяется по формуле

$$n_i = \frac{T_{\text{д}}}{\Delta t} \geq 50.$$

Основными характеристиками нагрузочных диаграмм (формулы приведены для зависимости  $P(t)$ ) являются:

- математическое ожидание

$$m_p = \frac{\sum P_i}{n_i},$$

где  $P_i$  – текущее значение мощности, кВт;

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum (P_i - m_p)^2}{n_i - 1}}$$

Зная эти характеристики, определяют эквивалентную мощность, ток или момент по формуле:

$$P_{\text{э}} = \sqrt{m_p^2 + \sigma_p^2}.$$

Мощность для привода рабочей машины  $P$ , кВт определяется с учетом КПД электродвигателя,  $\eta_{\text{д}}$ , о.е. по формуле

$$P = P_{\text{э}} \eta_{\text{д}}.$$

### Пример 3.

Построить нагрузочную диаграмму электродвигателя для привода скребкового транспортера, подающего корнеплоды в измельчитель (см. пример 1).

Длина транспортера 15 м, угол наклона транспортера  $20^\circ$ , высота скребка 0,05 м, ширина скребка 0,4 м. Частота вращения приводного вала транспортера 20 об/мин, скорость движения цепи 0,3 м/с. Объем бункера мобильного транспортера 2 м<sup>3</sup>. Интервал времени между загрузками кормораздатчика 20 мин.

Решение.

Подача скребкового транспортера  $Q$ , т/ч, определяется по формуле

$$Q = 3600 \cdot H \cdot B \cdot v \cdot \rho \cdot \psi \cdot c,$$

где  $H$  – высота скребка, м;

$B$  – ширина скребка, м;

$v$  – скорость движения цепи, м/с;

$\rho$  – плотность груза, т/м<sup>3</sup> / /;

$\psi$  – коэффициент заполнения,  $\psi = 0,6 - 0,8$  / /;

$c$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения скребков от угла наклона транспортера, при  $\alpha = 20^\circ$   $c = 0,85$  / /

$$Q = 3600 \cdot 0,05 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,45 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 4,96 \text{ т/ч.}$$

Мощность  $P_m$ , кВт, необходимая для привода скребкового транспортера определяется по формуле

$$P_m = \frac{Q}{367} \left( Lf + \frac{h}{\eta_T} \right),$$

где  $L$  – горизонтальная составляющая пути перемещения груза, м;

$f$  – коэффициент сопротивления движению,  $f = 4,2$  / /;

$h$  – высота подъема груза, м;

$\eta_T$  – КПД транспортера.

Горизонтальная составляющая пути перемещения  $L$ , м, равна

$$L = L_T \cdot \cos \alpha$$

где  $L_T$  – длина транспортера, м;

$$L = 15 \cdot \cos 20^\circ = 14,09 \text{ м}$$

Высота подъема груза

$$h = L_T \cdot \sin \alpha = 15 \cdot \sin 20^\circ = 3,88 \text{ м}$$

$$P_M = \frac{4,96}{367} \left( 14,09 \cdot 4,2 + \frac{3,88}{0,6} \right) = 0,89 \text{ кВт}$$

С учетом КПД передачи от электродвигателя к транспортеру мощность на валу электродвигателя  $P$ , кВт, равна

$$P = \frac{P_M}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}$$

где  $\eta_1, \eta_2$  – КПД зубчатой передачи;

$\eta_3$  – КПД клиноременной передачи.

$$P = \frac{0,89}{0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,97} = 0,96 \text{ кВт}$$

Время загрузки мобильного кормораздатчика  $t$ , мин

$$t = \frac{V \cdot \rho_{\text{изм}}}{Q} \cdot 60$$

где  $\rho_{\text{изм}}$  – плотность измельченных корнеплодов, т/м<sup>3</sup>.

$$t = \frac{2 \cdot 0,6}{4,96} \cdot 60 = 14,5 \text{ мин}$$

Нагрузочная диаграмма электродвигателя показана на рисунке

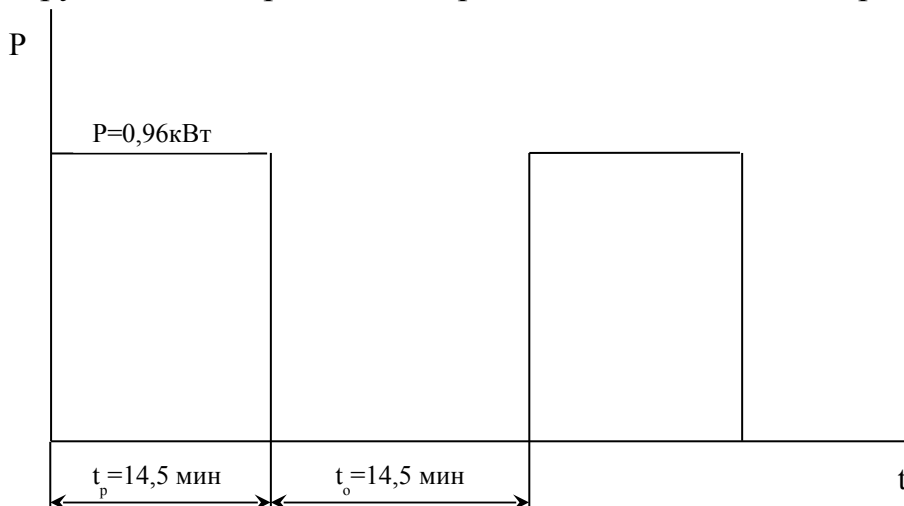


Рисунок Нагрузочная диаграмма электродвигателя

К заданию 3.

В общем случае выбор электродвигателя производится по роду тока и значению напряжения, электрическим модификациям, конструктивному



исполнению, степени защищенности от воздействия окружающей среды, мощности и частоте вращения.

При выборе электродвигателя по роду тока и значению напряжения учитываются данные источника питания и технологические требования со стороны производственного процесса электрифицированной установки. При необходимости плавного регулирования угловой скорости электропривода в широком диапазоне предпочтение отдается электродвигателям постоянного тока.

Для электропривода сельскохозяйственных машин и агрегатов, как правило, применяются асинхронные электродвигатели трёхфазного переменного тока напряжением 380/220 В мощностью до 75 кВт.

По конструктивному исполнению и способу монтажа электродвигатели выбираются исходя из удобства их установки и дальнейшего обслуживания с учетом конструктивных особенностей рабочей машины или механизма.

Климатическое исполнение и категория размещения должны соответствовать условиям окружающей среды. Для объектов сельскохозяйственного производства целесообразно выбирать электродвигатели специализированного исполнения влагостойкого, химического, пылевлагозащищенного, сельскохозяйственного и др. со степенью защищенности IP24...IP54.

Мощность электродвигателя должна быть достаточной для преодоления сопротивления рабочей машины в заданном режиме ее работы без превышения допустимой температуры частей двигателя. При этом напряжение питания электродвигателя может быть ниже номинального на 10%. При выборе электродвигателя нужно стремиться к максимальному использованию его мощности во время работы. Коэффициент загрузки должен быть не ниже 0,7. Для повышения коэффициента загрузки при случайном характере нагрузки рекомендуется обеспечивать механическое выравнивание подачи материала либо автоматическое регулирование загрузки. Недогрузка электродвигателя ведет к снижению КПД,  $\cos\varphi$ , значительному перерасходу электроэнергии, удорожанию установки, перегрузка – к перегреву и быстрому выходу из строя.

Методика выбора мощности электродвигателя зависит от характера нагрузки (постоянная, переменная, случайная) и режима работы (длительный, кратковременный, повторно-кратковременный и т.д.).

Для машин, работающих с длительной постоянной нагрузкой, мощность определяется на основании соотношения

$$P_n \geq P.$$

По каталогу выбирается двигатель, ближайший по стандартной шкале. Выбранный двигатель проверяется по условиям пуска.

Если нагрузка переменная, то электродвигатель выбирается так, чтобы выполнялось условие

$$P_n \geq P_{\text{э}}.$$

Метод эквивалентных величин используют для предварительного

определения мощности электродвигателя по нагреву. Окончательно правильность выбора мощности электродвигателя уточняют методом средних потерь путем сравнения его номинальных (допускаемых) потерь мощности  $\Delta P_n$  со средними  $\Delta P_{cp}$  потерями т.е.

$$\Delta P_n \geq \Delta P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta P_i t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i},$$

где  $\Delta P_i$ ,  $t_i$  – потери мощности и продолжительность нагрузки электродвигателя на  $i$  – м участке нагрузочной диаграммы.

Номинальные потери мощности  $\Delta P_n$ , кВт, рассчитываются по формуле на основании паспортных данных электродвигателя, частичные – на участках нагрузочной диаграммы по соотношению

$$\Delta P_i = \frac{P_i(1 - \eta_i)}{\eta_i},$$

где  $\eta_i$  – КПД электродвигателя при  $P_i$  нагрузке на валу, о.е..

Если в каталоге в технических данных электродвигателей не приводятся значения  $\eta_i$  при равных коэффициентах загрузки, то они определяются по формуле

$$\eta_i = \frac{k_3}{k_3 + (f_\alpha + k_3^2) \frac{1 - \eta_n}{\eta_n (f_\alpha + 1)}},$$

где  $k_3$  – коэффициент загрузки,  $k_3 = \frac{P_i}{P_n}$

$f_\alpha$  – коэффициент формы кривой КПД.

$f_\alpha$  – подсчитывается по номинальным данным:

$$f_\alpha = \frac{(1 - \eta_n) \cdot (1 - s_n)}{2\eta_n s_n} - 1,$$

где  $\eta_n$  – КПД электродвигателя при номинальной мощности, о.е.;

$s_n$  – номинальное скольжение электродвигателя.

Выбранный электродвигатель проверяется по условиям пуска, перегрузочной способности и по нагреву.

При кратковременном режиме работы электродвигателя мощность предварительно выбирается по эквивалентному значению, определенному по нагрузочной диаграмме. Электродвигатель выбирается по каталогам на электродвигатели, работающие при кратковременном режиме с периодами действия номинальной нагрузки 10, 30, 60 и 90 минут. Если период действия

номинальной нагрузки не соответствует каталожному значению, то производится пересчет мощности электродвигателя с учетом равенства потерь энергии за период работы по формуле

$$P_n \geq P_{\varepsilon} \sqrt{\frac{t_p}{t_{cm}}},$$

где  $t_p$  – продолжительность работы с эквивалентной нагрузкой ( $P_{\varepsilon}$ ), мин;

$t_{cm}$  – стандартная продолжительность работы, мин.

Допускается применение электродвигателей, рассчитанных на длительный режим работы. В этом случае мощность электродвигателя определяется с учетом коэффициентов тепловой и механической перегрузки.

Коэффициент тепловой перегрузки определяется по формуле

$$k_m = \frac{1}{1 - e^{-t_p/T_n}},$$

где  $t_p$  – время работы, мин;

$T_n$  – постоянная времени нагрева электродвигателя, мин., предварительно принимается равной 20 мин.

Коэффициент механической перегрузки электродвигателя

$$k_m = \sqrt{k_m + (k_m - 1) \cdot \alpha},$$

где  $\alpha$  – коэффициент потерь,  $\alpha = (0,5 - 0,7)$ .

Расчетная мощность  $P_p$ , кВт, электродвигателя определяется по формуле:

$$P_p = \frac{P_{\varepsilon}}{k_m},$$

номинальная

$$P_n \geq P_p.$$

Выбранный электродвигатель проверяется по условиям пуска и перегрузочной способности и по нагреву с учётом продолжительности времени пуска.

При работе в повторно-кратковременном режиме определяется среднеквадратичная мощность за рабочий период  $P_{\varepsilon}$  по нагрузочной диаграмме.

Выбор мощности электродвигателя осуществляется с учетом стандартной продолжительности включения  $PВ_{ст}$ .

Фактическая продолжительность включения электродвигателя  $PВ_{ф}$ , %

$$PВ_{ф} = \frac{t_p}{t_p + t_o} 100\%,$$

где  $t_o$  – паузы, мин.

Если  $PВ_{ф}$  отличается от стандартных значений 15, 25, 40 и 60 %, то производится пересчет мощности.

$$P_p = P_{\text{э}} \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{\text{ст}}}}$$

Номинальная мощность электродвигателя выбирается по условию

$$P_n \geq P_p.$$

При использовании электродвигателей длительного режима их мощность определяется по среднеквадратичной мощности за рабочий цикл, или по среднеквадратичной мощности за рабочий период с учетом коэффициента механической перегрузки.

а) по среднеквадратичной мощности за рабочий цикл

$$P_{\text{э}}^I = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{t_p + \beta_o t_o}},$$

где  $\beta_o$  - коэффициент, учитывающий ухудшение теплоотдачи электродвигателя в отключенном состоянии,  $\beta_o = 0,5$ .

$$P_n \geq P_{\text{э}}^I,$$

б) по среднеквадратичной мощности за рабочий период

$$P_p = P_{\text{э}} \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{100}},$$

или

$$P_p = \frac{P_{\text{э}}}{k_m}.$$

Коэффициент механической перегрузки рассчитывается по формуле  $k_m = \sqrt{k_m + (k_m - 1)\alpha}$ , коэффициент тепловой перегрузки при работе электродвигателя в этом режиме находится по формуле

$$k_m = \frac{1 - e^{-\frac{t_p + \beta_o t_p}{T_n}}}{1 - e^{-\frac{t_p}{T_n}}}.$$

$$P_n \geq P_p.$$

Выбранный электродвигатель проверяется по условиям пуска, перегрузочной способности и по нагреву.

Электродвигатели одинаковой мощности, но большей частоты вращения имеют меньше габариты, вес, и дешевле, поэтому желательно применение более быстроходных двигателей. Однако, увеличение частоты вращения электродвигателя связано с увеличением передаточного числа, веса и габаритов передачи или редуктора, что удорожает электропривод. Для

приводов с редкими пусками наиболее целесообразным будет такое передаточное число, при котором стоимость электродвигателя и редуктора (электропривода) окажется наименьшей.

Для приводов с частыми пусками существенное значение имеет сокращение времени пуска и торможения, так как при этом уменьшается длительность цикла работы машины и увеличивается ее производительность.

Для всех электродвигателей принятого типа и необходимой мощности рассчитываются произведения  $J_{\partial}^2 i^2$  и выбирается тот двигатель, для которого это произведение окажется наименьшим.

К заданию 4.

Механическая характеристика рабочей машины при работе на холостом ходу и под нагрузкой представляет собой зависимость момента сопротивления от частоты вращения или угловой скорости и описывается уравнением:

$$M_m = M_{mo} \pm (M_{mn} - M_{mo}) \left( \frac{\omega_m}{\omega_{mn}} \right)^x,$$

где  $M_m$  - момент сопротивления механизма при угловой скорости  $\omega_m$  *Нм*;

$M_{mo}$  - момент сопротивления механизма, не зависящий от угловой скорости (момент трогания), *Нм*;

$M_{mn}$  - момент сопротивления при номинальной угловой скорости, *Нм*;

$\omega_m$  - текущее значение угловой скорости вала рабочей машины,  $c^{-1}$ ;

$\omega_{mn}$  - номинальная угловая скорость вала рабочей машины,  $c^{-1}$ ;

$x$  - показатель степени характеризующий изменение статического момента от угловой скорости.

Момент статического сопротивления на валу электродвигателя  $M_c$ , *Нм*

$$M_c = M_o + (M_{cn} - M_o) \left( \frac{\omega_{\partial}}{\omega_n} \right)^X,$$

где  $M_o = \frac{M_{mo}}{i \eta_n}$ ,  $M_{cn} = \frac{M_{mn}}{i \eta_n}$ , или  $M_{cn} = \frac{P}{\omega_n}$ ,

здесь  $i$  - передаточное отношение;

$\omega_{\partial}$  - текущее значение угловой скорости электродвигателя,  $c^{-1}$ ;

$\omega_n$  - номинальная угловая скорость электродвигателя,  $c^{-1}$ ;

Передаточное отношение равно

$$l = \frac{\omega_n}{\omega_{MH}}$$

Значение показателя степени  $x$  механических характеристик:

- Лебедок, ленточных транспортеров  $x = 0$ ;
- Зерноочистительных машин  $x = 1$ ;
- Дробилок, норий  $x = 1,7 - 1,8$ ;
- Вентиляторов, сепараторов, центробежных насосов  $x = 2$ ;
- Металлообрабатывающих станков  $x = -1$ .

По значению отношения момента трогания к моменту номинальному

$\frac{M_o}{M_{сн}}$  сельскохозяйственные механизмы и машины делятся на три группы:

- вентиляторы, центробежные насосы, молочные сепараторы, зернодробилки, пускаемые вхолостую, пневмотранспортеры  $0,3$
- транспортеры, конвейеры, подъемные машины, молотильные агрегаты, пускаемые вхолостую, агрегаты приготовления комбинированного силоса, смесители  $0,3-1,0$
- дробилки и измельчители грубых кормов, пускаемые под нагрузкой, пилорамы, прессы-грануляторы  $> 1,0$

Каждая из групп предъявляет определенные требования к электродвигателю при пуске. Механизмы первой группы допускают пуск асинхронных электродвигателей при пониженном напряжении питания переключением обмоток со звезды на треугольник в целях снижения падения напряжения в сети при пуске. Механизмы второй группы позволяют осуществлять прямое включение электродвигателя. При этом не исключается возможность применения в отдельных случаях средств облегчения условий пуска, например, путем применения центробежных фрикционных муфт. Механизмы с относительным моментом трогания, превышающим единицу, требуют применения способов и средств форсирования пуска схем переключения с треугольника на звезду.

Начальный пусковой момент электродвигателя должен быть достаточным для преодоления момента сопротивления троганию рабочей машины при снижении питающего напряжения ( $\Delta U$ ) на 20 - 30% номинального (большая величина относится к двигателям, не имеющим параллельно включенных токоприемников). При этом предпочтительным является прямой пуск электродвигателя. При необходимости допускается применение средств, облегчающих пуск электродвигателя. Пусковые устройства выбираются на основании технико-экономических расчетов.

Для обеспечения пуска электродвигателя должны выполняться условия

$$\left(\frac{U}{U_n}\right)^2 M_n \geq M_c + M_{изб},$$

$$\left(\frac{U}{U_n}\right)^2 M_m \geq M_{c_{s=0,8}} + M_{изб},$$

где  $U$  – напряжение сети с учетом снижения на 20 – 30 %,  $B$ ,

$$U = 1 - \frac{\Delta U}{100} \cdot U_n;$$

$U_n$  – номинальное напряжение сети,  $B$ ;

$M_n$  – пусковой момент электродвигателя при номинальном напряжении сети,  $B$ ;

$M_m$  – минимальный момент электродвигателя при номинальном напряжении сети,  $Hm$ ;

$M_o$  – момент статического сопротивления на валу электродвигателя при трогании рабочей машины,  $Hm$ ;

$M_{c_{s=0,8}}$  – момент статического сопротивления на валу электродвигателя при скольжении  $S=0,8$ ,  $Hm$ ;

$M_{изб}$  – минимальный избыточный момент, необходимый для пуска электродвигателя, обычно принимается равным  $M_{изб} = 0,2M_{сн}$ .

Перегрузочная способность электродвигателя должна обеспечивать статистическую и динамическую устойчивость работы привода при возникновении характерных для данного технологического процесса повышений момента сопротивления нагрузки и снижении питающего напряжения на 10% номинального (13).

Статическая устойчивость электропривода при снижении напряжения питающей сети проверяется соотношением

$$\left(\frac{U}{U_n}\right)^2 M_k \geq M_{c_{max}},$$

где  $U$  – напряжение сети с учетом снижения на 10%.

$M_k$  – максимальный (критический) момент, развиваемый электродвигателем,  $Hm$ ;

$M_{c_{max}}$  – максимальный статический момент сопротивления на валу электродвигателя,  $Hm$ .

Номинальный момент электродвигателя  $M_n, Hm$ ,

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n},$$

где  $\omega_n$  – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя,  $\frac{1}{c}$ ;

$$\omega_n = \omega_o(1 - s_n),$$

здесь  $s_n$  – номинальное скольжение электродвигателя;

$\omega_o$  – угловая скорость поля статора ( синхронная угловая скорость вращения ротора ),  $\frac{1}{c}$ ;

$$\omega_o = \frac{314}{p},$$

где  $p$  – число пар полюсов обмотки статора.

Пусковой  $M_n, Нм$ , минимальный  $M_m, Нм$ , максимальный  $M_k, Нм$  моменты электродвигателя определяются как произведение номинального момента электродвигателя на кратность пускового момента  $m_n$ , минимального момента  $m_m$ , и максимального момента  $m_k$

$$M_n = M_n m_n;$$

$$M_m = M_n m_m;$$

$$M_k = M_n m_k.$$

#### **Пример 4.**

По данным примеров 1, 2, 3 выбрать электродвигатель для привода скребкового транспортера. Снижение питающего напряжения принять равным 20%.

Решение.

Выбирается электродвигатель серии 4А продолжительного режима работы.

Для графика (см. рисунок ) по формуле эквивалентная нагрузка

$$P_{\text{Э}}' = \sqrt{\frac{1,22^2 \cdot 14,5}{14,5 + 0,5 \cdot 20}} = 0,94 \text{ кВт}.$$

Среднее значение передаточного отношения клиноременной передачи  $i = 5$ . Для обеспечения частоты вращения приводного вала скребкового транспортера  $\omega_m = 20$  об/мин при использовании электродвигателей различной частоты вращения червячный редуктор должен иметь передаточные отношения 10, 15, 30. При получении расчетной мощности  $P_m = 0,89$  кВт может использоваться редуктор одного типоразмера с передаточными отношениями 10 и 15 и, следовательно, одной стоимости. Поэтому принимается электродвигатель с синхронной частотой вращения 1500 об/мин, стоимость которого ниже стоимости электродвигателей той же



мощности с синхронными частотами вращения 1000 об/мин, 750 об/мин и 600 об/мин.

Каталожные данные электродвигателя

4А80А4У3;  $P_n = 1,1 \text{ кВт}$ ;  $\eta_n = 0,75$ ;  $\cos \varphi_n = 0,81$ ;  $m_n = 2$ ;  $m_m = 1,6$ ;  $m_k = 2,2$ ;  $S_n = 5,4\%$ ;  $S_{кр} = 34\%$ ;  $i_n = 5$ ;  $J_d = 0,0032 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Синхронная частота вращения электродвигателя определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{314}{2} = 157 \text{ 1/с.}$$

Номинальная частота вращения определяется по формуле

$$\omega_n = 157(1 - 0,054) = 148,52 \text{ 1/с.}$$

Номинальный, пусковой, минимальный и максимальный моменты электродвигателя определяются по формулам

$$M_n = \frac{1,1 \cdot 10^3}{148,52} = 7,41 \text{ Нм};$$

$$M_n = 7,41 \cdot 2 = 14,82 \text{ Нм};$$

$$M_m = 7,41 \cdot 1,6 = 11,86 \text{ Нм};$$

$$M_k = 7,41 \cdot 2,2 = 16,3 \text{ Нм.}$$

Для механической характеристики (см. ф ) скребкового транспортера показать степени, характеризующий изменение статического момента от угловой скорости  $x = 0$ .

Тогда из уравнения следует

$$M_c = M_{сн}.$$

Номинальный момент статического сопротивления  $M_{сн}$ , Нм, определяется по формуле

$$M_{сн} = \frac{1,22 \cdot 10^3}{148,52} = 8,21 \text{ Нм.}$$

Минимальный избыточный момент, необходимый для пуска электродвигателя принимается равным  $0,2M_{сн}$ , тогда

$$M_{изб} = 0,2 \cdot 8,21 = 1,64 \text{ Нм.}$$

Возможность пуска электродвигателя при снижении питающего напряжения на 20% проверяется по условию

$$\left( \frac{U}{U_n} \right) M_m = \left( \frac{0,8 \cdot 380}{380} \right)^2 \cdot 11,86 = 7,59 \text{ Нм};$$

$$M_c + M_{изб} = 8,21 + 1,64 = 9,85 \text{ Нм};$$

$$7,59 < 9,85,$$

следовательно электродвигатель 4А80А4У3 не запустится при снижении питающего напряжения.

Принимается электродвигатель

4А80В4У3;  $P_n = 1,5 \text{ кВт}$ ;  $\eta_n = 0,77$ ;  $\cos\varphi_n = 0,83$ ;  $m_n = 2$ ;  $m_m = 1,6$ ;  $m_k = 2,2$ ;  $S_n = 5,8\%$ ;  $S_{кр} = 34\%$ ;  $i_n = 5$ ;  $J_d = 0,0033 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Для данного электродвигателя

$$\omega_n = 157(1 - 0,058) = 147,89 \text{ 1/с};$$

$$M_n = \frac{1,5 \cdot 10^3}{147,89} = 10,14 \text{ Нм};$$

$$M_n = 10,14 \cdot 2 = 20,28 \text{ Нм};$$

$$M_m = 10,14 \cdot 1,6 = 16,22 \text{ Нм};$$

$$M_k = 10,14 \cdot 2,2 = 23,31 \text{ Нм};$$

$$M_{сн} = \frac{1,22 \cdot 10^3}{147,89} = 8,25 \text{ Нм};$$

$$M_{изб} = 0,2 \cdot 8,25 = 1,65 \text{ Нм};$$

$$\left( \frac{0,8 \cdot 380}{380} \right)^2 \cdot 16,22 = 10,38 \text{ Нм};$$

$$8,25 + 1,65 = 9,9 \text{ Нм};$$

$10,38 > 9,9$ , следовательно электродвигатель при снижении питающего напряжения на 20% запустится.

### К заданию 5.

Приведенный к валу электродвигателя момент инерции системы  $J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$ , определяется по формуле

$$J = k \cdot J_d + \frac{J_m}{i^2} + \frac{m_m \cdot V_m^2}{\omega^2},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий момент инерции механической передачи,  $k=1,05-1,2$ .

$J_d$  – момент инерции ротора электродвигателя,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$J_m$  – момент инерции вращающихся частей рабочей машины,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$m_m$  – масса частей рабочей машины, движущихся поступательно, кг;

$V_m$  – скорость поступательного движения частей рабочей машины, м/с.

Момент инерции электродвигателя определяется по каталогу.

Момент инерции рабочей машины определяется по паспортным данным или подсчитывается аналитически

Для сельскохозяйственных машин характерен широкий диапазон

изменения коэффициента инерции (отношение приведенного момента инерции машины к моменту инерции электродвигателя). Все сельскохозяйственные механизмы по значению коэффициента инерции можно условно разделить на три группы:

транспортёры, шнеки, нории, центробежные насосы – 5;  
 смесители, центробежные вентиляторы, измельчители сочных кормов – 5-15;  
 зернодробилки, универсальные дробилки, пневмотранспортёры, сепараторы – > 15.

Предельно допустимый динамический момент инерции на валу электродвигателя при статической нагрузке на валу определяется по формуле:

$$J = k \cdot k_{mc} \cdot P_n \cdot p^2,$$

где  $P_n$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$p$  – число пар полюсов;

$k$  – коэффициент, зависящий от типа двигателя;

$k_{mc}$  – коэффициент, зависящий от характера изменения статического момента сопротивления ( $M_c$ ) при разгоне электродвигателя.

Для электродвигателя, находящегося в практически холодном состоянии, допускается два последовательных пуска с предельным динамическим моментом на валу; для электродвигателя, нагретого до рабочей температуры – один.

### **Пример 5.**

Определить приведенный к валу электродвигателя момент инерции системы, используя данные примера 3. Масса погонного метра цепи со скребками  $m = 5$  кг.

Решение.

Масса цепи со скребками скребкового транспортера  $m_T$ , кг, равна

$$m_T = m \cdot 2L_T = 5 \cdot 2 \cdot 15 = 150 \text{ кг.}$$

Масса груза

$$m_G = \frac{Q \cdot L \cdot 10^3}{3600 \cdot V} = \frac{4,96 \cdot 15 \cdot 10^3}{3600 \cdot 0,3} = 68,89 \text{ кг.}$$

По формуле

$$J = 1,2 \cdot 0,0033 + \frac{(150 + 68,89) \cdot 0,3^2}{147,89^2} = 0,0049 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

### **К заданию 6.**

Механическая характеристика электродвигателя  $M_d(\omega)$  рассчитывается по формуле Клосса:

$$M_{\partial} = \frac{M_{\kappa}(2 + q)}{\frac{s_{\kappa}}{s} + \frac{s}{s_{\kappa}} + q},$$

где  $s$  – текущее скольжение;

$q$  – параметр.

Критическое скольжение, соответствующее максимальному вращающему моменту электродвигателя, может быть принято по каталожным данным электродвигателя или определено по формуле

$$s_{\kappa} = \frac{\sqrt{s_H} + \sqrt{\frac{m_{\kappa} - 1}{m_1 - 1}}}{\frac{1}{\sqrt{s_H}} + \sqrt{\frac{m_{\kappa} - 1}{m_1 - 1}}},$$

где  $m_1$  – коэффициент, равный отношению кратности максимального и кратности пускового моментов

$$m_1 = \frac{m_{\kappa}}{m_n}.$$

Параметр  $q$  может быть определен по соотношению

$$q = \frac{\left( \frac{1}{\sqrt{s_{\kappa}}} - \sqrt{s_{\kappa}} \right)^2}{m_1 - 1} - 2.$$

По формуле Клосса механическая характеристика рассчитывается, задаваясь значениями  $s$  от 0 до 0,7, с учетом того, что при:

$$\begin{array}{ll} s = 0 & M_o = 0; \\ s = s_H & M_o = M_n; \\ s = 0,8 & M_o = M_m; \\ s = 1 & M_o = M_n. \end{array}$$

Для построения механической характеристики электродвигателя  $M_o(\omega)$  пересчитывается скольжение на угловую скорость  $\omega$ , в каждой точке по формуле

$$\omega = \omega_0(1 - s).$$

Время разбега и торможения системы под нагрузкой и на холостом ходу, может быть определено на основе уравнения движения электропривода

$$M_o - M_c = M_{изб} = J \frac{d\omega}{dt},$$

где  $M_{изб}$  – избыточный момент системы, Нм;

$\frac{d\omega}{dt}$  – угловое ускорение,  $c^{-2}$ .

Так как аналитическое определение времени разбега  $t_P$  и времени торможения  $t_T$  вследствие нелинейности зависимостей  $M_o(\omega)$  и  $M_c(\omega)$  весьма затруднительно, то они определяются графоаналитическим или графическим интегрированием уравнения движения электропривода. Эти способы основаны на том допущении, что уравнение движения электропривода вместо бесконечно малых приращений скорости и времени подставляются малые конечные приращения и средние значения момента двигателя и момента сопротивления для каждого периода изменения скорости, т.е.:

$$M_o - M_c = J \frac{\Delta \omega}{\Delta t},$$

Для решения задачи по определению времени разбега и торможения системы, следует по графическим зависимостям  $M_o(\omega)$  и  $M_c(\omega)$  построить кривую избыточного момента  $M_{изб}(\omega)$ .

Кривая избыточного момента заменяется ступенчатой с участками, для которых  $M_{изб} = const$  и равен среднему значению  $M_{изб.ср}$ . От числа участков зависит точность расчётов. Точность тем выше, чем на большее число участков разбита кривая  $M_{изб}(\omega)$ .

Для каждого участка, определяется  $\Delta t_i, c$

$$\Delta t_i = J \frac{\Delta \omega_i}{M_{изб.ср}},$$

где  $M_{изб.ср}$  – среднее значение избыточного момента на  $i$ -м участке.

Полное время разбега  $t_n, c$ , определяется как

$$t_n = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta t_i,$$

При одинаковых значениях  $\Delta \omega$  на всех участках полное время разбега  $t_n, c$ , может быть найдено из выражения

$$t_n = J \Delta \omega \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{M_{изб.ср}},$$

где  $n$  – число участков, на которое разбита кривая избыточного момента;

Результаты вычислений сводятся в таблицу 2.4.

Таблица 2.4. – К расчету времени пуска и торможения электропривода

Параметр	Номер участка
----------	---------------

$\Delta\omega_i, 1/c$															
$\omega_i, 1/c$															
$M_{1 \text{ изб ср}}$															
$\Delta t_i, c$															
$t_{п}, c$															

При определении времени пуска графическим методом построение ведется следующим образом. В принятом масштабе  $m_j$  по оси абсцисс откладывается отрезок  $OA$  рисунок пропорциональный приведённому моменту инерции электропривода  $J$

$$OA = \frac{J}{m_j}$$

Полученные на отдельных участках средние значения избыточного момента откладываются вверх по оси ординат. Так для первого участка получена точка  $B_1$ , для второго  $B_2$  и т. д. Отмеченные точки соединяются прямыми с точкой  $A$ . Из начала координат проводится прямая  $OC$  параллельная  $AB_1$ . Прямая  $OC$  характеризует искомую функцию  $\omega(t)$  для первого участка. Аналогично производится построение для последующих участков.

При определении времени пуска графическим методом /1, 2, 3/ масштаб времени  $m_t, \frac{c}{cm}$ , определяется по формуле:

$$m_t = \frac{m_j m_\omega}{m_M},$$

где  $m_M, m_\omega, m_j$  - масштабы моментов  $M_\partial, M_c, M_{изб}$ , угловой скорости и момента инерции.

Время торможения системы определяется аналогично.

Используя зависимости  $M_\partial(\omega)$ ,  $M_c(\omega)$ ,  $M_{изб}(\omega)$  и  $\omega(t)$  строятся нагрузочные диаграммы электропривода при пуске и торможении  $M_\partial(t)$ ,  $M_c(t)$ ,  $M_{изб}(t)$ . Координаты отдельных точек нагрузочных диаграммы электродвигателя определяются как точки пересечения значений времени  $t_i$  из кривой  $\omega(t)$  и значений моментов  $M_\partial, M_c, M_{изб}$  для этих же значений  $\omega$ .

При повторно-кратковременном режиме электродвигатель сильно нагревается вследствие повышенных потерь в период пуска. Чтобы это предотвратить, необходимо выполнить условие

$$h \leq h_{\text{дон}},$$

где  $h$  – число включений электродвигателя в час;

$h_{\text{дон}}$  – допустимое число включений электродвигателя в час.

Число включений электродвигателя в час,  $h$ , определяется по формуле

$$h = \frac{60}{t_p + t_0}$$

где  $t_p$  и  $t_0$  – соответственно продолжительность работы и паузы, *мин.*

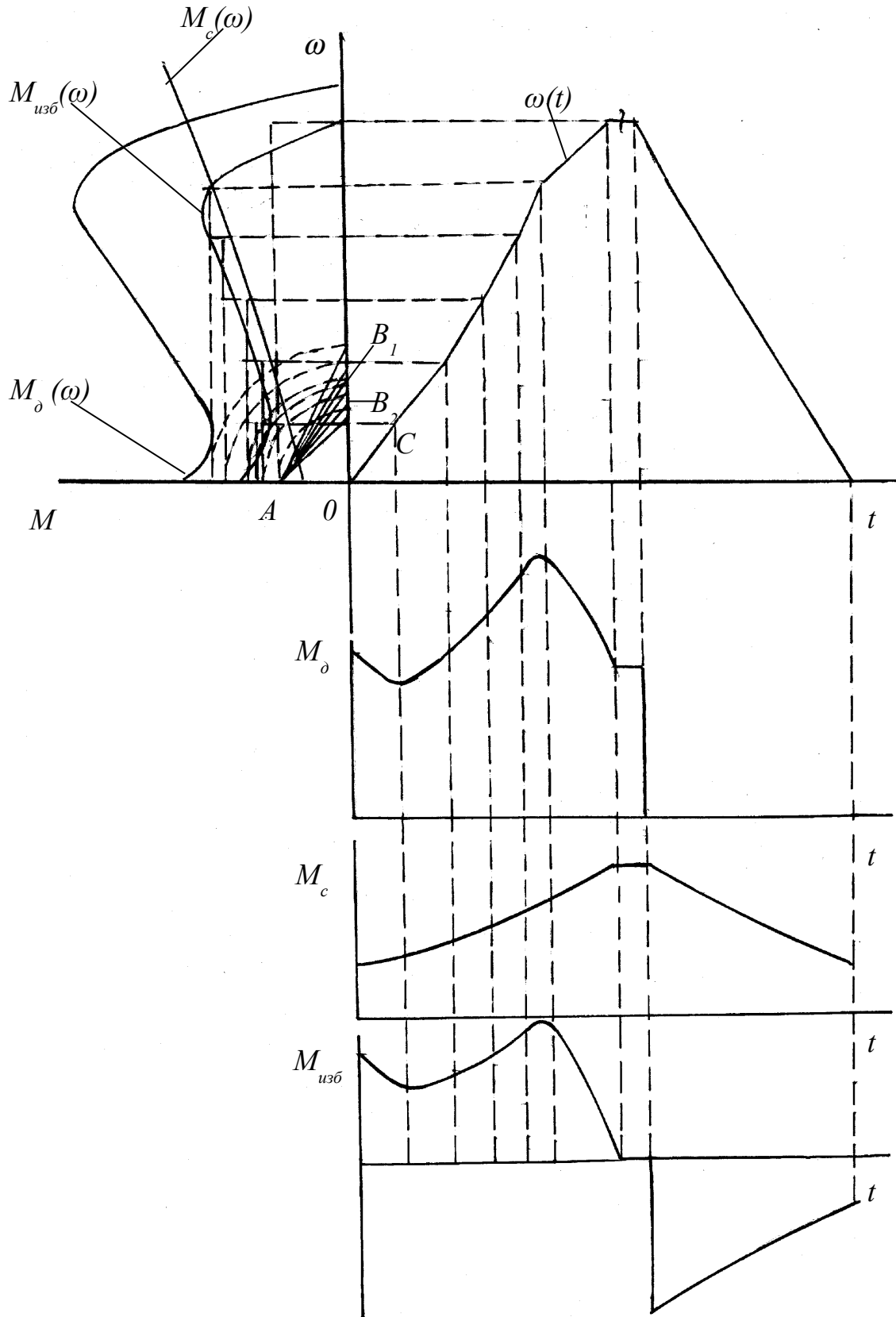


Рисунок – К определению времени пуска и торможения привода рабочей машины. Нагрузочные диаграммы электропривода при пуске работе и торможении



Допустимое число включений электродвигателя в час, исходя из условий допустимого нагревания, рассчитывается по формуле

$$h_{доп} = 3600 \frac{\Delta P_n \beta_o \left(1 - \frac{ПВ\%}{100}\right)}{\Delta A_n},$$

где  $\Delta P_n$  – номинальные электрические потери мощности электродвигателя, Вт;

$A_n$  – потери энергии при пуске электродвигателя, Дж.

Номинальные электрические потери мощности электродвигателя

$$\Delta P_n = P_n \frac{1 - \eta_n}{\eta_n (1 + \alpha)},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, равный отношению постоянных потерь мощности электродвигателя к переменным ( $\alpha = 0,5 - 0,6$ ).

Потери энергии при пуске электродвигателя  $\Delta A_n$ , Дж

$$\Delta A_n = 0,81 \frac{1 - \beta_n}{\beta_n (1 - \alpha)} P_n i_n^2 t_n,$$

где  $i_n$  – кратность пускового тока электродвигателя.

### **Пример 6.**

Рассчитать механическую характеристику электродвигателя 4А80В4У3.

Определить время разбега и торможения системы электродвигатель – скребковый транспортер. Приведенный к валу электродвигателя момент инерции системы  $J = 0,0049 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Решение.

Механическая характеристика электродвигателя рассчитывается по формуле Клосса ( ).

Параметр  $q$  определяется по формуле ( ).

Отношение кратности максимального и пускового моментов

$$m_1 = \frac{2,2}{2} = 1,1,$$

$$q = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{0,34}} - \sqrt{0,34}\right)^2}{1,1 - 1} - 2 = 10,99$$

Расчет сведен в таблицу

Значения моментов электродвигателя при  $S=0$ ,  $S=S_n$ ,  $S=0,8$ ,  $S=1$  определены в примере 4.

Угловая скорость в каждой точке характеристики определена по формуле ( ).

Таблица Механическая характеристика электродвигателя 4А80В4У3

S	0	0,058	0,1	0,34	0,6	0,8	1
$\omega$ , 1/с	1	147,89	125,5	100,48	68,2	31,4	0
$M_d$	0	10,14	19,34	22,31	20,24	16,22	20,28

На рисунке приведены механические характеристики электродвигателя  $M_d = f_1(\omega)$  и скребкового транспортера  $M_c = f_2(\omega)$ , а также  $M_{изб} = f_3(\omega)$ .

Для каждого участка  $\Delta t_i$  определяется по формуле , полное время разбега по формуле

Расчет сведен в таблицу

Таблица Сводные данные расчета времени разбега системы

Параметр	Номер участка														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\Delta\omega$ , 1/с	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12
$\omega$ , 1/с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	152
$M_{i изб ср}$	11,4	10,2	9	8,4	8,8	9,8	11,4	12,4	13,2	13,8	14,3	13,8	13,0	11,8	5,6
$t$ , с	0,0043	0,0048	0,0054	0,0058	0,0056	0,005	0,0043	0,0039	0,0037	0,0036	0,0034	0,0036	0,0038	0,0042	0,0105
	0,0043	0,0091	0,0145	0,0203	0,0259	0,0309	0,0352	0,0391	0,0428	0,0464	0,0498	0,0534	0,0572	0,0614	0,0719

Время торможения системы

$$t_T = 0,0049 \frac{152}{8,21} = 0,091 \text{ с}$$

### К заданию 7.

По условиям нагревания мощность выбранного электродвигателя когда время пуска соизмеримо со временем работы при кратковременной нагрузке проверяется по соотношению

$$P_n \geq \frac{P'_э}{k_m} \quad \text{или} \quad I_n \geq \frac{I'_э}{k_m}.$$

Здесь

$$P'_э = \sqrt{\frac{P_n^2 t_n + P'_э t_P}{0,75 t_n + t_P}},$$

$$I'_э = \sqrt{\frac{I_n^2 t_n + I_P t_P}{0,75 t_n + t_P}},$$

где  $P_n$  – фиктивная пусковая мощность,  $P_n = P_n i_n$ , кВт;

$t_n, t_p$  – соответственно продолжительность пуска электродвигателя и работы, с;

$I_n, I_p$  – соответственно пусковой и рабочий ток электродвигателя, А.

$$I_n = I_n \cdot i_n,$$

здесь  $I_n$  – номинальный ток электродвигателя, А,

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}.$$

При расчете коэффициента тепловой перегрузки учитывается и время пуска, т.е.

$$k_m = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_p + t_n}{T_n}}},$$

$$k_m = \sqrt{k_m + (k_m - 1)\alpha}.$$

Постоянная времени нагревания  $T_n$ , мин, рассчитывается по формуле

$$T_n = 6 \frac{m v_n \eta_n}{P_n (1 - \eta_n)},$$

где  $m$  – масса выбранного электродвигателя, кг;

$v_n$  – номинальное превышение температуры обмотки статора электродвигателя. Для класса изоляции А -  $v_n = 60^\circ\text{C}$ ; Е -  $v_n = 75^\circ\text{C}$ ; В -  $v_n = 80^\circ\text{C}$ ; F -  $v_n = 100^\circ\text{C}$ ; H -  $v_n = 125^\circ\text{C}$ ;

Электродвигатели серии 4А с высотой оси вращения 50...132 мм имеют класс изоляции В, с высотой оси вращения 160...355 мм - F.

При повторно-кратковременном режиме работы мощность выбранного двигателя по условиям нагревания проверяется по соотношению:

$$P_n \geq P_{\text{э}}' \text{ или } I_n \geq I_{\text{э}}'$$

где

$$P_{\text{э}}' = \sqrt{\frac{P_n^2 t_n + P_{\text{э}}^2 t_p}{0,75 t_n + t_p + 0,5 t_o}},$$

$$I_{\text{э}}' = \sqrt{\frac{I_n^2 t_n + I_{\text{э}}^2 t_p}{0,75 t_n + t_p + 0,5 t_o}}.$$

**К заданию 8.**

Активная, реактивная и полная мощности, потребляемые электродвигателем из сети, определяются по известным формулам с учетом коэффициента загрузки. Для определения КПД  $\eta_3$  и  $\text{Cos}\varphi_3$  электродвигателя по каталожным данным строятся графики  $\text{Cos}\varphi(k_3)$  и  $\eta(k_3)$ . Здесь  $k_3$  – коэффициент загрузки двигателя, равный:

$$k_3 = \frac{P_3}{P_H}$$

Максимальная активная мощность,  $P_{max}$ , кВт,

$$P_{max} = \frac{P_H}{\eta_3} \cdot k_3.$$

Максимальная полная мощность,  $S_{max}$ , кВА

$$S_{max} = \frac{P_{max}}{\text{Cos}\varphi_3}.$$

Максимальная реактивная мощность,  $Q_{max}$ , кВАр

$$Q_{max} = \sqrt{S_{max}^2 - P_{max}^2}.$$

Если в каталоге в технических данных электродвигателей не приводятся значения  $\eta_3$  и  $\text{Cos}\varphi_3$  при равных коэффициентах загрузки, то они определяются аналитически.

Коэффициент полезного действия  $\eta_3$  рассчитывается по формуле, приведенной в задании 3.

Коэффициент мощности  $\text{Cos}\varphi_3$  рассчитывается по формуле

$$\text{Cos}\varphi_3 = \frac{I}{\sqrt{1 + \text{tg}^2\varphi_H \left[ \frac{1 + k_3^2 f_P}{(1 + f_P) \cdot \left( k_3 \eta_H + \frac{(1 - \eta_H) \cdot (f_\alpha + k_3^2)}{1 + f_\alpha} \right)} \right]}}.$$

где  $f_P$  - коэффициент формы кривой  $\text{Cos}\varphi$ .

$$f_p = \frac{1}{1 - \frac{1}{2 \operatorname{tg} \varphi_n m_k}} - 1.$$

### К заданию 9.

Прежде чем приступить к разработке функциональной, принципиальной схем и схемы электрических соединений надо выполнить следующее:

- изучить технологический процесс;
- ознакомиться с оборудованием, с помощью которого осуществляется технологический процесс;
- освоить порядок функционирования отдельных узлов и объекта в целом;
- освоить систему условных обозначений и маркировки в схемах.

Основные требования, предъявляемые к схемам управления электроприводами можно разделить на 3 группы:

- технологические;
- безопасности;
- надежности;

#### ***Технологические требования:***

– Для наладочных и ремонтных работ в схемах необходимо предусмотреть деблокировочные режимы, обеспечивающие включения отдельных электродвигателей, обычно работающих в потоке. Если в поточной линии малое число приводов, то при наладке разрешается включать всю линию.

– Электродвигатели всех машин и механизмов поточной линии пускают в последовательности, направленной против движения продукта, а останавливают в последовательности, совпадающей с направлением движения продукта.

– Для остановки всей поточной линии необходимо сначала остановить головной механизм, обеспечивающий прекращение подачи продукта на поточную линию, затем с выдержкой времени - все машины, полностью освободившиеся от продукта.

#### ***Требования безопасности:***

– Пуску автоматизированного электропривода поточной линии должен предшествовать предупредительный звуковой или световой сигнал (или оба).

– Схема должна предусматривать аварийную остановку всех машин и механизмов. Если помещение протяженное, то кнопки аварийного отключения должны быть в разных местах.

– Схемы должны иметь блокировки от неправильного включения и отключения электрических цепей.

– В схемах управления могут использоваться защитно - отключающие

устройства.

***Требования надежности:***

– Для устойчивой работы электропривода, а также во избежание недопустимых снижений напряжения схемы последовательного (каскадного) включения электроприводов должны быть рассчитаны на предельно - допустимую мощность, одновременно включаемых двигателей.

– В схемах должна быть предусмотрена защита электрооборудования от к.з., перегрузок.

– Схемы должны быть простыми и надежными. В них рекомендуется применять одноступенчатые средства автоматизации с наименьшим числом элементов. Надежность повышается, если выполнены все необходимые электрические и механические блокировки.

– Схемы управления должны обеспечивать достаточную гибкость и удобство управления, т.е. должны быть обеспечены простые переходы к управлению во всех предусмотренных режимах.

– Схемы управления должны иметь сигнализацию нормального состояния элементов, предупредительную, аварийную.

– Электрические схемы управления должны быть составлены таким образом, чтобы было удобно контролировать неисправность системы и быстро находить повреждения. Для этого сложные схемы разбивают на отдельные секции и питают через секционирующие предохранители и автоматические выключатели.

– Выбор коммутационной аппаратуры должен производиться с учетом режима работы, размещения и условий окружающей среды .

– Схемы должны быть выполнены с учетом удобства монтажа.

Функциональная схема автоматизации является основным документом, определяющим объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов автоматизируемого объекта.

Функциональная схема представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между ними.

На функциональных схемах не показывают источники питания, автоматические выключатели, предохранители, реле, соединительные коробки.

У изображения технологического оборудования и отдельных его элементов указываются их наименование и номер, а стрелками показывается направление потока.

Условные обозначения приборов и средств автоматизации на функциональных схемах выполняются в соответствии с действующими стандартами.

Щиты и пульты управления на функциональных схемах изображаются условно в виде прямоугольников произвольных размеров, достаточных для нанесения графических условных обозначений

устанавливаемых на них приборов, средств автоматизации, аппаратуры управления и сигнализации.

Функциональные связи между имеющимися на технологическом оборудовании первичными преобразователями и средствами автоматизации и установленными на щитах и пультах показываются сплошными тонкими линиями. К условным обозначениям приборов и средств автоматизации линии связи допускается подводить с любой стороны в том числе сбоку и под углом. Допускается пересечение линиями связи оборудования, а условные обозначения приборов и средств автоматизации пересекать нельзя. Допускается прерывать линии связи, идущие от средств автоматизации и оборудования к щитам или пультам и выходящие из щитов и пультов. Прерванные линии связи обозначаются арабскими цифрами, причем линии связи, выходящие из шкафов и пультов управления, обозначаются цифрами 1, 2, 3, 4, 5 и т.д. (в направлении слева направо), нумерация линий связи, идущих к шкафам и пультам, может быть в любой последовательности (4, 1, 3, и т.д.).

Процесс разработки принципиальных электрических схем зависит от опыта и интуиции разработчика. Опыт позволяет находить для данного случая типовые, стандартные решения, а интуиция – новые.

Наряду с «интуитивным» методом разработки принципиальных схем в последнее время применяются методы, основанные на применении алгебры логики.

Принципиальные схемы разрабатываются в такой последовательности:

- на основании технологической и функциональной схем оставляются технические требования к принципиальной электрической схеме, техническое задание;
- применительно к этим требованиям устанавливается последовательность действия элементов схемы;
- выбираются типовые решения (элементарные типовые звенья);
- элементарные типовые звенья объединяют в общую схему;
- выбирают аппаратуру защиты и управления;
- принимают окончательное решение применительно к имеющейся аппаратуре;
- проверяют схему с точки зрения отсутствия ложных цепей;
- разработанную схему проверяют на макете или опытной установке.

На принципиальных схемах показываются силовые цепи и цепи управления. Элементы на схеме изображаются в виде условных графических обозначений, установленных в действующих стандартах ЕСКД ГОСТ 2.721 – 74, 2.722 – 68, 2.723 – 68, 2.725-68...2.756-68 и т.д.

Примеры условных графических обозначений приведены в приложении 2. Буквенно-цифровое обозначение элементов на принципиальных электрических схемах выполняется в соответствии с приложением 4 и проставляется над графическим изображением элемента,

если он находится в горизонтальной строке и справа от графического изображения элемента, расположенного в вертикальной строке.

При вычерчивании принципиальной электрической схемы все контакты и катушки располагают по нескольким вертикальным линиям, причем катушки, лампы должны быть присоединены к правой линии питания, а контакты – к левой.

Пояснения о функциональных назначениях цепей или элементов помещают в прямоугольниках справа от них. Расстояние между линией связи и прямоугольником принимается равным 10...15 мм.

Если по принципиальным электрическим схемам разрабатываются схемы соединений, то в них обозначаются участки цепи в соответствии с ГОСТ 2.709-72.

Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле, приборов, машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Последовательность обозначения от ввода источника питания к потребителю, а в разветвляющихся участках цепи сверху вниз в направлении слева направо.

При обозначении цепей применяются арабские цифры и прописные буквы латинского алфавита. Буквы и цифры выполняются шрифтом одного размера.

В силовых цепях переменного тока используются обозначения L1, L2, L3 и N и последовательные числа. Цепи управления, защиты, сигнализации, автоматики, измерения обозначаются последовательными числами.

На схеме обозначения проставляют в конце или в середине участка цепи при вертикальном расположении цепей – слева от изображения цепи; при горизонтальном расположении цепей – над изображениями цепи. Допускается проставлять обозначение под изображением цепи.

Режим работы схемы управления электроприводом (ручной дистанционный или автоматизированный) задается положением ручек универсальных переключателей, диаграммой замыкания направлений.

Подача напряжения в схему должна предшествовать предупредительная сигнализация.

При ручном дистанционном управлении первоначальный импульс на включение подается нажатием на кнопку имеющую замыкающий контакт с самовозвратом, если привод включается по программе, то импульс на включение подается контактом программного аппарата.

Для управления переключениями в силовых цепях используются магнитные пускатели.

Включение машин в заданной последовательности осуществляется с помощью блокировок в цепях управления катушками магнитных пускателей (замыкающий контакт КМ1 в цепи катушки пускателя КМ2 и т.д.)

Необходимые выдержки времени производятся с помощью реле времени.

Управление электродвигателем в функции пути, пройденного исполнительным механизмом, выполняется с помощью путевых или



конечных выключателей.

В схемах управления поточными линиями при срабатывании датчиков или нажатием оператором на кнопку «Рабочий стоп» отключается механизм, подающий материал в поточную линию, дается выдержка времени для очистки тракта от продукта, затем отключаются все машины.

Для удобства наблюдения за работой машин или механизмов составляются цепи сигнализации.

Для защиты электродвигателей от токов короткого замыкания рекомендуется использовать автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями. Тепловая защита электродвигателей может быть произведена тепловыми расцепителями автоматических выключателей или тепловыми реле магнитных пускателей. Защита электродвигателей от обрыва фаз питающей сети или большой несимметрии напряжений может быть осуществлена реле напряжения, включенном между нулевой точкой звезды обмотки статора электродвигателя и нулевым проводом сети, а также с использованием других специальных схем и реле.

Защита от самопроизвольного включения двигателей (нулевая) осуществляется катушками магнитных пускателей или реле напряжения. Защита цепей управления и сигнализации производится плавкими предохранителями или автоматическими выключателями.

В общем случае аппараты управления схемы могут быть размещены в силовых шкафах (автоматические выключатели, магнитные пускатели), шкафах автоматики (программные реле, реле времени, промежуточные реле), пультах управления и сигнализации (кнопки управления, универсальные переключатели, сигнальные лампы). При небольшом количестве пусковой, защитной и другой аппаратуры все устройства могут быть расположены в одном шкафу. Пульты управления и сигнализации следует располагать в производственных помещениях вблизи привода рабочей машины. Силовые шкафы и шкафы автоматики рекомендуется располагать в отдельных помещениях, изолированных от вредного влияния на аппараты среды помещений.

При разработке шкафа управления аппараты нужно располагать так, чтобы обеспечивать:

- удобство и безопасность обслуживания;
- удобство наблюдения за работой аппаратов;
- удобство подключения внешних соединений;
- доступ к контактным соединениям;
- удобство ремонта и монтажа;
- исключение возможности взаимного влияния аппаратов (переброс электрической дуги, передача механических сотрясений, вызывающих ложные срабатывания и регулировку аппаратов, взаимная индуктивность и др.)

Аппараты ручного управления (автоматические выключатели, рубильники, переключатели, кнопки и т.п.) рекомендуется размещать на высоте не более 1800 мм и не менее 600 мм от пола до органа управления.

Если аппараты включаются редко, то их разрешается устанавливать в зоне 300...2000 мм.

Реле времени, реле максимального тока, реле напряжения и другие аппараты, требующие регулировки, рекомендуется также устанавливать на удобной для обслуживания высоте 600...1800 мм.

Измерительные приборы, за которыми требуется постоянное наблюдение, следует устанавливать так, чтобы шкала каждого из приборов находилась на высоте 700...1800 мм от уровня пола.

Приборы, по которым должны производиться точные отсчеты, должны устанавливаться на высоте 1200...1600 мм.

Приборы, которые не требуют постоянного наблюдения, могут располагаться на высоте 300...2100 мм.

Аппараты в низковольтных комплектных устройствах (НКУ) следует размещать в пределах полезной площади панели с учетом следующего:

- контакты, элементы регулировки и другие регулярно обслуживаемые части должны находиться на высоте 400...2000 мм;
- выводы аппаратов, к которым подсоединяются внешние кабели на ток до 160 А, должны находиться на высоте не менее 300 мм, на ток свыше 160 А - на высоте не менее 400 мм;
- дроссели, трансформаторы, реакторы могут устанавливаться на любой высоте;
- силовые аппараты рекомендуется располагать таким образом, чтобы длина силовых проводов и шин была минимальной, чтобы обеспечивалось удобство подключения внешних силовых кабелей и, чтобы по возможности исключалось пересечение шин и проводов на ток свыше 160 А.

При размещении аппаратов на панели необходимо пользоваться зонами аппаратов.

Размер зоны определяется габаритными размерами аппарата, а также дополнительными расстояниями сверху, снизу, слева и справа от аппарата, необходимыми для подсоединения к аппарату проводников, размещения маркировки на их концах, размещения горизонтальных проводов по панели, а также обслуживания аппаратов в эксплуатации. Поэтому на чертежах общих видов можно располагать зоны аппаратов вплотную друг к другу.

Исходные данные, принятые при определении размеров зон:

- для монтажа цепей управления и силовых цепей на ток до 25 А (сечение провода не более 2,5 мм) оставляется пространство в 30 мм на каждую сторону аппарата, на которой имеются выводы, для маркировки концов проводов и их изгиба;
- для силовых проводников монтажная зона определяется как сумма длины хвостовика кабельного наконечника и радиуса изгиба провода.

Радиус изгиба принят равным трем диаметрам провода на ток до 100 А и пяти диаметрам провода на ток более 100 А.

Для наиболее часто применяемых аппаратов предусмотрено несколько размеров зон по высоте. Предпочтение нужно отдавать меньшему размеру, но если в одном ряду устанавливаются аппараты с разной высотой зоны, то можно выбирать любой из трех размеров зоны.

На чертеже общего вида шкафа управления (выполненного в масштабе 1:10) должны быть показаны:

- расположение аппаратов, мнемонических знаков и линий, соединяющих их;
- установочные размеры аппаратов, мнемознаков и линий;
- высота щита, длина секций и ширина каждой панели;
- цвет панели и цвета мнемознаков и мнемолиний.

При нанесении установочных размеров аппаратов на панели за базу должен приниматься нижний левый угол полезной площади панели.

При нанесении установочных размеров аппаратов на двери шкафа и крышке пульта за базу должен приниматься верхний левый угол полезной площади двери шкафа или крышки пульта.

Блоки и отдельные аппараты показываются прямоугольниками в размерах их зон.

В контуре прямоугольника или рядом с ним указывается обозначение аппарата по принципиальной электрической схеме. На полках выносных вне контура прямоугольника или изображения аппарата указываются позиции в соответствии с заказной спецификацией.

На видном месте возле каждого аппарата должны быть показаны таблички для оперативных надписей. Все таблички должны иметь сквозную нумерацию в пределах щита в направлении слева направо и сверху вниз. Допускается нумерация табличек по технологическим признакам.

Схемы соединений (монтажные) составляются для каждого шкафа в отдельности.

Устройства на схемах соединений изображаются в виде прямоугольников или упрощенных внешних очертаний сплошными тонкими линиями, элементы устройств – в виде условных графических обозначений, прямоугольников или внешних очертаний. Входные и выходные элементы изображаются в виде условных графических обозначений. Расположение графических обозначений элементов, входных и выходных зажимов должно примерно соответствовать их размещению в устройстве.

Каждому зажиму аппарата присваивается свой номер, который может на самом аппарате отсутствовать. Номер показывается внутри зажимов. Условная маркировка выполняется по схеме:

- главные контакты маркируются однозначными числами, начиная с единицы;
- вспомогательные контакты – двухзначными числами. Первая цифра обозначает порядковый контакта в пределах одного аппарата. Вторая

цифра отражает вид контакта: 1–2 размыкающий контакт, 3–4 замыкающий контакт.

В приложении приведены схемы соединений некоторых аппаратов. По аналогии с ними можно составить монтажную схему (символ) любого аппарата.

При составлении схем соединений нужно помнить:

- присоединять провода нужно только к зажимам аппаратов, электрических машин, приборов или к блокам зажимов;
- к одному зажиму присоединять не более двух проводов;
- в пределах одной панели все разветвления проводов между аппаратами рекомендуется делать на зажимах аппаратов и не применять промежуточные зажимы;
- не допускать соединений проводов помимо зажимов, например, путем скрутки или пайки,
- отдельные аппараты, расположенные на различных панелях, должны быть соединены только через блоки зажимов. Исключение составляет только соединение амперметра с шунтом, которое должно быть показано методом встречных адресов, минуя блоки зажимов.
- при заполнении блоков зажимов необходимо:
- зажимы с напряжением 380В и выше располагать на отдельных клеммах;
- если невозможно разделить клеммы по напряжению, между зажимами с различным напряжением следует предусмотреть одну свободную клемму;
- все зажимы цепей управления следует размещать в порядке возрастания маркировки сверху вниз и слева направо. При этом все зажимы надо разбить по группам в зависимости от полярности и одну группу от другой отделить свободной клеммой.
- в практике пользуются тремя способами исполнения схем соединений:
  - способ многолинейных соединений;
  - табличный;
  - способ встречной маркировки.

На схемах соединений, выполненных многолинейным способом, все провода изображаются линиями. Толщина линий, изображающих провода, жгуты и кабели, на схемах должны быть от 0,4 до 1 мм.

Для упрощения начертания схемы допускается сливать отдельные провода или кабели, идущие на схеме в одном направлении, и общую линию. При подходе к контактам их изображают отдельной линией.

Схемы соединений с указанием трасс прокладываемых линий связи выполняются при относительной простоте соединений, малом числе монтируемых элементов, свободном просматривании линий связи между присоединяемыми выводами элементов или если важно точное расположение связи на монтируемом устройстве. На сложной схеме это

сделать трудно. Схемы соединений шкафов, панелей, блоков, пультов управления, как правило, вычерчивают без изображений линий связи. Монтаж в этом случае выполняют по адресным таблицам, которые разрабатываются одновременно со схемами. На таких схемах соединений трассы прокладки проводов (жгутов и кабелей) устанавливают электромонтажники с учетом кратчайших расстояний между соединяемыми выводами устанавливаемых элементов.

Таблицу соединений помещают на первом листе схемы над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от нее, продолжение таблицы помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы. Таблица соединений может быть оформлена на формате 4А. Основную надпись выполняют по ГОСТ 2.104–68 (форма 2 и 2а).

Форму таблицы выбирает разработчик.

#### Формы таблиц соединений

Форма 2

Обозначение провода	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание

8 min

20
50
50
30
35

#### Форма 2

Обозначение провода	Откуда идет		Куда поступает		Данные провода	Примечание

8 min

20
25
25
25
25
30
35

Форма 2а

Обозначение провода	Соединение	Данные провода	Примечание

8 min

20
100
30
35

К заданию 10.

Выбор аппаратов защиты электрических цепей производится по следующим основным параметрам:

- номинальному напряжению;

- номинальному току;
- предельной коммутационной способности;
- селективности.

При этом должны выполняться условия

$$U_{н ап} \geq U_n;$$

$$I_{н ап} \geq I_p;$$

$$I_{откл ап} > I_k^{(3)};$$

где  $U_{н ап}; U_n$  – соответственно номинальное напряжение аппарата и сети, В;

$I_{н ап}; I_p$  – соответственно номинальный ток аппарата и расчетный ток потребителей, А;

$I_{откл ап}$  – максимальное значение тока короткого замыкания, которое аппарат способен отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии, А (это значение тока к. з. называют предельной коммутационной способностью выключателя, ПКС).

$I_k^{(3)}$  – максимально возможное значение трехфазного тока короткого замыкания в месте установки аппарата, А.

Расчетный ток для одиночного потребителя:

$$I_p = I_n,$$

где  $I_n$  – номинальный ток электродвигателя, А.

Расчетный ток для группы электродвигателей определяется исходя из условий одновременной их работы в технологическом цикле:

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_{н i}$$

где  $\sum_{i=1}^n I_{н i}$  – максимальная сумма номинальных токов одновременно работающих  $n$  электродвигателей, А.

Условия выбора предохранителей:

$$U_{н пр} \geq U_n;$$

$$I_{н пр} \geq I_p;$$

Номинальный ток плавкой вставки  $I_e$ , А, для защиты электродвигателя:

$$I_{\epsilon} \geq \frac{I_n}{\alpha};$$

Номинальный ток плавкой вставки для защиты группы электродвигателей:

$$I_{\epsilon} \geq \frac{I_{n_{нб}}}{\alpha} + \sum_{i=1}^n I_{H_i},$$

где  $I_{n_{нб}}$  - пусковой ток электродвигателя наибольшей мощности в группе электродвигателей, А;

$\sum_{i=1}^n I_{H_i}$  - сумма номинальных токов  $n$  электродвигателей, работающих

одновременно в момент включения двигателя наибольшей мощности, А;

$\alpha$  - коэффициент, зависящий от условий пуска.

При времени пуска 2 – 5 с (пуск легкий)  $\alpha = 2,5$ , для тяжелых условий пуска (около 10с)  $\alpha = 1,6 - 2$ .

Селективная работа предохранителей будет обеспечена, если номинальные токи плавких вставок одноступенчатых предохранителей, включенных последовательно, различают между собой не менее чем на 2 ступени.

Для одноступенчатых предохранителей селективность проверяется сопоставлением их защитных характеристик с учетом 25%-ного, а в ответственных случаях – 50%-ного разброса по времени срабатывания (22). Зоны возможных характеристик, построенные с учетом этих разбросов, не должны накладываться или пересекаться в пределах токов от номинального до максимально возможного, или по крайней мере до наиболее вероятного тока к.з.  $I_{кз}^{(3)}$  за нижестоящим предохранителем. На практике зоны не строят, а сопоставляют время плавления плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания  $t_{\delta}$ , и время плавления плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к нагрузке  $t_m$ . Селективность обеспечивается, если выполняются условия: при учете 25%-ного разброса  $t_{\delta} > 1,7t_m$ ; при учете 50%-ного разброса  $t_{\delta} > 3t_m$ . Известен также метод проверки селективности сопоставления сечений плавких вставок. В этом случае селективность проверяют следующим образом (22).

Определяют отношение сечений двух последовательно установленных плавких вставок по формуле:

$$a = \frac{F_1}{F_2},$$

где  $F_1$  - сечение плавкой вставки, расположенной ближе к источнику

питания;

$F_2$  – сечение плавкой вставки, расположенной дальше от источника питания, то есть ближе к нагрузке.

Полученное значение  $a$  сравнивают с данными таблицы 2, где приведены наименьшие значения  $a$ , при которых обеспечивается селективность. Селективность защиты будет обеспечена, если расчетное  $a$  равно табличному или больше него.

Если предохранители находятся на разных ступенях напряжения, то сечение плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания, нужно привести к напряжению предохранителя, расположенного ближе к нагрузке, по формуле:

$$a = \frac{F_1}{F_2} k_T,$$

где  $k_T$  – коэффициент трансформации.

Таблица 2.5 – Значения коэффициента  $a$ , при котором обеспечивается селективность защиты

Металл плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания (для любого типа предохранителя)	Отношение $a$ сечений плавких вставок смежных предохранителей, если предохранитель, расположенный ближе к нагрузке, изготовлен:							
	С заполнителем при плавкой вставке из:				Без заполнителя при плавкой вставке из:			
	меди	серебр а	цинка	свинца	меди	серебр а	цинка	свинца
Медь	1,55	1,33	0,55	0,2	1,15	1,03	0,4	0,15
Серебро	1,72	1,55	0,62	0,23	1,33	1,15	0,46	0,17
Цинк	4,5	3,95	1,65	0,6	3,5	3,06	1,2	0,44
Свинец	12,4	10,8	4,5	1,65	9,5	8,4	3,3	1,2

Автоматические выключатели выбирают исходя из следующих условий:

$$U_{на} \geq U_n;$$

$$I_{на} \geq I_p$$

$$I_{нрасц} \geq I_p$$

$$I_{со} \geq k_n \cdot I_{max}$$

где  $U_{на}, U_n$ ; – соответственно номинальное напряжение автоматического выключателя и сети, В;

$I_{на}$  - номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{нрасц}$  - номинальный ток расцепителя, А;

$I_{со}$  - ток срабатывания отсечки, А;



$k_n$  - коэффициент надежности;

$I_{max}$  - максимальный ток в линии, питающей потребителя, А.

Для одного электродвигателя:

$$I_{max} = I_n$$

Для группы электродвигателей:

$$I_{max} = I_{n_{нб}} + \sum_{i=1}^m I_{n_i}$$

Тепловые расцепители автоматических выключателей откалиброваны для температуры окружающей среды  $40^{\circ}\text{C}$ . если температура окружающей среды  $t$  не равна  $40^{\circ}\text{C}$ , то номинальный ток теплового расцепителя  $I_{н\text{ расц}}$  и ток срабатывания защиты от перегрузки  $I_{с\text{ о}}$  определяются по формулам:

$$I_{н\text{ расц}t^{\circ}} = \left[ 1 + k_t(40^{\circ}) - t \right] \cdot I_{н\text{ расц}40^{\circ}}$$

$$I_{с\text{ н}t^{\circ}} = \left[ 1 + k_t(40^{\circ} - t) \right] \cdot I_{с\text{ н}40^{\circ}}$$

где  $k_t$  – температурный коэффициент.

Автоматические выключатели серии ВА имеют регулировку номинального тока тепловых расцепителей в пределах  $(0,8...1,0) I_{н\text{ расц}}$ ; серии АП(%) Б –  $(0,6...1,0) I_{н\text{ расц}}$ .

При выборе номинальных токов тепловых расцепителей должно выполняться условие:

Для автоматических выключателей типа ВА

$$0,8I_{н\text{ расц}} \leq I_p \leq I_{н\text{ расц}}$$

Для автоматических выключателей типа АП50Б

$$0,6I_{н\text{ расц}} \leq I_p \leq I_{н\text{ расц}}$$

Это дает возможность получать ток уставки,  $I_y$  равным расчетному току, т.е.

$$I_y = I_p.$$

Для согласования с токами отсечек автоматических выключателей отходящих от щита линий с целью предотвращения отключения автоматического выключателя, защищающего линию питания щита при коротком замыкании за выключателем отходящей линии, когда обе защиты находятся на грани срабатывания, должно выполняться условие:

$$I_{с\text{ о}} \geq k_{нс} I_{с\text{ о}л}$$

где  $I_{с\text{ о}}$  - ток отсечки автоматического выключателя, защищающего линию питания щита, А;

$k_{нс}$  - коэффициент надежности согласования, принимается равным  $1,3...1,5$ ;

$I_{co.l}$  - наибольший из токов срабатывания отсечек автоматических выключателей отходящих линий; при параллельной работе линий принимается равным сумме токов срабатывания отсечек этих линий.

Селективность предохранителей и автоматических выключателей проверяется путем сопоставления их защитных характеристик.

Для каждого аппарата цепи управления определяются токи, потребляемые ими при включении и при удержании. Мощности, потребляемые втягивающими катушками, приводятся в справочниках.

Аппараты цепи управления, как правило, не все одновременно включаются или включены, что обусловлено требованиями технологического процесса. Поэтому выявляются все возможные варианты работы аппаратов. Для каждого варианта определяются расчетный  $I_p$  и максимальный  $I_{max}$  токи, протекающие на участке, где установлен защитный аппарат:

$$I_{p_i} = \sum_{i=1}^m I_{уд_i} + \sum_{j=1}^n I_{уд_j}$$

$$I_{max_i} = \sum_{j=1}^n I_{вкл_j} + \sum_{i=1}^m I_{уд_i}$$

где  $\sum_{i=1}^m I_{уд_i}, \sum_{j=1}^n I_{уд_j}$  – сумма токов, протекающих через катушки при удержании  $m$  ранее включенных аппаратов и  $n$  аппаратов включающихся;

$\sum_{j=1}^n I_{вкл_j}$  - сумма токов, протекающих через  $n$  аппаратов при включении.

Из рассмотренных вариантов выявляется наибольшее значение токов  $I_p$  и  $I_{max}$ .

При выборе автоматического выключателя для защиты цепей управления должны соблюдаться условия:

$$I_{на} \geq I_{p_i}$$

$$I_{нр} \geq I_{p_i}$$

$$I_{co} \geq k_n I_{max_i}$$

Если принят предохранитель, то

$$I_{\epsilon} \geq 0,4 I_{max_i}.$$

Пускатели магнитные выбираются по:

- номинальному току главной цепи;
- электрическому исполнению (реверсивные, нереверсивные);
- защищенности (открытое исполнение – IP00, в оболочке – IP54);
- наличию тепловых реле (без реле, с реле);
- наличие кнопок управления и сигнальной лампы, встроенной в оболочку пускателя;
- числу контактов вспомогательной цепи;
- номинальному напряжению втягивающих катушек;
- области применения (для частых и нечастых включений);

В релейно-контактных схемах управления производственными процессами применяют различного рода электрические реле переменного и постоянного тока. Реле выбирают по:

- назначению;
- напряжению и току обмотки;
- типу;
- длительно допустимому току и коммутационной способности контактов.

При выборе из числа нескольких типов технически равноценных для данной схемы реле следует учитывать их габариты и стоимость.

В бесконтактных схемах широко используются микросхемы. В основном применяются логические микросхемы серий К155, К176, К511, К561. Применение пассивных элементов электроники (резисторы, конденсаторы и т.д.) связано с условиями окружающей среды и максимальными электрическими параметрами. Это необходимо учитывать при их выборе. Использование силовых полупроводниковых приборов (тиристоров, транзисторов) связано с максимальными электрическими режимами. Проверяют максимальную расчетную рассеивающую мощность полупроводникового прибора и при необходимости устанавливают его на охладитель.

В электрических схемах для оповещения обслуживающего персонала о техническом состоянии и положении включающих и отключающих аппаратов, последовательности технологических операций и аварийном состоянии применяют сигнализацию. Сигнализация может быть световая (лампы), звуковая (звонок, сирена, ревун) и визуальная (токовые указательные реле). Технические данные некоторых аппаратов сигнализации приведены в приложении.

Перечень выбранного электрооборудования сводится в спецификации, пример заполнения которой приведен в приложении 9.

### ***Пример 7***

Для электрической принципиальной схемы управления линией измельчения корнеплодов (см. приложение ) выбрать автоматические выключатели и магнитные пускатели.

Каталожные данные электродвигателей

*M1: 4A132S4Y1*  $P_n=7,5$  кВт;  $\eta_n=0,875$ ,  $\cos\varphi_n=0,86$ ;  $m_n=2,2$ ;  $m_m=1,7$ ;  $m_k=3$ ;  $s_n=2,9\%$ ;  $s_k=19,5\%$ ;  $i_n=7,5$   $J_d=0,028$  кг·м<sup>2</sup>.

*M2: 4A80B4Y1*  $P_n=1,5$  кВт;  $\eta_n=0,77$ ,  $\cos\varphi_n=0,83$ ;  $m_n=2$ ;  $m_m=1,6$ ;  $m_k=2,2$ ;  $s_n=5,8\%$ ;  $s_k=34\%$ ;  $i_n=5$   $J_d=0,0033$  кг·м<sup>2</sup>.

*M3: 4A80A4Y1*  $P_n=1,1$  кВт;  $\eta_n=0,75$ ,  $\cos\varphi_n=0,81$ ;  $m_n=2$ ;  $m_m=1,6$ ;  $m_k=2,2$ ;  $s_n=5,4\%$ ;  $s_k=34\%$ ;  $i_n=5$   $J_d=0,032$  кг·м<sup>2</sup>.

Решение.

Номинальные и пусковые токи электродвигателей определяются по формулам

$$I_{n1} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,875 \cdot 0,86} = 15,16 \text{ A}$$

$$I_{n1} = 7,5 \cdot 15,6 = 113,71 \text{ A}$$

$$I_{n2} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,77 \cdot 0,83} = 3,57 \text{ A}$$

$$I_{n2} = 5 \cdot 3,57 = 17,85 \text{ A}$$

$$I_{n3} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,75 \cdot 0,81} = 2,75 \text{ A}$$

$$I_{n3} = 5 \cdot 2,75 = 13,77 \text{ A.}$$

Автоматические выключатели выбираются из условий(), принимаются автоматические выключатели типа *ВА51*. Коэффициент надёжности отстройки отсечки от пускового тока электродвигателя  $k_n=2,1$ .

*QF1:*

$$I_p=I_{n1}=15,16 \text{ A.}$$

$$I_{max}=I_n=113,71 \text{ A.}$$

$$k_n I_{max}=2,1 \cdot 113,71=238,79 \text{ A.}$$

$$\text{ВА51Г25, } I_n=25 \text{ A, } I_{n \text{ расц}}=16 \text{ A, } I_{co}=14 I_{n \text{ расц}}=14 \cdot 16=224 \text{ A.}$$

Для данного автоматического выключателя не выполняется условие . Поэтому принимается *ВА51Г25*,  $I_n=25 \text{ A}$ ,  $I_{n \text{ расц}}=20 \text{ A}$ ,  $I_{co}=14 I_{n \text{ расц}}=14 \cdot 20=280 \text{ A}$ .

Проверка условий выбора

$$25 > 15,16$$

$$20 > 15,16$$

$$280 > 224.$$

*QF2:*

$$I_p = I_{n2} + I_{n3} = 3,57 + 2,75 = 6,32 \text{ A}$$

$$I_{max} = I_{n2} + I_{n3} = 3,57 + 13,77 = 17,34 \text{ A}$$

$$k_n I_{max} = 2,1 \cdot 17,34 = 36,41 \text{ A.}$$

Принимается автоматический выключатель ВА51Г25,  $I_n = 25 \text{ A}$ ,  $I_{н расц} = 8 \text{ A}$ ,  $I_{co} = 14 I_{н расц} = 14 \cdot 8 = 112 \text{ A}$ .

Проверка условий выбора

$$25 > 6,32$$

$$20 > 6,32$$

$$112 > 36,41.$$

Пускатели магнитные выбираются серии ПМЛ.

КМ1:

ПМЛ 221002 с реле РТЛ-1021 и контактной приставкой ПКЛ-2204.

КМ2:

ПМЛ121002 с реле РТЛ-1008 и контактной приставкой ПКЛ-2204.

КМ3:

ПМЛ 121002.

К заданию 11.

Эффективность применения схем управления определяется по показателям надежности и экономическим характеристикам.

Электропривод относится к восстанавливаемым объектам и поэтому основными показателями надежности являются: вероятность безотказной работы на определенное время работы, интенсивность отказов, коэффициент готовности.

Вероятность безотказной работы на  $t$  часов наработки определяется по формуле:

$$P_{cx} = e^{-t \cdot \lambda_{cx}}$$

где  $\lambda_{cx}$  - интенсивность потока отказов схемы;

$t$  - время работы, ч.

$$\lambda_{cx} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

здесь  $\lambda_i$  - интенсивность потока отказа  $i$ -го элемента схемы;

$n$  - число элементов схемы.

Интенсивность потока отказов релейно-контактной и коммутационной аппаратуры определяется как:

$$\lambda_i = \lambda_{вч} \cdot a_1 + \sum_{i=1}^n \lambda_{ич} \cdot a_2$$

где  $\lambda_{вч}$  - интенсивность отказов воспринимающей части (катушки управления), приложение 8, табл. П.1.8.;

$\lambda_{ич}$  - интенсивность отказов исполнительной части (контактов),

приложение 8, табл. П.1.8.;

$a_1, a_2$  – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно время нахождения обмотки под напряжением, уровень электрической нагрузки, для с.х. производства  $a_1 = 1, a_2 = 2,5$ .

Вероятность безотказной работы схемы необходимо определять за 10 000 часов работы.

Коэффициент готовности схемы определяется по формуле:

$$K_{гсх} = \frac{T_{осх}}{T_{осх} + T_{всх}}; \quad K_{гдв} = \frac{T_{одв}}{T_{одв} + T_{вдв}}$$

где  $T_{одв}, T_{осх}$  – средняя наработка на отказ соответственно схемы управления и электродвигателя;

$T_{всх}, T_{вдв}$  – среднее время восстановления соответственно схемы управления и электродвигателя.

$$T_{осх} = \frac{1}{\lambda_{сх}}, \quad T_{одв} = \frac{1}{\lambda_{дв}},$$

$$T_{всх} = \frac{\sum T_{вi} / \lambda_i}{\lambda_{сх}}; \quad T_{вдв} = 6 - 8 \text{ часов},$$

где  $T_{вi}$  – среднее время восстановления  $i$ -го элемента схемы, ч.

Показатели надежности электропривода в целом определяются с учетом того, что выход любого элемента приводит к отказу всей системы. Вероятность безотказной работы электропривода определяется по формуле:

$$P_{элпр} = P_{сх} \cdot P_{элдв}$$

где  $P_{элдв}$  – вероятность безотказной работы электродвигателя,

$$P_{элдв} = 0,98 \text{ на } 10\,000 \text{ часов.}$$

Коэффициент готовности электропривода рассчитывается по формуле:

$$K_{гэлпр} = K_{гсх} \cdot K_{гдв}$$

Интенсивность отказов электропривода можно рассчитывать по одной из формул:

$$\lambda_{элпр} = \lambda_{сх} + \lambda_{дв} \quad \lambda_{элпр} = -\ln P_{элпр} \cdot 10^{-4}$$

### Задание 1. Навозоуборочный транспортер кругового движения скребкового типа.

Таблица 1.1

Варианты	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Количество коров в помещении	100	80	50	200	150
Число рядов коров	2	2	2	4	4
Суточный выход навоза от одной коровы, кг	30	25	35	30	25
Количество уборок в сутки	2	2	3	4	4
Скорость движения транспортера, м/с	0,17	0,25	0,2	0,19	0,23
Диаметр приводной звездочки, м	0,4	0,3	0,35	0,4	0,35

масса погонного метра скребковой цепи 6 кг/м;

шаг скребков 1 м;

коэффициент трения цепи по деревянному настилу 0,5 и стенки канала

1;

Сопротивление перемещению навоза, связанное с заклиниванием его между скребками и стенками канала, равно 15 Н. Давление на боковые стенки канала или желоба на один скребок принимается равным половине массы навоза. За одну уборку цепь горизонтального транспортера должна сделать 1,05 полного оборота. Момент трогания транспортера  $M_{тр} = M_{хх}$ . Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 0$ ; длина транспортера принимается на основании технологической схемы уборки навоза.

В качестве регулятора загрузки наклонного транспортера используется электропривод горизонтального транспортера. Предусмотреть использование асинхронного электродвигателя с массивным ротором, регулирование частоты вращения которого осуществить с помощью тиристорного преобразователя напряжения. В качестве датчика загрузки наклонного транспортера использовать трансформатор тока.

### Задание 2. Штанговый навозоуборочный транспортер.

Таблица 2.1

варианты	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Кол-во коров в помещении	180	80	160	70	120
Число рядов коров	4	2	4	2	2
Суточный выход навоза от одной коровы, кг	28	32	30	35	27
Количество уборок в сутки	3	2	4	2	3
Скорость движения транспортера м/с	0,25	0,23	0,20	0,21	0,24
Диаметр приводной звездочки, м	0,27	0,25	0,21	0,21	0,2

Масса одного погонного метра штанги со скребками 10 кг/м; Коэффициент трения скребков о дно навозного канала 0,5; коэффициент трения навоза о дно и стенки канала 1; давление навоза на боковые стенки канала равно половине его веса; усилие от заклинивания навоза между скребками и стенками навозного канала, приходящееся на один скребок - 15 Н. Шаг скребков 1 м. Длина хода штанг 1,1 м. Момент трогания транспортера равен моменту холостого хода

$$M_{\text{тр}} = M_{\text{хх}}$$

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 0$ ;

Длина штанг транспортера принимается на основании технологической схемы уборки навоза.

В схеме автоматического управления предусмотреть реверсирование электродвигателя конечными выключателями, а выдержку времени при реверсе выбрать с учетом самоторможения. В качестве регулятора загрузки наклонного транспортера использовать электропривод штангового транспортера. Предусмотреть использование асинхронного электродвигателя с массивным ротором, регулирование частоты вращения которого осуществить от тиристорного преобразователя напряжения. В качестве датчика загрузки наклонного транспортера использовать трансформатор тока

### Задание 3 Кареточно-скреперный транспортер

Таблица 3.1

варианты	1	2	3	4	5
Кол-во коров в помещении	120	100	200	80	160
Число рядов коров	2	2	4	2	4
Скорость движения кареток, м/с	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
Суточный выход навоза от одной коровы	30	28	33	31	29
Диаметр барабана лебедки, м	0,25	0,27	0,3	0,28	0,22

Число уборок навоза в сутки принимается от 3-х до 5-ти. Масса одного погонного метра троса 0,6 кг/м. Коэффициент трения троса о деревянный короб 0,5. Расстояние между каретками 16-18 м. Касса одной каретки 50 кг. Коэффициент трения качения колеса каретки 0,3 мм. Коэффициент трения в подшипниках качения 0,2. Диаметр подшипника качения 30 мм. Диаметр колеса каретки 60 мм. Приведенный коэффициент сопротивления перемещенного навоза по каналу при движении навоза равен 2. Коэффициент, зависящий от типа колес и типа направляющих  $\beta=1,3$ .

Направления движения кареток сменяются реверсированием двигателя.

Обобщенный коэффициент сопротивления движению кареток по направляющим 0,5. Обобщенный коэффициент трения в цапфах звездочек направляющих блоков 0,01. Усилие предварительного натяжения тягового троса  $F_{\text{тр}}=3000$  Н. Сопротивление от заклинивания навоза между дном и стенками канала, приходящееся на один скребок 40 Н. Длина пути движения кареток до образования тела волочения навоза составляет половину их хода.



Разгрузка скребка кареток происходит по длине, составляющей 15% от их хода. Длина хода каретки на 2-3 м больше расстояния между каретками.

Показатель степени в уравнении механической характеристики

$x = 0$ . момент трогания рабочей машины равен моменту холостого хода

$$M_{тр} = M_{хх}.$$

Остановку электропривода при реверсировании осуществить конечными выключателями, а выдержку времени при реверсе выбрать с учетом самоторможения.

В качестве регулятора загрузки наклонного транспортера использовать электропривод лебедки транспортера. Предусмотреть использование асинхронного электродвигателя с массивным ротором, регулирование частоты вращения которого осуществить от тиристорного преобразователя напряжения. В качестве датчика загрузки наклонного транспортера использовать трансформатор тока.

#### **Задание 4. Ленточный транспортер для транспортировки навоза в хранилище**

Навозоуборочный транспортеры горизонтальный и наклонный выбираются либо самостоятельно студентом, либо по заданию преподавателя.

Таблица 4.1

варианты	1	2	3	4	5
Кол-во коров в помещении	100	60	50	200	150
Число рядов коров	2	2	2	4	4
Суточные выход навоза от одной коровы, кг	30	25	35	30	25
Кол-во уборок в сутки	4	3	3	4	4
Средняя скорость движения навозоуборочного транспортера, м/с	0,17	0,25	0,2	0,19	0,23
длина ленточную транспортера, м	50	40	35	45	55
диаметр приводного барабана, м	0,3	0,25	0,27	0,32	0,26
Угол наклона транспортера к горизонту, град.	15	17	14	12	11
Расстояние между роликами, м	0,5	0,4	0,45	0,55	0,6

Показатель степени в уравнении механической характеристики механизма  $x=0$ . Момент трогания транспортера  $M_{тр} = 1,2M_{сн}$ . Толщина ленты транспортера  $S = 5\text{мм}$ . В качестве регулятора загрузки наклонного транспортера использовать горизонтальный транспортер; частоту вращения асинхронного электродвигателя горизонтального транспортера регулировать тиристорным преобразователем частоты. В качестве датчика загрузки наклонного транспортера использовать трансформатор тока.

#### **Задание 5. Тележка электровоза с троллейным питанием для транспортировки навоза в хранилище.**

Навозоуборочные транспортеры горизонтальный и наклонный выбираются либо самостоятельно, либо по заданию преподавателя.

Таблица 5.1

варианты	1	2	3	4	5
Кол-во коров в помещении	120	160	70	180	80
Число рядов коров	2	4	2	4	2
Суточный выход навоза от каждой	30	32	35	28	27
Кол-во уборок в сутки	4	3	4	5	4
Средняя скорость движения	0,2	0,1	0,22	0,19	0,21
Мина рельсовую полотна, м	70	60	65	55	50
Скорость движения электровоза, м/с	4	3,5	5	3,8	4
диаметр ведущего колеса электровоза, м	0,3	0,4	0,38	0,3	0,25
угол подъема рельсового пути, град	15	20	14	17	12
Масса электровоза, т	1,0	1,2	1,1	1,3	1,1
Коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы	1,5	2	1,8	2,5	2,2
Коэффициент трения скольжения	0,15	0,2	0,17	0,21	0,18
диаметр шейки оси колеса, м	0,04	0,045	0,05	0,04	0,045
Коэффициент трения качения колеса, м	0,0004	0,0005	0,0003	0,0004	0,0005

Грузоподъемность соответствует массе навоза за одну уборку. Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x=0$ . Момент трогания электровоза  $M_{тр} = 1,2 M_n$ .

В схеме автоматического управления предусмотреть датчик загрузки вагонетки и выдержку времени для ее загрузки. Опрокидывание ковша происходит отдельным электроприводом.

В качестве регулятора загрузки наклонного транспортера использовать горизонтальный транспортер; частоту вращения асинхронного электродвигателя горизонтального транспортера регулировать тиристорным преобразователем частоты. В качестве датчика загрузки наклонного транспортера использовать трансформатор тока.

#### **Задание 6. Канатная подвесная дорога для транспортировки навоза в хранилище**

Навозоуборочные транспортеры горизонтальным и наклонным выбираются либо самостоятельно студентом, либо по заданию преподавателя.

Таблица 6.1

варианты	1	2	3	4	5
Кол-во коров в помещении	200	100	90	60	140
Число рядов коров	4	2	2	2	4
Суточным выход навоза от одной коровы,	32	28	30	25	27
Кол-во у сорок в сутки	4	5	3	4	6
Средняя скорость движения вагонетки,	1	3	1,5	0,45	0,38
Диаметр барабана лебедки, м	0,250	0,32	0,28	0,3	0,27,
Расстояние до навозохранилища, м	500	450	470	420	480
диаметр колес вагонетки, м	0,2	0,15	0,17	0,18	0,16

Коэффициент трения реборд колес о	2,5	2,2	2,4	2,5	2,3
Коэффициент трения скольжения	0,2	0,15	0,21	0,17	0,16
Диаметр шейки оси колеса, м	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
Коэффициент трения качения колеса, м	0,0004	0,0003	0,0005	0,0004	0,0003
Масса вагонетки, т	0,4	0,35	0,5	0,45	0,38

Грузоподъемность вагонетки соответствует массе навоза за одну уборку. Момент трогания лебедки  $M_{тр} = 1,3 M_n$ . Максимальный момент сопротивления, связанный с дополнительным усилием на подъеме с учетом стрелы прогиба равен  $M_{max} = 1,2 M_n$ , минимальный момент сопротивления при спуске равен  $M_{min} = 0,8 M_n$ . Расстояние между опорами  $L_{оп} 20$  м. При построении графика нагрузки учесть изменение диаметра тягового барабана лебедки за счет числа слоев тягового троса, диаметр которого равен  $D_{тр} = 0,01$  м. Ширину тягового барабана **в** выбрать по конструктивным соображениям:  $b \leq 1$  м.

В схеме автоматического управления предусмотреть датчик загрузки вагонетки и выдержку времени для ее загрузки.

В качестве регулятора загрузки наклонного транспортера использовать горизонтальный транспортер. Частоту вращения асинхронного электродвигателя с массивным ротором регулировать тиристорным преобразователем напряжения. В качестве датчика загрузки наклонного транспортера использовать трансформатор тока.

#### Задание 7. Соломосилосорезка.

В технологическую схему поточно-транспортной системы входят: загружающий транспортер, соломосилосорезка, разгружающий транспортер.

Таблица 7.1

Варианты	1	2	3	4	5
Количество ножей измельчающего барабана	3	4	4	3	4
Площадь сечения горловины, м <sup>2</sup>	0,08	0,1	0,09	0,07	0,1
Частота вращения барабана, об/с	10	9	10	8	7
Длина резки стеблей, м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Плотность перерабатываемой массы, кг/м <sup>3</sup>	70	23	20	22	15
Удельный расход энергии, кДж/кг	3,6	4,0	2,7	3,4	2,4

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ . Момент трогания машины равен  $M_{тр} = 2$  Н.м. Нагрузочная диаграмма машины носит случайный характер, поэтому необходимо применить методы теории вероятности для определения среднего квадратичного момента нагрузки, если известно, что минимальный объем выборок  $n = 100$ , причем 20% выборок имеют величину момента сопротивления  $M_{с1} = 0,7 M_n$ ; 15% имеют  $M_{с2} = 1,4 M_n$ ; 10% имеют  $M_{с3} = 1,2 M_n$ ; 5% имеют  $M_{с4} = M_n$ ; 7% имеют  $M_{с5} = 0,9 M_n$ ; 12% имеют  $M_{с6} = 0,8 M_n$ ; 6% имеют  $M_{с7} = 1,3 M_n$ ; 5%

имеют  $M_{с8} = 1,15 \text{ Мн}$ ; 3% имеют  $M_{с9} = 1,5 \text{ Мн}$ ; 9% имеют  $M_{с10} = 0,6 \text{ Мн}$ ; 8% имеют  $M_{с11} = 1,1 \text{ Мн}$ . Длительность участка обработки нагрузочной диаграммы  $t = 300 \text{ с}$ .

В качестве регулятора загрузки соломосилосорезки для выравнивания нагрузочной диаграммы использовать электропривод загрузающего транспортера, мощность электродвигателя которого составляет 20% от мощности резания соломосенокосилки.

Предусмотреть использование асинхронного электродвигателя с массивным ротором, регулирование частоты вращения которого осуществить с помощью тиристорного преобразователя напряжения.

В качестве датчика загрузки соломосилосорезки использовать трансформатор тока.

### Задание 8. Измельчитель кормов «Вотлгарь-5».

В технологическую схему поточно-транспортной системы входят: загрузающий транспортер, измельчитель кормов «Вотлгарь-5», разгрузающий транспортер.

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ . Момент трогания машины равен  $M_{тр} = 12 \text{ Нм}$ . мощность на холостом ходу составляет 30% от мощности, расходуемой на резание. Мощность подачи составляет 25% от мощности резания. Нагрузочная диаграмма машины носит случайный характер, поэтому необходимо применить методы теории вероятности для определения

Варианты	1	2	3	4	5
Количество ножей измельчающего барабана	4	3	4	5	3
Площадь сечения горловины, $[a \times b] \text{ м}^2$	0,1	0,9	0,8	0,85	0,95
Удельное давление резания материала на единицу длины лезвия. Н/м	3500	4000	4500	5000	3700
Частота вращения, об/с	12	13	14	12	13

Таблица 8.1

среднего квадратичного момента нагрузки, если известно, что минимальный объем выборок  $n = 100$ , причем 5% выборок имеют величину момента сопротивления  $M_{с1} = \text{Мн}$ ; 10% –  $M_{с2} = 1,2 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с3} = 0,8 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с4} = 1,5 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с5} = 0,6 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с6} = 1,4 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с7} = 0,7 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с8} = 1,35 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с9} = 0,55 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с10} = 1,45 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с11} = 0,9 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с12} = 1,3 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с13} = 0,75 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с14} = 1,1 \text{ Мн}$ ; Длительность участка обработки нагрузочной диаграммы  $t = 400 \text{ с}$ .

В качестве регулятора загрузки измельчителя кормов для выравнивания нагрузочной диаграммы использовать электропривод загрузающего транспортера, мощность которого составляет 25% мощности электродвигателя измельчителя кормов. Частоту вращения электродвигателя

загружающего транспортера регулировать тиристорным преобразователем частоты. В качестве датчика загрузки измельчителя кормов использовать трансформатор тока

### Задание 9. Измельчитель корнеклубнеплодов.

В технологическую схему поточно-транспортной системы входят: загружающий транспортер, измельчитель корнеклубнеплодов, разгружающий транспортер.

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 1,6$ . Момент трогания машины равен  $M_{тр} = 5$  Н.м. Мощность двигателя загружающего

Таблица 9.1

Варианты	1	2	3	4	5
Угол подъема шнека, град	70	60	50	40	30
Коэффициент наполнения	0,2	0,25	0,23	0,22	0,24
Плотность корнеклубнеплодов, кг/м <sup>3</sup>	800	700	600	750	650
Внешний диаметр шнека, м	0,35	0,33	0,3	0,34	0,4
Шаг винта шнека, м	0,15	0,12	0,18	0,14	0,16
Частота вращения шнека, об/с	1,5	1,3	1,4	1,2	1,1
Затраты энергии на дробление, кДж/кг	4	3,9	4,1	4,2	3,8
Коэффициент, учитывающий потери холостого хода	1,15	1,18	1,2	1,19	1,16

транспортера составляет 20% от мощности привода измельчителя корнеклубнеплодов. Нагрузочная диаграмма машины носит случайный характер, поэтому необходимо применить методы теории вероятности для определения среднего квадратичного момента нагрузки, если известно, что минимальный объем выборок  $n = 100$ , причем 10% выборок имеют величину момента сопротивления  $M_{с1} = M_n$ ; 5% –  $M_{с2} = 1,2 M_n$ ; 10% –  $M_{с3} = 0,8 M_n$ ; 50% –  $M_{с4} = 1,5 M_n$ ; 10% –  $M_{с5} = 0,6 M_n$ ; 5% –  $M_{с6} = 1,4 M_n$ ; 10% –  $M_{с7} = 0,7 M_n$ ; 5% –  $M_{с8} = 1,35 M_n$ ; 10% –  $M_{с9} = 0,55 M_n$ ; 5% –  $M_{с10} = 1,45 M_n$ ; 10% –  $M_{с11} = 0,9 M_n$ ; 5% –  $M_{с12} = 1,3 M_n$ ; 10% –  $M_{с13} = 0,75 M_n$ ; 10% –  $M_{с14} = 1,1 M_n$ ; Длительность участка обработки нагрузочной диаграммы  $t = 300$  с.

В качестве регулятора загрузки измельчителя корнеклубнеплодов для выравнивания нагрузочной диаграммы использовать электропривод загружающего транспортера, мощность электродвигателя которого составляет 30% от мощности электродвигателя измельчителя. Частота вращения электродвигателя загружающего транспортера регулируется тиристорным преобразователем частоты. В качестве датчика загрузки измельчителя использовать трансформатор тока.

### Задание 10. Универсальная дробилка кормов.

В технологическую схему поточно-транспортной системы входят:

Лотковый транспортер-вибропитатель, дробилка, разгружающий транспортер.

Таблица 10.1

Варианты	1	2	3	4	5
Линейная скорость молотков, м/с	77	66	56	60	70
Радиус ротора дробилки, м	0,39	0,37	0,35	0,30	0,25
Затраты энергии на дробилке, кДж/кг	11,2	6,3	8,1	7,5	9,0
Масса ротора дробилки, кг	60	55	45	40	35
Производительность, кг/с	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45

Мощность холостого хода и циркуляции дробилки составляет 15 – 20% от номинальной мощности дробилки. Показатель степени в уравнении механической характеристики  $\chi = 1,7$ . Момент трогания дробилки равен  $M_{тр} = 2$  Н.м. Нагрузочная диаграмма машины носит случайный характер, поэтому необходимо применить методы теории вероятности для определения среднего квадратичного момента нагрузки, если известно, что минимальный объем выборок  $n = 100$ , причем 7% выборок имеют величину момента сопротивления  $M_{с1} = 0,7$  Мн; 13% –  $M_{с2} = 1,45$  Мн; 5% –  $M_{с3} = 0,6$  Мн; 10% –  $M_{с4} = 1,35$  Мн; 10% –  $M_{с5} = 0,9$  Мн; 5% –  $M_{с6} = 1,4$  Мн; 10% –  $M_{с7} = 1$  Мн; 5% –  $M_{с8} = 0,55$  Мн; 10% –  $M_{с9} = 1,3$  Мн; 5% –  $M_{с10} = 0,9$  Мн; 10% –  $M_{с11} = 1,15$  Мн; 5% –  $M_{с12} = 0,75$  Мн.

Длительность участка обработки нагрузочной диаграммы  $t = 300$  с.

В качестве регулятора загрузки дробилки для выравнивания нагрузочной диаграммы использовать вибрационный электропривод с тяговым электромагнитом, в цепи питания которого включен тиристор, управление которого осуществляется от тиристорного регулятора напряжения. В качестве датчика использовать трансформатор тока, включенный в фазу электродвигателя дробилки

### Задание 11. Безрешетная дробилка.

В технологическую схему поточно- транспортной системы входят: загрузочный шнек, дробилка, выгрузной шнек.

Таблица 11.1

Варианты	1	2	3	4	5
Производительность, т/ч	8	4	6	5	7
Затраты энергии на дробилке, кДж/кг	10	6	8	7	9
Радиус ротора дробилки, м	0,23	0,18	0,2	0,19	0,21
Масса ротора дробилки, кг	90	60	80	70	85
Линейная скорость молотков, м/с	70	50	60	65	70

Момент трогания дробилки равен  $M_{тр} = 4$  Н.м. Показатель степени в уравнении механической характеристики  $\chi = 1$ . Мощность холостого хода составляет 20% от мощности дробилки. Нагрузочная диаграмма машины носит случайный характер, поэтому необходимо применить методы теории вероятности для определения среднего квадратичного момента нагрузки, если известно, что минимальный объем выборок  $n = 100$ , причем 13% выборок имеют величину момента сопротивления  $M_{с1} = 0,7$  Мн; 7% –  $M_{с2} = 1,45$  Мн; 10% –  $M_{с3} = 0,6$  Мн; 5% –  $M_{с4} = 1,35$  Мн; 5% –  $M_{с5} = 0,9$  Мн; 10% –

$M_{с6} = 1,4 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с7} = \text{Мн}$ ; 10% –  $M_{с8} = 0,55 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с9} = 1,3 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с10} = 0,9 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с11} = 1,15 \text{ Мн}$ ; 15% –  $M_{с12} = 0,75 \text{ Мн}$ .

Длительность участка обработки нагрузочной диаграммы  $t = 400 \text{ с}$ .

В качестве регулятора загрузки дробилки для выравнивания нагрузочной диаграммы использовать поворотную заслонку с электроприводом. В качестве приводного двигателя регулятора подачи использовать электродвигатель РД-09, обмотка управления которого получает сигналы управления от тиристорного регулятора. В качестве датчика использовать трансформатор тока, включенный в цепь статора двигателя дробилки

### Задание 12. Измельчитель-смеситель кормов.

В технологическую схему поточно-транспортной системы входят:

Питатель, скребковый транспортер, измельчитель-смеситель, выгрузной транспортер.

Таблица 12.1

Варианты	1	2	3	4	5
Производительность измельчителя, т/ч	9	10	3	8	5
Затраты энергии на измельчение и смешивание, кДж/кг	12	8	10	9	6
Линейная скорость ножей, м/с	80	70	75	80	77
Радиус ножей, м	0,4	0,35	0,37	0,36	0,38
Момент инерции ротора измельчителя, кг/м <sup>2</sup>	20	18	16	17	19

Момент трогания измельчителя-смесителя равен  $M_{тр} = 3 \text{ Н.м}$ . Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ . Мощность холостого хода составляет до 20% от мощности измельчения к смешиванию. Нагрузочная диаграмма машины носит случайный характер, поэтому необходимо применить методы теории вероятности для определения среднего квадратичного момента нагрузки, если известно, что минимальный объем выборок  $n = 100$ , причем 10% выборок имеют величину момента сопротивления  $M_{с1} = 0,8 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с2} = 1,4 \text{ Мн}$ ; 7% –  $M_{с3} = 0,5 \text{ Мн}$ ; 8% –  $M_{с4} = 1,3 \text{ Мн}$ ; 7% –  $M_{с5} = 0,9 \text{ Мн}$ ; 8% –  $M_{с6} = 1,35 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с7} = 1,1 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с8} = 0,6 \text{ Мн}$ ; 5% –  $M_{с9} = 1,7 \text{ Мн}$ ; 10% –  $M_{с10} = \text{Мн}$ ; 5% –  $M_{с11} = 1,2 \text{ Мн}$ ; 15% –  $M_{с12} = 0,6 \text{ Мн}$ . Длительность участка обработки нагрузочной диаграммы  $t = 350 \text{ с}$ .

В качестве регулятора загрузки измельчителя для выравнивания нагрузочной диаграммы использовать электропривод с электромагнитной муфтой скольжения питания, который загружает скребковый транспортер. В качестве датчика использовать трансформатор тока, включенный в цепь статора электродвигателя измельчителя.

### Задание 13. Агрегат витаминной травяной муки.

Технологическая линия поточно-транспортной системы включает в себя: подающий транспортер, высокотемпературный сушильный барабан, вентилятор большого циклона, дозатор, дробилку, вентилятор малого циклона, дозатор, выгрузной шнек.

Выполняется полный расчет и выбор электропривода дробилки. В качестве регулятора загрузки дробилки используется загрузочный шнек. Схема автоматического управления строится в соответствии с требованиями, предъявляемыми к поточной линии. Определить допустимую длину и сечение линии 0,4 кВ, соединяющей агрегат с трансформаторной подстанцией. Определить возможность пуска двигателя дробилки и устойчивую работу ранее включенного топливного насоса.

Таблица 13.1

Варианты	1	2	3	4	5
Линейная скорость молотков дробилки, м/с	70	60	55	65	72
Радиус ротора дробилки, м	0,35	0,37	0,3	0,25	0,27
Затраты энергии на дробление, кДж/кг	10	8	11	8	7
Масса ротора дробилки, кг	55	60	45	40	35
Производительность кг/с	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5
Мощность трансформаторной подстанции, кВ·А	160	160	100	100	100
Длина линии электропередачи, м	150	200	180	200	250

Мощность холостого хода и циркуляции дробилки составляет 20% от номинальной мощности дробления. Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 1,6$ . Момент трогания дробилки равен  $M_{тр} = 4$  Н.м. за счет введения автоматического регулятора загрузки дробилки считать, что ее нагрузочная диаграмма представляет практически прямую линию, ордината которой равна  $M_n$ .

В качестве электродвигателя шнекового дозатора дробилки использовать асинхронный двигатель с массивным ротором, частота вращения которого регулируется тиристорным регулятором напряжения. Электродвигатель мощностью  $P_n = 1,7$  кВт,  $\omega_0 = 157$  с<sup>-1</sup>,  $S_n = 0,11$ , момент инерции  $J = 0,33 \cdot 10^{-2}$  кгм<sup>2</sup>. В качестве датчика использовать трансформатор тока, включенный в статорную цепь двигателя дробилки

#### **Задание 14. Подвесной кормораздатчик типа КЭС-1,7.**

Технологическая схема поточно-транспортной системы включает в себя: бункер-накопитель кормов, выгрузочный шнек, кормораздатчик, выгрузные шнеки-дозаторы. Выполняется полный расчет выбор электропривода передвижения кормораздатчика.

Таблица 14.1

Варианты	1	2	3	4	5
Скорость передвижения, м/с	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4
Масса кормораздатчика, кг	800	1000	900	700	850



Вместимость бункера, м <sup>3</sup>	1,7	2,2	2,0	1,6	1,75
Длина пути, м	80	70	80	70	80
Количество голов в свиарнике-откормочнике, тыс. шт.	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5
Диаметр ведущего колеса, м	0,15	0,12	0,15	0,12	0,15
Коэффициент трения ребордколеса о направляющие	1,5	2	1,5	1,8	2,5
Коэффициент трения скольжения	0,15	0,17	0,2	0,18	0,21
Диаметр шейки оси колеса, м	0,035	0,03	0,035	0,03	0,035
Коэффициент трения качения колеса	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003

Момент трогания кормораздатчика равен  $M_{тр} = 1,2$  Н.м. Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 0$ . В схеме автоматического управления предусмотрен датчик загрузки бункера кормораздатчика.

В качестве регулирующего органа используется шнек-дозатор. Датчиком загрузки шнека-дозатора служит тахогенератор. Регулирование подачи осуществляется за счет изменения частоты вращения электродвигателя. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным преобразователем частоты

### Задание 15. Самоходный бункерный кормораздатчик.

В технологическую схему поточно-транспортной системы включены: бункер-накопитель, шнек разгрузочный, кормораздатчик, ленточно-планчатый транспортер. Рассчитывается полностью электропривод передвижения кормораздатчика.

**Таблица 15.1**

Варианты	1	2	3	4	5
Масса кормораздатчика, кг	450	400	450	500	400
Скорость движения при раздаче корма, м/с	0,15	0,2	0,1	0,2	0,15
Скорость движения в обратном направлении, м/с	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3
Скорость ленточно-планчатого транспортера, м/с	0,3	0,2	0,3	0,35	0,2
Грузоподъемность кормораздатчика, кг	1000	800	900	1100	1000

Диаметр ходового колеса кормораздатчика, м	0,3	0,25	0,3	0,25	0,3
Количество коров в помещении	120	100	150	200	80
Число рядов коров	2	2	2	4	2
Коэффициент сопротивления передвижения, Н/кг	0,15	0,2	0,18	0,12	0,14

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 0$ . Момент трогания рабочей машины равен  $M_{тр} = 1,2$  Н.м.

Масса одного погонного метра ленточно-планчатого транспортера вместе с грузом 150 кг, длина транспортера 2 м, обобщенный коэффициент трения транспортной ленты 0,4. Усилие, затрачиваемое на вращение битеров, составляет 15% от усилия на движение ленточно-планчатого транспортера.

Предусмотреть в кинематической схеме кормораздатчика отдельный электропривод для ленточно-планчатого транспортера и битеров. Частота вращения этого электропривода 157 с-1. В качестве регулятора-дозатора использовать электропривод ленточно-планчатого транспортера. Регулирование скорости вращения осуществить путем изменения частоты тока с помощью тиристорного преобразователя частоты. В качестве измерительно-преобразовательного органа использовать тахогенератор.

Необходимо рассчитать мощность электродвигателя ленточно-планчатого транспортера, а затем – электромеханическую постоянную времени электропривода.

Постоянные времени объекта управления, исполнительного органа и транспортного звена вычисляются самостоятельно на основании имеющихся расчетных данных.

### Задание 16.Кран-балка.

Технологическая схема подъемно - транспортной системы включает в себя:

Механизм подъема и перемещения тельфера, механизм передвижения балки. В качестве регулирующего органа принять электропривод механизма перемещения, скорость которого регулируется тиристорным преобразователем частоты. Датчиком скорости является тахогенератор.

Таблица 16.1

Варианты	1	2	3	4	5
Масса тельфера, кг	900	800	1000	1100	850
Масса балки, кг	2900	3100	3300	3000	3200
Скорость подъема груза, с	0,16	0,15	0,13	0,2	0,18
Скорость передвижения тельфера, м/с	0,33	0,3	0,37	0,41	0,4
Скорость передвижения балки, м/с	0,83	0,75	0,91	0,83	0,91
Максимальная высота подъема груза, м	8	7	7,5	8,2	7
Длина пролета балки, м	10	9	8	10	11

Диаметр ходовых колес, м	0,2	0,25	0,25	0,20	0,18
Диаметр цапф колес тельфера и балки, м	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06
Диаметр барабана тельфера, м	0,4	0,45	0,5	0,42	0,45
Максимальная масса поднимаемого груза, кг	3000	4000	5000	3500	4500
Длина цеха, м	50	75	40	60	70

Показатель степени в уравнении механической характеристики для кран-балки  $x = 0$ . Момент трогания механизмов  $M_{с тр} = (1,1:1,2) M_{сн}$ . Коэффициент трения качения колес балки  $f_b = 0,0005$  м, тельфера  $f_t = 0,0003$  м, коэффициент трения в цапфах  $\mu = 0,15$ , коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления в ребортах колес, торцах ступиц  $\alpha = 2,5$ .

Управление приводами кран-балки осуществляется вручную, дистанционно с места подъема груза.

Путь перемещения всех механизмов ограничивается конечными выключателями.

При отключении двигателей включаются с помощью электромагнитов механические тормоза.

### Задание 17. Зерновая нория.

Технологическая схема подъемно - транспортной системы включает в себя: зерновую норию, шнек бункера, ленточный транспортер. В качестве регулирующего органа используется шнек-дозатор. Датчиком загрузки шнека-дозатора служит тахогенератор. Регулирование подачи осуществляется за счет изменения частоты вращения электродвигателя. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным преобразователем частоты.

Коэффициент заполнения ковшей  $\varphi = 8$ . Объемный вес зерна  $\gamma = 0,75$  т/м<sup>3</sup>. Коэффициент полезного действия нории  $\eta = 0,45$ . Емкость ковша  $g = 1,25$  дм<sup>3</sup>. Момент инерции передаточного звена с учетом приводного барабана ( $J_{пз} = 0,4 J_{пб}$ ,  $M_{тр} = 1,2 M_{сн}$ ).

Привод элеватора «в» может быть включен при отключенном приводе элеватора «а» и наоборот. Переключение схемы работы элеватора «а» на работу элеватора «в» и наоборот производится автоматически в функции времени. Контроль за заполнением бункера осуществляется при помощи датчиков уровня с подачей звукового и светового сигнала.

Таблица 17.1

Технические данные ковшовых элеваторов и скребковых транспортеров	Буквенное обозначение	Вариант				
		1	2	3	4	5
Производительность ковшового элеватора «а», т/ч	$Q_a$	26,0	35,0	15,0	23,0	40,0
То же для элеватора «в», т/ч	$Q_b$	40,0	10,0	45,0	35,0	25,0
Скорость движения ленты элеватора «а», м/с	$V_a$	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3
То же для элеватора «в», м/с	$V_b$	1,3	1,2	1,5	1,5	1,2
Время работы элеватора «а», с	$t_a$	180	240	360	300	300
То же для элеватора «в», с	$t_b$	300	360	240	300	180
Высота подъема груза, м	$H_a=H_b$	3	4	2,5	5	4
Диаметр натяжного и приводного барабана элеватора «а», м	$D_a$	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
То же для элеватора «в», м	$D_b$	0,6	0,4	0,62	0,6	0,5
Ширина ленты элеватора «а», м	$b_a$	0,18 5	0,2	0,165	0,18	0,2
То же для элеватора «в», м	$b_b$	0,2	0,15	0,2	0,2	0,185
Шаг ковшей элеватора «а», м	$l_a$	0,25	0,22	0,28	0,24	0,175
То же для элеватора «в», м	$l_b$	0,17 5	0,28	0,17	0,22	0,25
Масса одного погонного метра элеватора, кг	$m$	20	30	37,5	45	30
Масса натяжного и приводного барабана элеватора «а», кг·10 <sup>-2</sup>	$m_{ба}$	2,1	2,8	1,0	2,05	2,8
То же для элеватора «в», кг·10 <sup>-2</sup>	$m_{бв}$	2,9	0,9	3,0	2,8	2,1
Частота вращения барабана элеватора «а», с <sup>-1</sup>	$\omega_a$	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
То же для элеватора «в», с <sup>-1</sup>	$\omega_b$	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25

### Задание 18. Ленточный транспортер подъемно-транспортного механизма.

Технологическая схема поточно–транспортной системы первичной обработки зерна включает в себя: зерновую норию, шнек бункера, ленточный транспортер. В качестве регулирующего органа используется нория. Датчиком загрузки нории служит трансформатор тока. Регулирование подачи осуществляется за счет изменения частоты вращения электродвигателя. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным преобразователем частоты.

Таблица 18.1

Варианты	1	2	3	4	5
Производительность установки, т/ч	40	20	40	20	40
Длина транспортера, м	20	15	25	20	22
Высота подачи зерна, м	3	2,5	3,5	2,7	3,2
Ширина ленты, мм	450	400	500	400	450
Диаметр приводного барабана, мм	400	380	420	350	450
Масса вращающихся частей, кг	90	80	100	70	95

Момент инерции передаточного звена  $J_{пз}=0,2J_{дв}$ . Объемный вес зерна  $\gamma=0,75$  т/м<sup>3</sup>. Число прокладок ленты  $Z_1=4$  шт. ориентировочная толщина одной прокладки  $\delta=1,25$  мм. Толщина резинового слоя рабочей и нерабочей стороны ленты соответственно равны:  $\delta_1=3$  мм и  $\delta_2=1$  мм.  $M_{тр}=1,2$  Мсн. Показатель степени в уравнении механической характеристики для механизма  $x = 0$ .

Известно, что мощность привода нории  $P=4,5$  кВт.

### Задание 19. Вентилятор подъемно-транспортного пневматического транспортера.

Технологическая схема поточно-транспортной системы первичной обработки зерна включает в себя: норию, ленточный транспортер, бункер накопитель, пневмотранспортер. В качестве регулятора подачи используется привод вентилятора. Датчиком загрузки служит тахогенератор. Регулирование подачи осуществляется за счет изменения частоты вращения электродвигателя вентилятора. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным регулятором напряжения. Расчетные данные по вариантам даны в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Варианты	1	2	3	4	5
Производительность установки, т/ч	40	20	40	20	40
Высота подачи, м	8	6	10	8	10
Скорость питания, м/с	11,5	10,1	12,2	11,0	12,5
$d$ – диаметр воздуховода, м	0,3	0,25	0,3	0,25	0,3
Момент инерции вентилятора транспортера $J_{дв}$	$13 J_{дв}$	$8 J_{дв}$	$10 J_{дв}$	$9 J_{дв}$	$12 J_{дв}$

Объемный вес зерна  $\gamma=780$  кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент исходной концентрации  $\sigma_{об}=1/2000$ . Воздуховод транспортера имеет 2 изгиба радиусом  $R=4d$ . Начальный момент вентилятора транспортера равен  $M_0=0,25$  Мнв. Показатель степени в уравнении механической характеристики механизма  $x = 2$

Контроль за заполнением бункеров необходимо осуществлять при помощи датчиков уровня с подачей звукового и светового сигналов.

### Задание 20. Вентиляционная установка в животноводческом помещении.

В технологической схеме предусмотреть способ вентиляции помещений, расположение венткамер, воздуховодов, расположение вентиляторов, калориферов. Подачу вентиляторов регулировать частотой вращения электродвигателей, получающих питание от тиристорного регулятора напряжения. Датчиком температуры является термосопротивление. Схему управления электроприводом выполнить на базе бесконтактной аппаратуры.

Длину воздуховода принять согласно компоновки вентиляционной установки.

Показатель степени в уравнении механической характеристики механизма  $x = 2$ .

Нагрузочную диаграмму построить с учетом изменения температуры наружного воздуха в течение часа (суток).

Принять момент инерции вентилятора  $J_v=8$  Дж,  $J_p=0,3$  Дж.

Таблица 20.1

Варианты	1	2	3
Вид с.-х. помещения	свинарник	коровник	цыплятник
Количество животных, шт	100	200	18000
Температура внутри помещения, °С	21	10	17
Наружная температура, °С	-15	-20	-10
Относительная влажность воздуха в помещении, %	70	70	70
Скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с	10	12	14
Содержание углерода в помещении, %	0,125	0,125	0,125

### Задание 21. Вентиляционная установка зерноочистительного агрегата.

В технологической схеме предусмотреть следующие машины: нория, ленточный транспортер, шнек и вентилятор. Подачу вентиляторов регулировать частотой вращения электродвигателей, получающих питание от тиристорного регулятора напряжения. Датчиком влажности является психрометр на терморезисторах. Произвести расчет электропривода вентиляционной установки. Схему управления электроприводом выполнить на базе бесконтактной аппаратуры.

Длину воздуховода принять согласно компоновки вентиляционной установки зерноочистительного агрегата.

Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 21.1.

Момент инерции вентилятора  $J_v=8$  Дж.

Момент трогания вентилятора  $M_0=0,2$  Мвн.

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ .

Контроль за заполнением бункеров необходимо осуществлять при помощи датчиков уровня с подачей звуковых и световых сигналов.

Таблица 21.1

Варианты	1	2	3	4	5
Производительность вентилятора, м <sup>3</sup> /час	2000	2700	2600	2300	2200
Напор Н, кг/м <sup>2</sup>	245	330	315	285	275
Частота вращения n, об/мин	2950	2950	2950	2950	2950
Коэффициент полезного действия	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Диаметр рабочего колеса, м	0,6	0,75	0,725	0,65	0,625
Масса колеса, кг	16	22	23,5	18	17
Производительность агрегата, т/ч	10	20	20	10	10
Ширина сепарирующего канала, м	10	10	10	10	10
Глубина канала, м	2	3	3	2	2
Загрузка единицы площади сепарирующего канала, кг/ч·дм <sup>2</sup>	500	700	700	500	500
Наибольшее значение критической скорости воздуха, м/с	17	17	17	17	17

### Задание 22. Вентиляционная установка в овоще- и фруктохранилище.

Составить технологическую схему автоматического управления температурно-влажностным режимом в овоще- и фруктохранилище. Выбрать технологическое и электрическое оборудование. Произвести расчет электропривода нагнетательных вентиляторов. Длину воздуховода принять согласно компоновки вентиляционной установки зерноочистительного агрегата.

Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 22.1.

Момент инерции вентилятора  $J_B=10$  Дж.

Момент трогания вентилятора  $M_0=0,15$  Мвн.

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ .

Воздушный, температурный и влажностный режим в хранилище поддерживается за счет изменения частоты вращения вентиляторов и количества включенных секций калорифера.

Таблица 22.1

Варианты	1	2	3	4
Продукт хранения	картофель	картофель	яблоки	яблоки
Емкость хранилища, т	1000	2000	1000	2000
Расход воздуха на 1 тм <sup>3</sup> /ч	40	40	30	30
Относительная влажность внутри помещения, %	90	90	85	85
Температура в хранилище в момент закладки, °С	15	16	20	18
Температура в период охлаждения в хранилище, °С	5	5	5	5
Температура в основной период зимнего хранения, °С	2	2	3	3
Скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с	12	15	10	14

Подачу вентилятора регулировать частотой вращения электродвигателей, получающих питание от тиристорного регулятора напряжения. Датчиком температуры и влажности являются терморезистор и психрометр на терморезисторах.

### Задание 23. Водоснабжающая установка.

Составить технологическую схему водоснабжения хозяйства с применением напорной башни или безбашенной водокачки. Произвести расчет электропривода насосной установки (одно- или двухагрегатной).

Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 23.1.

Момент инерции насоса равен  $J_n=8$  Дж.

Момент инерции передаточного звена равен  $J_{пз}=0,2$  Дж.

Показатель степени в уравнении механической характеристики нагрузочной машины  $x = 2$ . Момент трогания  $M_{тр}=0,2; 0,3$  Мсн.

Таблица 23.1

Варианты	1	2	3	4	
Дойные коровы, гол.	300	1300	400	600	1200
Крупный рогатый скот на откорме, гол	1000	1200	500	1500	2000
Свиноматки, гол.	150	200	100	200	300
Телята, гол.	100	500	500	700	1150
Поросята-сосуны, гол.	1500	1800	800	1800	2700
Максимальная геометрическая высота всасывания, м	5	6	6	5	6
Верхний уровень воды в башне Нв.б., м	30	17	20	30	17



(давление в котле при выключении двигателя Нвык.).					
Нижний уровень воды в башне Нн.б., м (давление в котле при включении двигателя Нвкл.).	29	16	18,5	28,5	15,5
Длина трубопровода L, м	100	100	500	300	200

Включение и выключение насосного агрегата производится автоматически в зависимости от уровня воды в напорном баке или давления в котле. В наладочном режиме – ручное дистанционное управление.

Аварийное отключение двигателя производится при снижении уровня воды в источнике ниже допустимого.

Автоматическое включение резервного агрегата при аварии основного, связанного со срывом вакуума, заклиниванием насоса, разрывом трубопровода.

Предусмотреть регулирование подачи насоса за счет изменения частоты вращения электродвигателя. Частоту вращения агрегата регулировать тиристорным регулятором напряжения. В качестве датчика использовать расходомер.

#### **Задание 24. Насосная установка для орошения.**

Составить технологическую схему орошения сельскохозяйственной культуры. Произвести расчет электропривода насосной установки.

Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 24.1.

Таблица 24.1

Варианты	1	2	3
С.-х. культура	рис	сах. свекла	бахчевы е
Посевная площадь под культуру, га	830	100	60
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	11000	5800	5200
Норма полива	1100	600	500
Продолжительность полива, сут.	180	6	6
Количество часов полива в сутки	16	24	24
Максимальная геометрическая высота всасывания, м	5	6	4
Высота подачи воды в оросительную систему, м	25	30	40
Длина трубопровода, м	750	400	300
Диаметр трубопровода, мм	2x700	300	300
Момент инерции передаточного звена $J_{пз}, J_{дв}$	0,2	0,25	0,3
Момент инерции насоса $J_n$	1,5	1,2	0,8
Момент ртогания насоса $M_0=K, M_n$ .	0,25	0,2	0,3
Коэффициент полезного действия оросительной системы	0,8	0,9	0,85

Автоматическое включение следующего агрегата при дефиците воды в оросительной системе.

Отключение агрегата в случае заклинивания насоса, отсутствия воды в заборном колодце, потери вакуума, потери давления в трубопроводе.

Предусмотреть автоматическую заливку насоса.

Предусмотреть регулирование подачи насоса за счет изменения частоты вращения электродвигателя. Частоту вращения агрегата регулировать тиристорным регулятором напряжения. Регулирование осуществлять в функции давления.

### Задание 25. Молочный сепаратор.

В технологическую схему первичной обработки молока входят: вакуум-насос, молочный насос, сепаратор, пастеризатор, компрессор. В качестве регулятора качества продуктов сепарирования использовать электропривод молочного насоса. Датчиком подачи насоса служит трансформатор тока в цепи электродвигателя сепаратора. Подача насоса регулируется скоростью вращения насоса с помощью тиристорного регулятора напряжения.

Таблица 25.1

Варианты	1	2	3	4
Частота вращения барабана, об/мин	7000	8000	9000	10000
Начальный момент сопротивления не валу сепаратора, Нм, Мсн	0,25	0,2	0,3	0,25
Коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки, кинематической схемы привода, массы барабана, величины и системы шероховатостей барабана, $\cdot 10^{-6}$	1,7	1,85	1,75	1,9
Момент инерции сепаратора, $J_{дв}$	10	12	11	10
Момент инерции передаточного звена, $J_{дв}$	0,35	0,3	0,4	0,5

Передаточное отношение  $i=0,16$

Мощность привода молочного насоса  $P=0,6$  кВт.

### Задание 26. Вакуум-насос доильных установок.

В технологическую схему первичной обработки молока входят: вакуум-насос, молочный насос, сепаратор, пастеризатор, компрессор. В качестве регулятора качества продуктов сепарирования использовать электропривод самого сепаратора. В качестве датчика служит тахогенератор на валу сепаратора. Скоростью вращения сепаратора регулируется тиристорным регулятором частоты.

Расчитать электропривод вакуум-насоса. Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 26.1.

Коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы  $K=3$ .

Расход воздуха одним доильным аппаратом при 60 пульсациях в минуту  $1,8$  м<sup>3</sup>/час.

Момент инерции насоса  $J_n=2$  Дж.

Таблица 26.1

Варианты	1	2	3	4	5
Кол-во коров на ферме, гол	200	300	400	600	800
Средний удой коровы за сутки, л	10	12	9	11	10
Число доек в сутки	3	3	3	3	3
Вакуум, развиваемый насосом, мм рт. Ст.	350	360	340	370	350
Коэффициент полезного действия ротационного насоса	0,25	0,27	0,26	0,28	0,25

Момент трогания насоса  $M_c=0,75$  Мн.

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ .

Схема должна отключить линию при полном заполнении цистерн молоком.

Данные электродвигателя:  $P=0,6$  кВт,  $J=0,1$  кгм<sup>2</sup>,  $\omega_n=800$  с<sup>-1</sup>,  $S_n=0,17$ .

### **Задание 27. Автомобилеподъемник в линии первичной обработки зерна.**

В технологическую схему включить: Автомобилеподъемник, норию, ленточный транспортер. Привести расчет электропривода автомобилеподъемника.

Рассчитать электропривод вакуум-насоса. Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 27.1.

Начальный момент трогания  $M_{тр}=0,25$  Мн.

Варианты	1	2	3	4
Часовая производительность установки, т/ч	40	20	40	20
Тип автомобилеподъемника	ГУАР-	ПГА-11	ГУАР-	ПГА-11
Гидронасос	Г12-23А	Л1Ф-35	Г12-23А	Л1Ф-35
Производительность насоса, л/мин	35	35	35	35
Напор насоса, кг/см <sup>2</sup>	65	65	65	65
Частота вращения насоса, об/мин	950	950	950	950
КПД насоса	0,35	0,35	0,35	0,35
Диаметр рабочего колеса, мм	150	150	150	150
Масса колеса, кг	12	12	12	12
Угол подъема платформы, град	12	12	12	12
Время подъема платформы, с	46	35	40	32
Время опускания платформы, с	25	20	22	17
Давление в цилиндре, кг/см <sup>2</sup>	50	30	45	35
Внутренний диаметр поршня цилиндров, мм	150	150	150	150
Кол-во цилиндров, шт.	2	2	2	2
Рабочий ход штоков гидроцилиндров, мм	880	750	900	780
Средняя грузоподъемность одной машины, кг·10 <sup>3</sup>	3	3	3	3

Показатель степени в уравнении механической характеристики  $x = 2$ .

В качестве регулятора загрузки использовать насос автомобилеподъемника, частота вращения которого регулируется по величине тока электродвигателя. Датчиком служит трансформатор тока в цепи электродвигателя насоса. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным преобразователем частоты.

### **Задание 28. Лебедка для обработки почвы в рисовых чеках.**

Произвести расчет электропривода двухмашинной электропахотной лебедки.

Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 28.1.

Таблица 28.1

Варианты	1	2	3
Длина гона, м	300	400	500
Масса плуга, кг	400	450	500
Диаметр барабана лебедки, мм	400	450	500
Момент инерции барабана лебедки, кгм <sup>2</sup>	0,25	0,3	0,4

Ширина захвата плуга 0,6 м.

Глубина вспашки 0,25 м.

Скорость движения плуга 7,5 км/ч.

Удельная масса троса 0,625 кг/м.

Длина части троса, которая тянется по земле,  $l=0,8 l_т$ .

Коэффициент трения троса о почву 0,35.

Коэффициент трения плуга о почву 0,3.

Передаточное звено лебедки имеет две передаточные пары, моменты инерции которых равны  $J_1=0,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_2=0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_3=0,125 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_4=1,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Передаточное число первой и второй передаточных пар  $i_2=10$ .

КПД передачи 0,9

Коэффициент перекрывания лебедки по полю 0,65 Н/кг

Масса электролебедки 4000 кг.

Фиксированную остановку лебедки при переходе на новый гон в конце чекового участка, отключение установки в аварийном режиме (обрыв троса, заклинивание плуга), звуковую и световую сигнализацию.

Предусмотреть регулирование скорости движения плуга. В качестве датчика использовать трансформатор тока. Частоту вращения электропривода регулировать тиристорным преобразователем частоты.

### Задание 29. Горизонтальный винтовой пресс на стригальном пункте.

В технологическую схему в первичной обработке шерсти включить ленточный транспортер, винтовой пресс, тельфер. В качестве регулятора скорости движения пресса использовать его электропривод. Датчиком скорости служит тахогенератор. Регулирование подачи осуществляется за счет изменения частоты вращения электродвигателя пресса. Частота вращения электродвигателя пресса регулируется тиристорным регулятором напряжения.

Привести расчет электропривода винтового пресса.

Расчетные данные по вариантам приведены в табл. 29.1.

Таблица 29.1

Варианты	1	2	3	4	5
Кол-во овец, подлежащих стрижке за 1 смену, гол.	5000	6000	7000	8000	10000
Выход шерсти от одной овцы, кг	3	2,8	3,1	3,2	2,7
Кол-во стригалей, чел.	48	60	70	80	90
Производительность пресса, кг/ч	1000	1000	1500	1500	2000
Максимальное усилие прессования, $\text{Н}\cdot 10^3$	118	130	120	140	145
Скорость движения плиты пресса, м/с	0,08	0,09	0,08	0,07	0,075

КПД передачи  $\eta_n=0,7$ .

Момент инерции пресса, приведенного к валу двигателя  $J_p=3 \text{ Дж}$

Момент инерции передаточного звена  $J_{пз}=0,4 \text{ Дж}$ .

Шаг винта  $h_v = 0,1 \text{ м}$

Ход винта  $S_v = 3 \text{ м}$ .

Включение и реверс двигателя пресса при окончании прессования производится конечными выключателями. Реверс – без торможения противовключением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – М.: Энергия, 1969, 359с.
2. Гузенко А.И. Основы теории автоматического регулирования. – М.: Высшая школа, 1967, 410 с.
3. Солодовников В.В. Критерии и методы анализа устойчивости линеаризованных САУ. Кн.1 «Техническая кибернетика. – М.: Машиностроение, 1967, 385с.
4. Асинхронные электродвигатели серии 4А. Справочник – М.: Энергоиздат, 1982.
5. Басов А.М., Шаповалов А.Т., Кожевников С.А. Основы электропривода и автоматическое управление электроприводом в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1972.
6. Бодин А.П., Московкин Ф.И. Электрооборудование для сельского хозяйства. – М.: Россельхозиздат, 1981.
7. Галкин А.Ф. Комплексная механизация производственных процессов в животноводстве. – М.: Колос, 1974.
8. Изяков Ф.Я. и др. Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1972.
9. Колесов Л.П. и др. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. – Л.: Колос, 1974.
10. Кудрявцев И.Ф. Автоматизация производственных процессов на фермах. – М.: Колос, 1976.
11. Кудрявцев И.Ф. и др. Электрооборудование жевотноводческих предприятий и автоматизация производственных процессов в животноводстве. – М.: Колос, 1979.
12. Мартыненко И.И., Тищенко Л.П. Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации. – М.: Колос, 1972.
13. Рубцов П.А. и др. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1972.
14. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. – М.: Колос, 1984.
15. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электротехники. – М.: Энергоиздат, 1981.
16. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978.
17. ГОСТ 27.002-83. Надежность в технике. Термины и определения.
18. ГОСТ 27.502-83. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации.
19. Мартыненко И.И. Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – М.: Агропромиздат, 1990, 230с.
20. ГОСТ 19348-82. Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические требования.