

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И ЗАДАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 14060465
ВСЕХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ

Ульяновск 2008

УДК 681.31(075)

ББК 32.973.2я73

A22

Рецензент доктор технических наук А. В. Кузнецов

Одобрено секцией методических пособий научно –
методического совета УлГТУ

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов: Методические указания и задания к курсовой работе для студентов специальности 14060465 всех форм обучения/ сост. А.В. Коробко.- Ульяновск: УлГТУ, 2008.- 87 с.

Настоящие методические указания составлены в соответствии с учебной программой курса «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов», утверждённой для студентов специальности 140604465.

В работе приводятся различные варианты заданий на курсовую работу и методические указания для их выполнения.

Работа выполнена на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок».

УДК 681.31(075)

ББК 32.973.2я73

© Оформление: УлГТУ, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	4
2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	7
2.1. Автоматизированный электропривод высокоскоростного лифта.....	7
2.2. Автоматизированный электропривод робота-манипулятора.....	12
2.3. Автоматизированный электропривод экскаватора-лопаты.....	18
2.4. Автоматизированный электропривод продольно-строгального станка.....	22
3. ПРИЛОЖЕНИЕ.....	26
4. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	26

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью курсовой работы является углубление и закрепление лекционных знаний, и приобретение навыков расчетов по автоматизированному электроприводу общепромышленных механизмов.

При выполнении курсовой работы преследуется цель показать особенности механизмов, их нагрузок, определяющих выбор двигателя, требования, предъявляемые к механизмам и их электроприводам.

Задание предусматривает разработку следующих вопросов:

1. Выбор рода тока и системы управления электроприводом, исходя из диапазона регулирования, мощности и ускорения.

На основе анализа этих показателей могут быть выбраны следующие системы электропривода:

- нерегулируемый электропривод на базе асинхронного двигателя (АД) с реостатным пуском, ограничением максимального ускорения a_{\max} маховиком и достижением минимальной скорости V_{\min} переключением обмоток или специальными схемами;

- регулируемый электропривод на базе АД с фазным ротором с параметрическим регулированием в цепи ротора;

- регулируемый электропривод на базе двух фазного АД с параметрическим регулированием напряжения в управляющей обмотке;

- регулируемый электропривод постоянного тока по системе Г-Д;

- регулируемый электропривод постоянного тока по системе ТПД-Д или ШИП-Д;

- регулируемый электропривод по системе ПЧ-АД;

- регулируемый вентильный электропривод.

В отдельных специальных случаях, особенно при автономном энергоснабжении установки, возможно применение системы «возбудитель-синхронный генератор – выпрямитель – двигатель постоянного тока независимого или последовательного возбуждения».

2. Предварительный выбор двигателя по максимальным значениям усилия нагрузки и скорости рабочего органа для определения передаточного числа редуктора и его КПД

Оценочная максимальная мощность установки:

$$P_{\max} = V_{\max} \cdot F_{\max} = \omega_{\max} \cdot M_{\max},$$

где V_{\max} , ω_{\max} – максимальные линейная или угловая скорости движения рабочего органа установки; F_{\max} , M_{\max} – максимальные значения усилия или момента сопротивления на рабочем органе.

Значения V_{\max} или ω_{\max} определены техническими требованиями (указываются в задании), значения F_{\max} или M_{\max} рассчитываются для максимально возможного режима. Например, при поднятии груза:

$$F_{\max} = g \cdot m_{\max}.$$

При линейном перемещении рабочего органа по направляющим скольжения

$$F_{\max} = F_n \cdot (g \cdot m_{\max} + F_N) + b \cdot V_{\Pi},$$

где g – ускорение свободного падения; F_n , F_N – усилие сопротивления подаче и соответствующая нормальная составляющая усилия; μ , b – коэффициенты сухого и вязкого трения; V_{Π} – скорость подачи (возможно, что $V_{\Pi} < V_{\max}$).

По выбранной оценочной мощности определяется номинальная мощность электродвигателя (ЭД) $P_H \geq P_{\max}$. Для выбранного ЭД по каталогу находятся значения номинальной скорости ω_n , момента инерции $J_{\text{дв}}$ и КПД $\eta_{\text{дв}}$.

Если рабочий орган приводится в движение при помощи ведущего барабана (в подъемниках) или шестерни (при жестко связанной кинематики), то угловая скорость барабана (шестерни) определяется по формуле:

$$\omega_2 = V_H / R_2,$$

V_H – номинальная линейная скорость рабочего органа; R_2 – радиус барабана (шестерни).

При поступательном движении рабочего органа от винтовой передачи, угловая скорость винта:

$$\omega_2 = 2\pi \cdot V_H / t_B,$$

где t_B – шаг винта [м/об].

Передаточное число редуктора:

$$i = \omega_H / \omega_2.$$

С учетом того, что каждая n – я передача «шестерня-шестерня» редуктора обеспечивает передаточное число $i_n \leq 2 \dots 3 \approx e$, получаем $i = i_n^n$, где n – количество ступеней редуктора, и $n \approx \ln i$. КПД каждой ступени $\eta_n \approx 0,99$, поэтому КПД редуктора в номинальном режиме $\eta_p \approx \eta_n^n$.

3. Построение нагрузочных диаграмм и тахограмм для заданного цикла.

В задании установлен цикл работы установки, в котором определены отдельные подциклы (разгон, движение с установившейся скоростью, торможение, реверс и т.п.). Для построения нагрузочных диаграмм и тахограмм необходимо в каждом режиме определить значения времени t_i , скорости V_i , ускорения a_i , рывка ρ_i , перемещения S_i , момента сопротивления M_{ci} и динамического момента M_{di} . Определение этих величин может быть специфичным для каждой установки и поэтому появляется ниже в методических указаниях.

4. Выбор электродвигателя по нагрузочным диаграммам методом эквивалентного момента (мощности).

Эквивалентный момент рассчитывается по всем i -м участкам нагрузочной диаграммы за все время цикла $T_{\text{ц}}$:

$$M_y = \sqrt{M_i^2(t_i) t_i / T_{\text{ц}}}.$$

На участках с ускорением $\varepsilon_i = a_i \cdot i / R_2 \neq 0$ с моментом сопротивления M_{ci} алгебраически складывается динамический момент $M_{di} = J_i \cdot \varepsilon_i$, т.е.:

$$M_i(t_i) = (M_{ci}(t_i) + M_{di}(t_i)).$$

При выборе уточненного ЭД необходимо стремиться к тому, чтобы значение ω_n совпадало с соответствующим значением для предварительно выбранного ЭД (для исключения пересчета i , η_p и т.д.).

5. Разработка системы управления электроприводом и схем электроавтоматики логического управления технологической установкой.

Для выбранного типа и мощности ЭД выбираем комплектный преобразователь по справочной литературе. На чертежах системы управления электропривода (формат А4 или А3) приводятся:

- силовая схема электропривода;
- функциональная схема управляющей части электропривода;
- схема подключения электропривода к силовой сети и схеме управления.

Схема управления должна содержать:

- схему задатчика скорости с задатчиком интенсивности;
- схему логического управления электроавтоматикой, реализующей все режимы работы.

Схема логического управления может быть реализован аппаратным путем на базе релейно-контактных или логических элементов, или программным путем на базе микроконтроллера. В последнем случае приводится схема подключения ПК с необходимым набором согласующих элементов и алгоритм управления.

6. Построение статических характеристик элементов системы и механических характеристик электропривода.

Статические характеристики элементов системы управления (характеристики вход выход преобразователя и датчиков) и механические характеристики электропривода строятся аналогично курсовым работам дисциплин «Теория электропривода» и «Системы управления электроприводами».

7. Построение динамических характеристик системы электропривода (частотные характеристики контуров системы электропривода, переходные характеристики для отклонения в «малом» и «большом»).

Коррекция замкнутой системы управления электроприводом производится известными методами «Теории автоматического управления», в частности, наиболее распространенными методами подчиненного или модального управления, позволяющими получить стандартные настройки на технический или симметричный оптимум с определенными частотными и переходными характеристиками.

Необходимо также произвести расчет точности останова, исходя из выбранных элементов системы электропривода.

8. В заключении делаются выводы о соответствии параметров и свойств системы электропривода техническим требованиям, предъявляемым к установке.

2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

2.1. Автоматизированный электропривод высокоскоростного лифта

2.1.1. Описание установки

Расположение оборудования лифта представлено на рис.1.1. Здесь приняты обозначения: 1- электродвигатели лебедки лифта (M1) и открывания /закрывания дверей M2; 2- редукторы электроприводов; 3- ведущий барабан лебедки; 4- кабина; 5- противовес; 6- двери кабины; 7- двери шахты; 8- ходовой винт дверей кабины; 9- конечные выключатели хода дверей кабины.

Управление лифтом производится с пульта управления кабины (приказы) или с кнопок вызова кабины на этаже. Схема управления должна обеспечивать собирательной принцип при движении в обоих направлениях (выполнение попутных вызовов), а также следующие режимы работы:

а) нормальная работа – смешанное управление лифтом из кабины и с этажей: при действии приказа выполняются попутные вызовы.

б) ревизия – управление производится только с поста ревизии на крыше кабины от кнопок «Вверх», «Вниз» и «Стоп» с исключением действия кнопок приказов и вызовов, управления из машинного отделения.

в) аварийное перемещение осуществляется по команде из машинного отделения для снятия кабины с ловителей или ограничительных конечных выключателей.

г) тестовый прогон используется при обкатке лифта, проверки его работы, регистрации сбоев и отказов, локализации дефектных мест.

д) пожарная опасность – при поступлении сигнала от пожарной защиты кабина должна отправиться на этаж основной высадки с выходом на улицу.

Расчетный период работы лифта состоит из следующих циклов: подъем пустой кабины с 1-го этажа на верхний – пауза-спуск загруженной кабины на 1-й этаж-пауза-подъем загруженной кабины на верхний этаж – пауза – спуск пустой кабины.

Применяемый коэффициент загрузки $\gamma = m_r / m_{\text{норм}} = 0,75$.

Тахограмма $V(t)$ и графики ускорения $a(t)$ и рывка $p(t)$ приведены на рис.1.2.

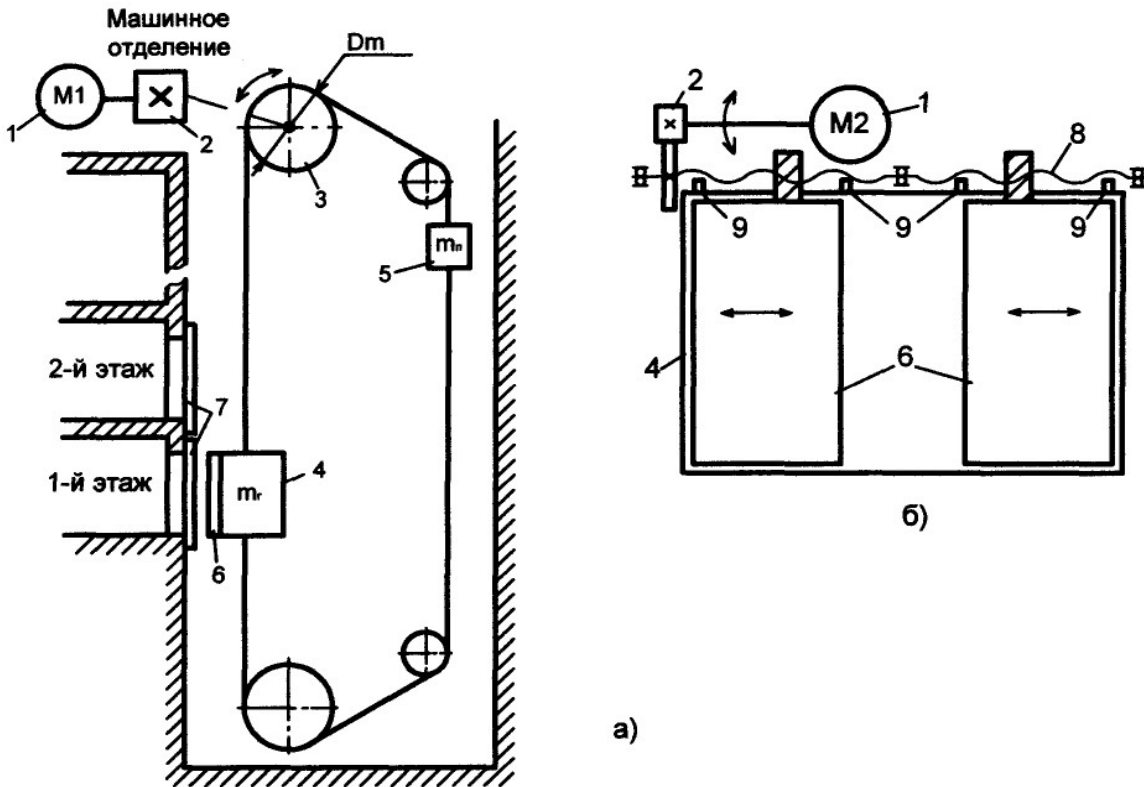


Рис.1.1. Расположение оборудования в шахте лифта (а) и схема механизма дверей (б): 1-электродвигатели лебедки и дверей; 2-редукторы; 3-в едущий шкив лебедки; 4-кабина; 5-противовес; 6-двери кабины; 7-двери шахты; 8-винтовая передача привода дверей; 9-ограничители хода дверей.

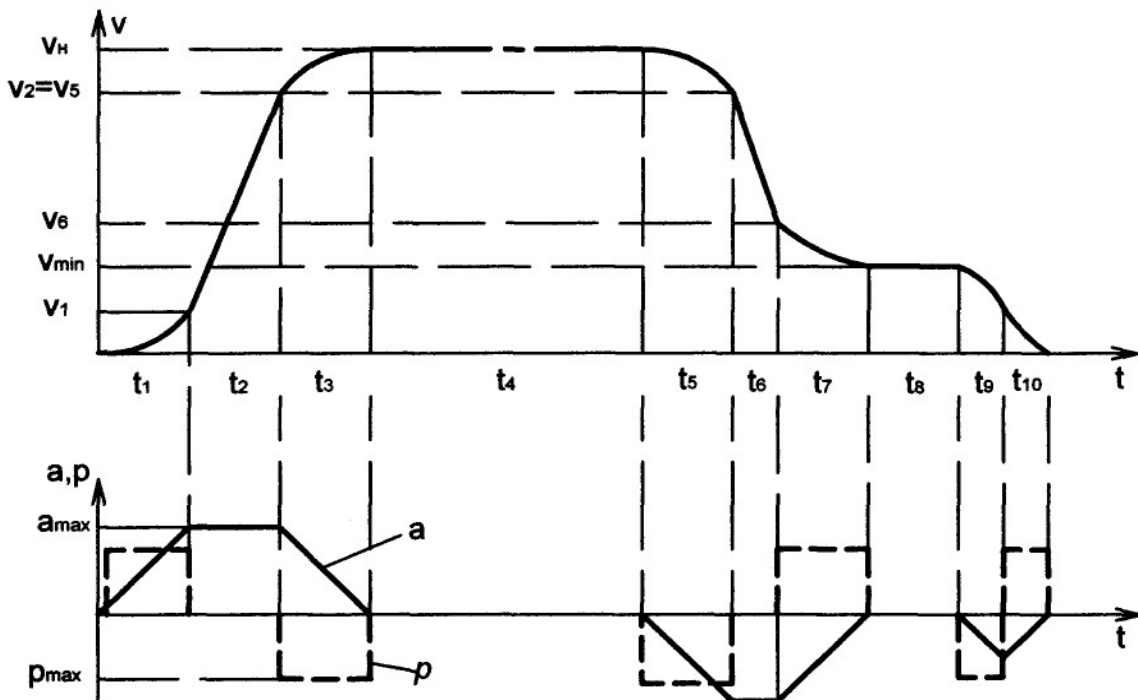


Рис.1.2. Графики скорости $V(t)$, ускорения $a(t)$ и рывка $p(t)$ за один цикл (подъем)

2.1.2. Исходные данные

Таблица 1

№ по списку	№ варианта	Параметры								
		V_{\min} , м/с	V_H , м/с	a_{\max} , м/с ²	p_{\max} , м/с ³	$m_{\text{ГНОМ}}$, кг	m_k , кг	$m_{\text{пр}}$, кг	H, м	$D_{\text{ш}}$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0,10	2,50	2,0	2,50	1000	2000	2500	100	550
5	2	0,15	2,75	2,0	2,5	1000	2000	2500	100	550
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	3	0,20	3,00	2,2	2,75	1200	2400	3000	120	600
13	4	0,25	3,25	2,2	2,75	1200	2400	3000	120	600
17	5	0,30	3,50	2,5	3,00	1300	2500	3100	140	650
21	6	0,35	3,75	2,5	3,00	1300	2500	3100	140	650

Здесь: H-высота подъёма; $D_{\text{ш}}$ – диаметр шкива лебедки. Точность останова для всех вариантов $\Delta S \leq 20$ мм.

2.1.3. Методические указания

После проведения предварительных расчетов по п.1 определяем параметры нагрузочной диаграммы.

Расчет моментов сопротивления M_{ci} :

-подъем с грузом

$$M_{C1} = \frac{g(m_{\text{А}}\gamma + m_k) \cdot R_{\emptyset}}{i \cdot \eta_1} - \frac{g \cdot m_{\text{ИД}} \cdot R_{\emptyset} \cdot \eta_1}{i}; \quad (1.1)$$

-спуск с грузом

$$M_{C2} = \frac{g(m_{\text{А}}\gamma + m_k) \cdot R_{\emptyset} \cdot \eta_2}{i} - \frac{g \cdot m_{\text{ИД}} \cdot R_{\emptyset} \cdot \eta_2}{i \cdot \eta_2}; \quad (1.2)$$

-подъем без груза

$$M_{C3} = \frac{g \cdot m_k \cdot R_{\emptyset}}{i \cdot \eta_3} - \frac{g \cdot m_{\text{ИД}} \cdot R_{\emptyset} \cdot \eta_3}{i}; \quad (1.3)$$

-спуск без груза

$$M_{C4} = \frac{g \cdot m_k \cdot R_{\emptyset} \cdot \eta_4}{i} - \frac{g \cdot m_{\text{ИД}} \cdot R_{\emptyset}}{i \cdot \eta_4}. \quad (1.4)$$

Здесь:

$$\eta_2 = 2 - 1/\eta_1;$$

$$\eta_3 \cong \left(\frac{m_{\bar{A}}}{m_{\bar{A}ii}} \right)^{0.5} \cdot \eta_1 = \gamma^{0.5} \cdot \eta_1;$$

$$\eta_4 = 2 - 1/\eta_3.$$

Расчет интервалов времени и перемещений производим по участкам.

1-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= a_{\max} / \rho_{\max}; \\ V_1 &= \rho_{\max} \cdot t_1^2 / 2; \\ S_1 &= \rho_{\max} \cdot t_1^3 / 6. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

2-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= (V_i - 2V_1) / a_{\max}; \\ V_2 &= V_1 + a_{\max} \cdot t_2; \\ S_2 &= V_1 \cdot t_2 + a_{\max} \cdot t_2^2 / 2; \\ t_{i\text{óñè}} &= 2t_1 + t_2. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

3-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= t_1; \\ S_3 &= V_2 \cdot t_3 + a_{\max} \cdot t_3^2 / 2 - \rho_{\max} \cdot t_3^3 / 6; \\ S_{i\text{óñè}} &= S_1 + S_2 + S_3. \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

4-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_4 &\approx \frac{H - 2 \cdot S_{i\text{óñè}}}{V_i}; \\ V_4 &= V_i. \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

5-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_5 &= t_1; \\ V_5 &= V_4 - \rho_{\max} \cdot t_5^2 / 2; \\ S_5 &= V_4 \cdot t_5 - \rho_{\max} \cdot t_5^3 / 6. \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

6-й участок:

$$\left. \begin{aligned} V_6 &= V_7 + a_{\max} \cdot t_7 - \rho_{\max} \cdot t_7^2 / 2; \\ t_6 &= (V_5 - V_6) / a_{\max}; \\ S_6 &= V_5 \cdot t_6 - a_{\max} \cdot t_6^2 / 2. \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

7-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_7 &= t_5 = t_1; \\ V_7 &= V_8 = V_{\min}; \\ S_7 &= V_6 \cdot t_7 + a_{\max} \cdot t_7^2 / 2 - \rho_{\max} \cdot t_7^3 / 6. \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

Торможение:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{от } \delta i} &= t_5 + t_6 + t_7; \\ S_{\text{от } \delta i} &= S_5 + S_6 + S_7. \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

Время дотягивания на V_{\min} принимаем $t_8=1$ с.

9-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_9 &= \sqrt{\frac{V_8}{\rho_{\max}}}; \\ V_9 &= V_8 - \rho_{\max} \cdot t_9^2/2; \\ S_9 &= V_8 \cdot t_9 - \rho_{\max} \cdot t_9^3/6. \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

10-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_{10} &= t_9; \\ a_{10} &= a_9 - \rho_{\max} \cdot t_{10}^2/2 = 0; \\ V_{10} &= V_9 + a_9 \cdot t_{10} - \rho_{\max} \cdot t_{10}^2/2 = 0; \\ S_{10} &= V_9 \cdot t_{10} + a_9 \cdot t_{10}^2/2 - \rho_{\max} \cdot t_{10}^3/6. \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

Путь и время точного останова:

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{от } i \cdot i \cdot \text{н} \cdot \text{н}} &= S_8 + S_9 + S_{10} \\ t_{\text{от } i \cdot i \cdot \text{н} \cdot \text{н}} &= t_8 + t_9 + t_{10}. \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

Время пауз принимаем:

$$t_i = t_{i1} + 2 \cdot (t_{i2} + t_{i3}), \quad (1.16)$$

где $t_{п1} \approx 2$ с – опрос, нажатие кнопки; $t_{п2} \approx 1,5$ с – открывание/закрывание дверей; $t_{п3} \approx 10$ с – вход выход пассажиров.

Время цикла:

$$T_{ц} = 4(t_{дв} + t_{п}). \quad (1.17)$$

Продолжительность включения:

$$\ddot{I} \hat{A} = \left(\frac{4 \cdot t_{\hat{a}\hat{a}}}{T_{\hat{o}}} \right) \cdot 100\%; \quad (1.18)$$

Моменты инерции пустой кабины и с грузом:

$$J_1 = J_{\hat{a}\hat{a}} + \frac{(m_{\hat{e}} + m_{i\delta}) \cdot R_{\hat{o}}^2}{i^2}; \quad (1.19)$$

$$J_2 = J_{\hat{a}\hat{a}} + \frac{(m_{\hat{e}} + m_{i\delta} + m_{\hat{a}}) \cdot R_{\hat{o}}^2}{i^2}. \quad (1.20)$$

Далее, в соответствии с указаниями по п.1, строим нагрузочную диаграмму, производим уточненный выбор ЭД, разрабатываем систему управления, рассчитываем её параметры, строим статические и динамические характеристики.

2.2. Автоматизированный электропривод работа-манипулятора

2.2.1. Описание установки

Расположение механизмов работа-манипулятора приведено на рис.2.1. Из зоны загрузки комплектующие изделия и детали передаются роботом-манипулятором в соответствующие ячейки склада-штабеллера, и по мере надобности требуемых изделий, на конвейере передаются из ячеек склада в зону выгрузки.

Цикл работы работа состоит из следующих интервалов (начиная с зоны загрузки):

- захват изделия;
- перемещение тележки до заданного столбца ячеек склада;
- поворот несущего механизма 4;
- подъем несущего механизма 4 при помощи вертикального механизма 3;
- выдвижение механизма 4 с грузом в ячейку;
- отпускание изделия;
- выдвижение механизма 4 от ячейки;
- перемещение тележки и подъемного механизма к нулевой ячейке с требуемым на конвейере изделием;
- перемещение грузозахвата в ячейку;
- захват груза;
- выдвижение механизма 4 от ячейки;
- перемещение поворотного, подъемного механизмов и тележки в зону выгрузки;
- отпускание изделия;
- перемещение тележки и поворотного механизма в зону загрузки.

В данной работе рассчитывается электропривод механизма подъема работа-манипулятора. Время, затрачиваемое на остальные движения и операции, считается при этом временем паузы. Период работы подъемного механизма состоит из следующих циклов: подъем пустого грузозахвата – пауза – опускание грузозахвата с грузом – пауза – подъем грузозахвата с грузом – пауза – опускание пустого грузозахвата.

Команды на управление роботом – манипулятором приходят от центральной ЭВМ диспетчирования производства; сюда же собираются ответные сигналы от работа об исполнении команд.

Бесконтактная схема приема передачи команд управления на робот может быть реализована на базе полупроводниковых приборов инфракрасного излучения или радиолокационным способом (в настоящей работе не рассматривается). Схема управления роботом, расположенная на тележке, должна обеспечивать следующие режимы работы:

- а) нормальный автоматический режим с управлением от центральной ЭВМ;

б) наладочный режим с управлением от кнопок «Вперед», «Назад», «Стоп», и переключателя выбора механизма робота, пульта управления, расположенного на тележке робота.

Применяемый средний коэффициент загрузки механизма подъема $\gamma = m_H / m_{\text{НОМ}} = 0,75$. Тахограмма $V(t)$, графики ускорения $a(t)$ и рывка $\rho(t)$ приведены на рис.2.2.

2.2.2. Исходные данные

Таблица 2

№ по списку	№ варианта	Параметры							
		V_{\min} , м/с	V_H , м/с	a_{\max} , м/с ²	ρ_{\max} , м/с ³	m_4 , кг	$m_{\text{ГН}}$, кг	H , м	t_B , мм
2	1	0,05	0,20	0,50	4,0	50	100	2,0	5,0
6	2	0,05	0,25	0,55	4,0	50	120	2,0	5,0
10	3	0,05	0,30	0,60	4,5	75	150	2,2	5,0
14	4	0,06	0,35	0,65	4,5	75	170	2,2	10,0
18	5	0,06	0,4	0,70	5,0	100	200	2,5	10,0
22	6	0,06	0,45	0,75	5,0	100	250	2,5	10,0

Здесь: H – высота подъема; t_B – шаг винта механизма подъема; m_4 – масса механизма подъема с грузозахватом; $m_{\text{ГН}}$ – номинальная масса груза. Точность останова для всех вариантов $\Delta S \leq 0.5$ мм.

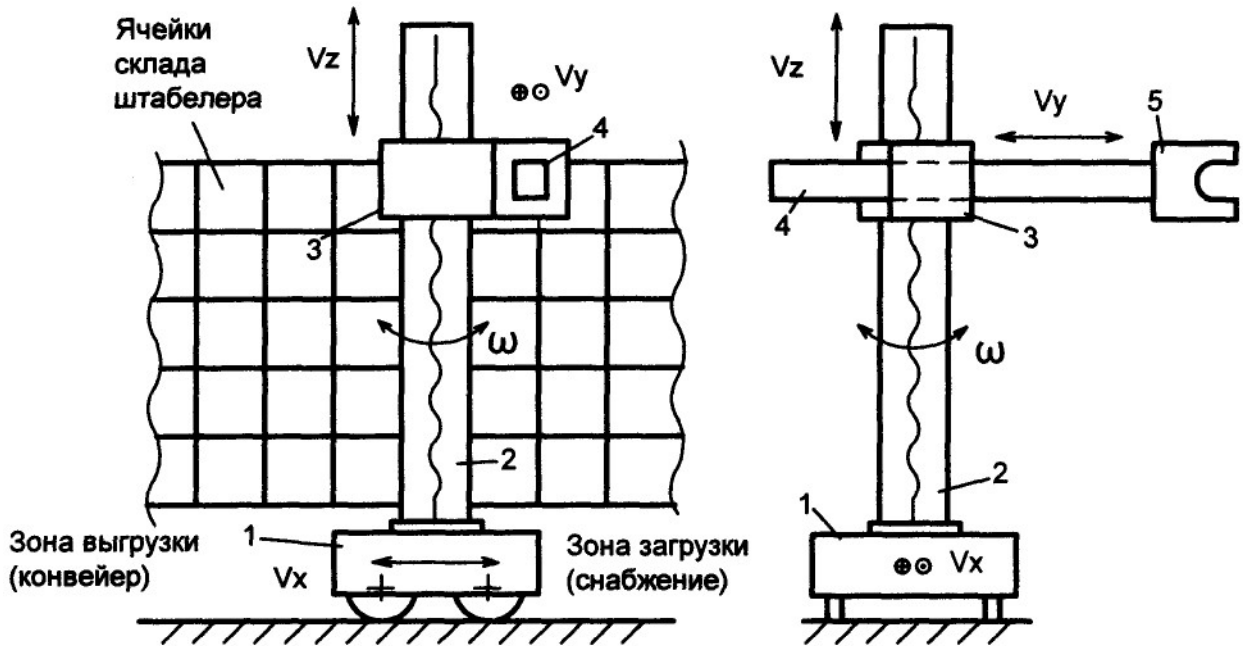


Рис.2.1. Расположение механизмов робота-манипулятора склада штабелера:
 1 - тележка; 2 - поворотная колонна; 3 - вертикальный несущий механизм; 4 - несущий механизм грузозахвата; 5 – грузозахват

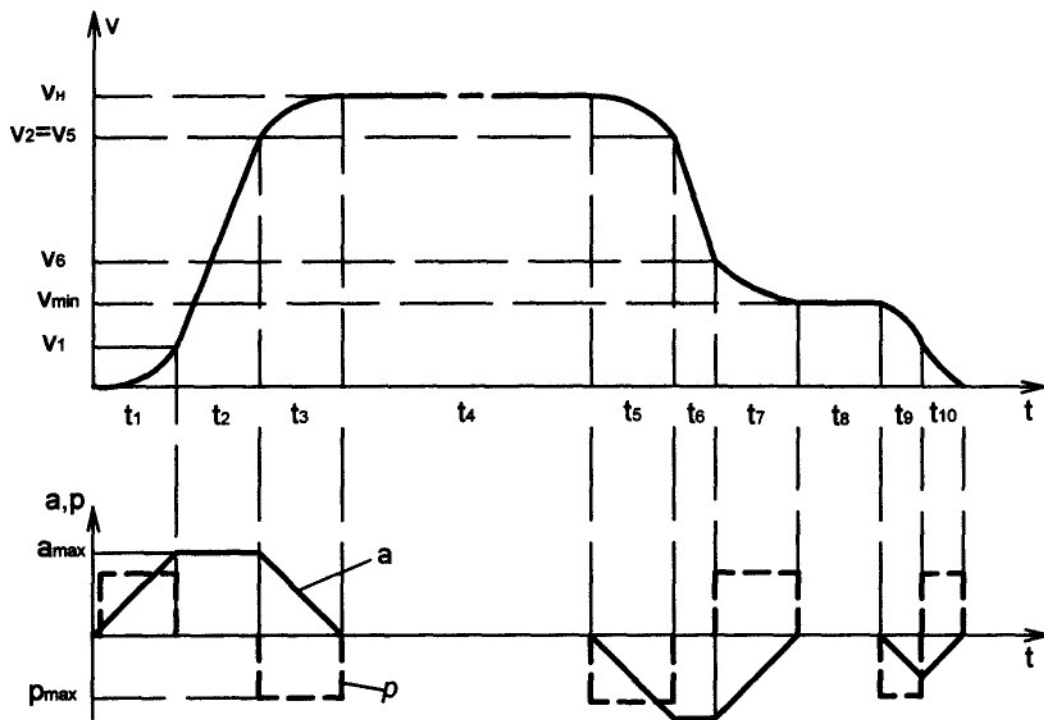


Рис. 1.2. Графики скорости $V(t)$, ускорения $a(t)$ и рывка $p(t)$ за один цикл

2.2.3. Методические указания

После проведения предварительных расчетов по п.1 определяем параметры нагрузочной диаграммы.

Расчет моментов сопротивления M_{ci} :

- подъём с грузом

$$M_{C1} = g(\gamma \cdot m_{\text{ái}} + m_4) \cdot t_{\hat{a}} / 2\pi \cdot i \cdot \eta_1; \quad (2.1)$$

- спуск с грузом

$$M_{C2} = g(\gamma \cdot m_{\text{ái}} + m_4) \cdot t_{\hat{a}} \cdot \eta_2 / 2\pi \cdot i; \quad (2.2)$$

- подъём без груза

$$M_{C3} = g(\gamma \cdot m_{\text{ái}} + m_4) \cdot t_{\hat{a}} / 2\pi \cdot i \cdot \eta_3; \quad (2.3)$$

- спуск без груза

$$M_{C4} = g(\gamma \cdot m_{\text{ái}} + m_4) \cdot t_{\hat{a}} \cdot \eta_4 / 2\pi \cdot i; \quad (2.4)$$

Здесь:

$$\eta_1 = \eta_{\delta} \cdot \eta_{\hat{a}}; \quad \eta_2 = 2 - 1/\eta_1; \quad \eta_3 = \sqrt{\gamma} \cdot \eta_1; \quad \eta_4 = 2 - 1/\eta_3; \quad \eta_{\hat{a}} \approx 0,95 - \text{КПД}$$

винта.

Расчет интервалов времени и перемещений производим по участкам.

1-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= a_{\text{max}} / p_{\text{max}}; \\ V_1 &= p_{\text{max}} \cdot t_1^2 / 2; \\ S_1 &= p_{\text{max}} \cdot t_1^3 / 6. \end{aligned} \right\}; \quad (2.5)$$

2-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= (V_i - 2 \cdot V_1) / a_{\text{max}}; \\ V_2 &= V_1 + a_{\text{max}} \cdot t_2; \\ S_2 &= V_1 \cdot t_2 + a_{\text{max}} \cdot t_2^2 / 2; \\ t_{i \text{ óñè}} &= 2t_1 + t_2. \end{aligned} \right\}; \quad (2.6)$$

3-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= t_1; \\ S_3 &= V_2 \cdot t_3 + a_{\text{max}} \cdot t_3^2 / 2 - p_{\text{max}} \cdot t_3^3 / 6; \\ S_{i \text{ óñè}} &= S_1 + S_2 + S_3. \end{aligned} \right\}; \quad (2.7)$$

4-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_4 &\approx \frac{H - 2 \cdot S_{i \text{ óñè}}}{V_i}; \\ V_4 &= V_i. \end{aligned} \right\}; \quad (2.8)$$

5-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_5 &= t_1; \\ V_5 &= V_4 - \rho_{\max} \cdot t_5^2/2; \\ S_5 &= V_4 \cdot t_5 - \rho_{\max} \cdot t_5^3/6. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

6-й участок:

$$\left. \begin{aligned} V_6 &= V_7 + a_{\max} \cdot t_7 - \rho_{\max} \cdot t_7^2/2; \\ t_6 &= (V_5 - V_6)/a_{\max}; \\ S_6 &= V_5 \cdot t_6 - a_{\max} \cdot t_6^2/2. \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

7-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_7 &= t_5 = t_1; \\ V_7 &= V_8 = V_{\min}; \\ S_7 &= V_6 \cdot t_7 + a_{\max} \cdot t_7^2/2 - \rho_{\max} \cdot t_7^3/6. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Торможение:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{дт}} &= t_5 + t_6 + t_7; \\ S_{\text{дт}} &= S_5 + S_6 + S_7. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Время дотягивания на V_{\min} принимаем $t_8=0,5$ с; $V_8=V_{\min}$.

9-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_9 &= \sqrt{\frac{V_8}{\rho_{\max}}}; \\ V_9 &= V_8 - \rho_{\max} \cdot t_9^2/2; \\ S_9 &= V_8 \cdot t_9 - \rho_{\max} \cdot t_9^3/6. \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

10-й участок:

$$\left. \begin{aligned} t_{10} &= t_9; \\ a_{10} &= a_9 - \rho_{\max} \cdot t_{10}^2/2 = 0; \\ V_{10} &= V_9 + a_9 \cdot t_{10} - \rho_{\max} \cdot t_{10}^2/2 = 0; \\ S_{10} &= V_9 \cdot t_{10} + a_9 \cdot t_{10}^2/2 - \rho_{\max} \cdot t_{10}^3/6. \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Путь и время точного останова:

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{точ_ост}} &= S_8 + S_9 + S_{10} \\ t_{\text{точ_ост}} &= t_8 + t_9 + t_{10} \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Время пауз принимаем:

$$t_n = t_{n1} + 2(t_{n2} + t_{n3}), \quad (2.16)$$

где $t_{n1} \cong 1\text{с}$ – захват (отпускание) груза из ячейки (в ячейку); $t_{n2} = 5\text{с}$ – перемещение тележки из зоны загрузки. t_{n3} – перемещение тележки из зоны выгрузки.

Время цикла:

$$T_0 = 4(t_{a\ddot{a}} + t_n) \quad (2.17)$$

Моменты инерции пустого грузозахвата и с грузом:

$$J_1 = J_{a\ddot{a}} + \frac{m_4 \cdot t_a^2}{4 \cdot \pi \cdot i^2}. \quad (2.18)$$

$$J_2 = J_{a\ddot{a}} + \frac{(m_4 + \gamma \cdot m_{a\ddot{a}}) t_a^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot i^2}. \quad (2.19)$$

Далее, в соответствии с указанным по п.1, строим нагрузочную диаграмму, производим уточненный выбор ЭД, разрабатываем систему управления, рассчитываем её параметры, строим статические и динамические характеристики.

2.3 Автоматизированный электропривод экскаватора-лопаты

2.3.1 Описание установки

Общий вид карьерного экскаватора-лопаты представлен на рис. 3.1

Управление всеми механизмами (установка стрелы на нужный угол подъема, подъем ковша, напор рукояти, поворот корпуса, открытие ковша, ход экскаватора), осуществляется из кабины машиниста. В настоящем задании предусматривается расчет электропривода подъема ковша.

Схема управления каждым механизмом предполагает ручное регулирование скорости электроприводов при помощи командоконтроллеров или джойстиков (в случае микропроцессорной системы управления) и должна обеспечивать следующие режимы:

- а) нормальная работа с управлением из кабины машиниста;
- б) наладка (ревизия) – управление из кабины или при помощи вспомогательного пульта в машинном отделении;
- в) аварийное торможение при нагрузках и исчезновении питания;
- г) ограничение ходов механизмов;
- д) блокировки аварийных режимов и их индикацию.

Расчетный период работы механизма состоит из следующих циклов: подъем ковша из начального положения (т.1 на расчетной схеме по рис 3.20; угол копания $\alpha_1=0$), начало копания (т.2; $\alpha_2=15^\circ$), конец забора грунта (т.3; $\alpha_3=60^\circ$), окончание подъема ковша (т.4; $\alpha_4=75^\circ$), поворот корпуса, открытие люка ковша и высыпание грунта, поворот корпуса в исходное положение,

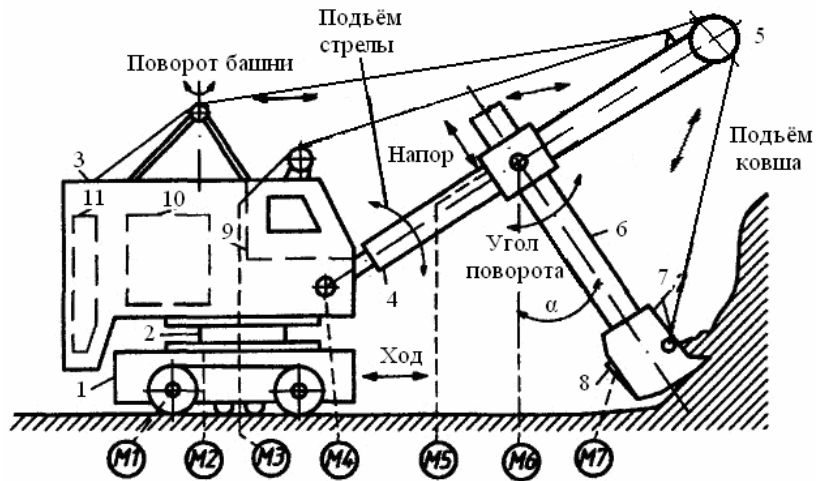


Рис.3.1. Общий вид экскаватора-лопаты: 1 - ходовая часть; 2 - поворотная платформа; 3 - корпус; 4 - стрела; 5 - шкив подъема ковша; 6 - рукоять; 7 - ковш; 8 - люк открытия ковша; 9 - кабина оператора; 10 - машинное отделение; 11 - противовес; электродвигатели M1 - хода, M2 - поворота, M3 - подъема ковша, M4 - подъема стрелы, M5 - напора рукояти, M6 - поворота, M7 - открытия люка ковша

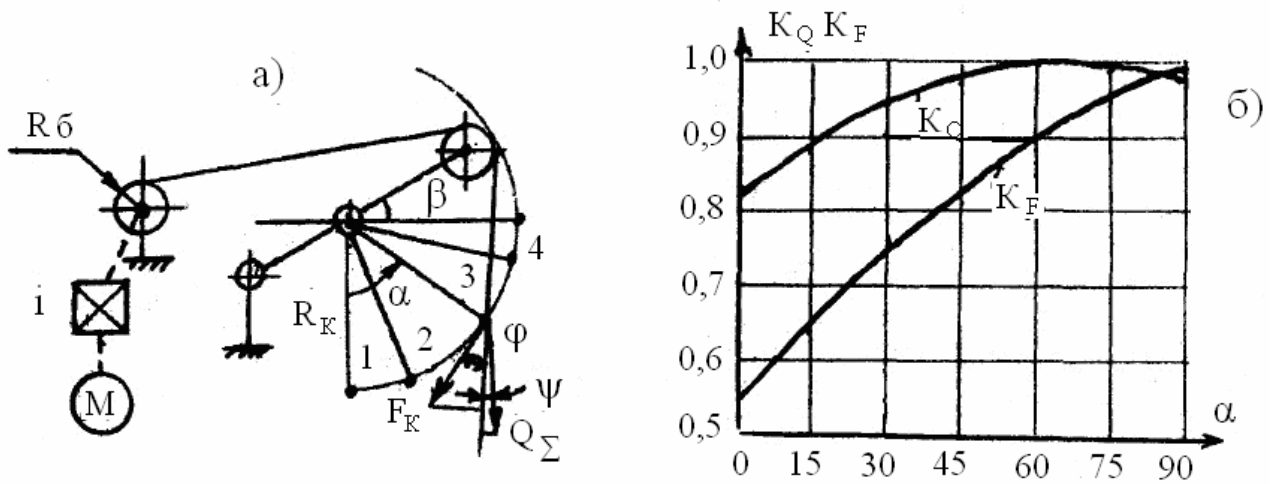


Рис.3.2. Расчетная схема определения усилий копания и подъема ковша (а) и номограмма определения коэффициентов приведения (б)

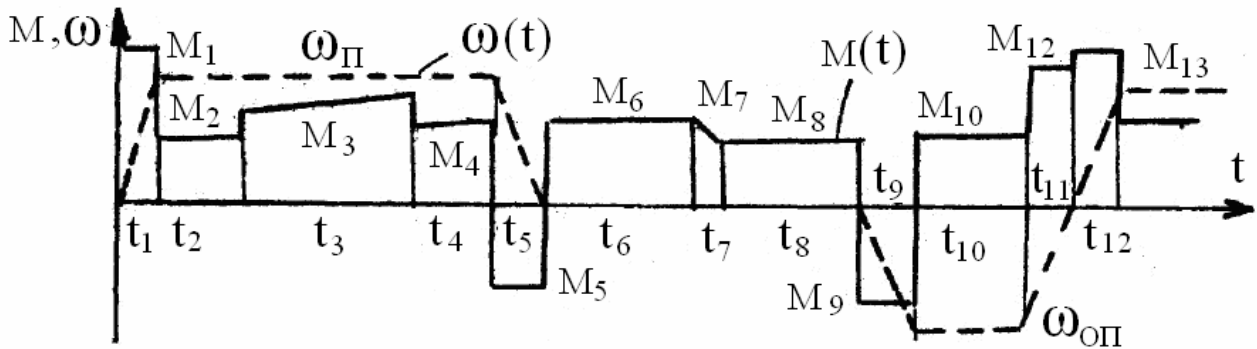


Рис. 3.3. Тахограмма и нагрузочная диаграмма электропривода подъема ковша за цикл

опускание ковша в начальную точку. Несмотря на то, что копание осуществляется при небольшой скорости подачи рукояти (напора) для нормального забора грунта, длины вылета рукояти и стрелы следует считать постоянными и равными радиусу копания: $l_p=l_c=R_K$, т.е. траектория движения ковша совпадает с дугой окружности радиуса R_K . Коэффициент заполнения ковша $k_3=0,9$. Тахограмма угловой скорости ЭД подъема $\omega(t)$ и график нагрузки приведены на рис. 3.3.

2.3.2 Исходные данные

Таблица 3

№ по списку	№ варианта	V , м ³	R_K , м	V_K , м/с	$V_{оп}$, м/с	m_K , Т	m_P , Т	a_{MAX} , м/с ²	$R_{ш}$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	3,0	10,0	0,8	1,4	6,0	3,5	1,2	0,20
7	2	3,5	10,0	0,8	1,4	6,5	3,8	1,0	0,20
11	3	4,0	12,0	0,8	1,2	7,2	4,2	1,0	0,25
15	4	6,0	13,5	0,7	1,2	7,6	4,4	0,8	0,25
19	5	8,0	13,5	0,6	1,0	8,0	4,6	0,8	0,30
23	6	10,0	15,0	0,6	1,0	8,5	4,8	0,7	0,30

Здесь: V - объем ковша; R_K - радиус копания; V_K , $V_{оп}$ – скорости подъема и опускания ковша; m_K , m_P – масса ковша и рукояти; a_{MAX} – ускорение; $R_{ш}$ – радиус шкива лебедки ковша.

Общие данные: углы подъема - $\alpha_1=0$; $\alpha_2=15^\circ$; $\alpha_3=60^\circ$; $\alpha_3=75^\circ$; угол подъема стрелы $\beta=30^\circ$; удельный вес грунта $\gamma=2$ Т/ м³; удельный коэффициент копания $K_{уд}=15$ кН/ м³.

2.3.3 Методические указания

Для определения тягового усилия на тросе механизма подъема ковша необходимо спроецировать усилия сопротивления на линию, параллельную линии натяжения троса (рис. 3.2а). Приведенное усилие от веса рукояти, ковша и груза: $Q'_\Sigma = Q_\Sigma \cdot \cos\psi = Q \cdot K_Q = K_Q \cdot g (m_P + m_K + m_{гр})$; где $g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; $m_{гр}$ - масса груза; увеличивающаяся при копании от $m_{гр}=0$ до $m_{гр} = k_3 \cdot \gamma \cdot V$. Приведенное усилие копания: $F'_K = F_K \cos\varphi = F_K \cdot k_F = k_F \cdot K_{уд} \cdot V$. Полное приведенное усилие сопротивления:

$$F_C = Q'_\Sigma + F'_K.$$

Номограмма для определения коэффициентов k_Q, k_F приведена на рис.3.2б. Максимальное значение $F_{C_{MAX}}$ достигается в момент окончания заполнения ковша (т.3 по рис. 3.2а, $\alpha_3=60^\circ$).

Оценочная мощность механизма подъема ковша: $P = F_{C_{MAX}} \cdot V_K$. По этой мощности выбирается предварительно ЭД, его номинальная угловая скорость ω_n и момент инерции $J_{дв}$.

После определения передаточного числа i , КПД редуктора $\eta_1 = \eta_{PH}$ определяем параметры нагрузочной диаграммы.

Расчет моментов сопротивления:

-подъем с грузом и копание ($\alpha=0-75^\circ$)

$$M_{C1} = \frac{F_C(\alpha) \cdot R_\emptyset}{i \cdot \eta_1}; \quad (3.1)$$

-удерживание ковша с грузом при повороте корпуса ($\alpha=75^\circ$, $m_{гр} = k_3 \cdot \gamma \cdot V$)

$$M_{C2} = \frac{F_{C\text{MAX}} \cdot R_\emptyset}{i \cdot \eta_1}; \quad (3.2)$$

-удерживание пустого ковша при повороте корпуса ($\alpha=75^\circ$, $m_{гр}=0$)

$$M_{C3} = \frac{F_{C\text{MIN}} \cdot R_\emptyset}{i \cdot \eta_3}; \quad (3.3)$$

- опускание пустого ковша в исходное положение ($\alpha=75^\circ-0$, $m_{гр}=0$)

$$M_{C4} = \frac{F_C(\alpha) \cdot R_\emptyset \cdot \eta_4}{i}; \quad (3.4)$$

$$\text{здесь } t_1 = \frac{J \cdot \omega_H}{M_I - M_{\text{н0}} - 0,5M_{\text{а0}}}, \quad \eta_3 = \left(\frac{F_{C\text{MIN}}}{F_{C\text{MAX}}} \right)^{0,5} \square \eta_1; \quad \eta_4 = 2 - \frac{1}{\eta_3}.$$

Расчет интервалов времени и перемещений проводим по участкам (см. рис. 3.3)

1-й участок (пуск ЭД):

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= V_K / a_{\text{MAX}}; \\ S_1 &= \frac{V_K \cdot t_1}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

2-й участок ($\alpha=0-15^\circ$):

$$\left. \begin{aligned} S_2 &= 2 \cdot \pi \cdot R_K \alpha_2 / 360; \\ t_2 &= S_2 / V_K. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

3-й участок ($\alpha=15^\circ-60^\circ$):

$$\left. \begin{aligned} S_3 &= 2 \cdot \pi \cdot R_K (\alpha_3 - \alpha_2) / 360; \\ t_3 &= S_3 / V_K. \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

4-й участок ($\alpha=60^\circ-75^\circ$):

$$\left. \begin{aligned} S_4 &= 2 \cdot \pi \cdot R_K (\alpha_4 - \alpha_3) / 360; \\ t_4 &= S_4 / V_K. \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

5-й участок (торможение ЭД):

$$t_5 = t_1; S_5 = S_1. \quad (3.9)$$

Время поворота корпуса к месту выгрузки и к исходному положению принимаем $t_6=t_8=15\text{с}$, время выгрузки $t_7=3\text{с}$.

9-й участок (пуск ЭД до скорости $V_{\text{оп}}$):

$$\left. \begin{aligned} S_9 &= V_{i\dot{i}} t_1/2; \\ t_9 &= V_{i\dot{i}} / a_{\text{MAX}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

10-й участок (опускание ковша, $\alpha=75^\circ-0$):

$$\left. \begin{aligned} S_{10} &= 2 \cdot \pi \cdot R_K \alpha_4 / 360; \\ t_{10} &= S_{10} / V_{i\dot{i}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

11-й участок (торможение ЭД):

$$t_{11}=t_9; S_{11}=S_9. \quad (3.12)$$

Время цикла:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^{i=11} t_i. \quad (3.13)$$

Моменты инерции, как усилия сопротивления, зависят от угла копания α . В первом приближении для пустого и нагруженного ковша принимаем:

$$J_1 = J_{\text{АА}} + \frac{(m_p + m_K) R_{\text{с}}^2}{i^2}; \quad (3.14)$$

$$J_2 = J_{\text{АА}} + \frac{(m_p + m_K + m_{\text{ад}}) R_{\text{с}}^2}{i^2}. \quad (3.15)$$

Далее, в соответствии с указаниями по п.1, определяем динамические моменты M_{g1} , строим нагрузочную диаграмму, производим уточненный выбор ЭД; разрабатываем систему управления, рассчитываем ее параметры, строим статические и динамические характеристики.

2.4 Автоматизированный электропривод продольно-строгального станка

2.4.1 Описание установки

Расположение механизмов станка приведено на рис. 4.1. Плоские поверхности типа «плита» обрабатываются строганием. При рабочем ходе стола, резцом снимается стружка глубиной h и шириной b (см. рис. 4.2), возврат в исходное положение производится на скорости быстрого хода $V_{\text{бх}}$ при поднятом резце; одновременно осуществляется поперечное смещение по координате Y на величину шага строгания b .

После установки детали на стол (см. рис. 4.3), закрепления резца на суппорте, настройки станка (установка длины прохода l , величины шага строгания b , рабочей скорости V_p) производится запуск станка, при этом реализуются циклы: разгон стола до скорости резания V_p (интервал t_1) подход к детали (t_2), строгание (t_3), перебег (t_4), реверс стола до скорости быстрого хода $V_{\text{бх}}$ (t_5 и t_6), возврат в исходное положение (t_7), торможение стола (t_8).

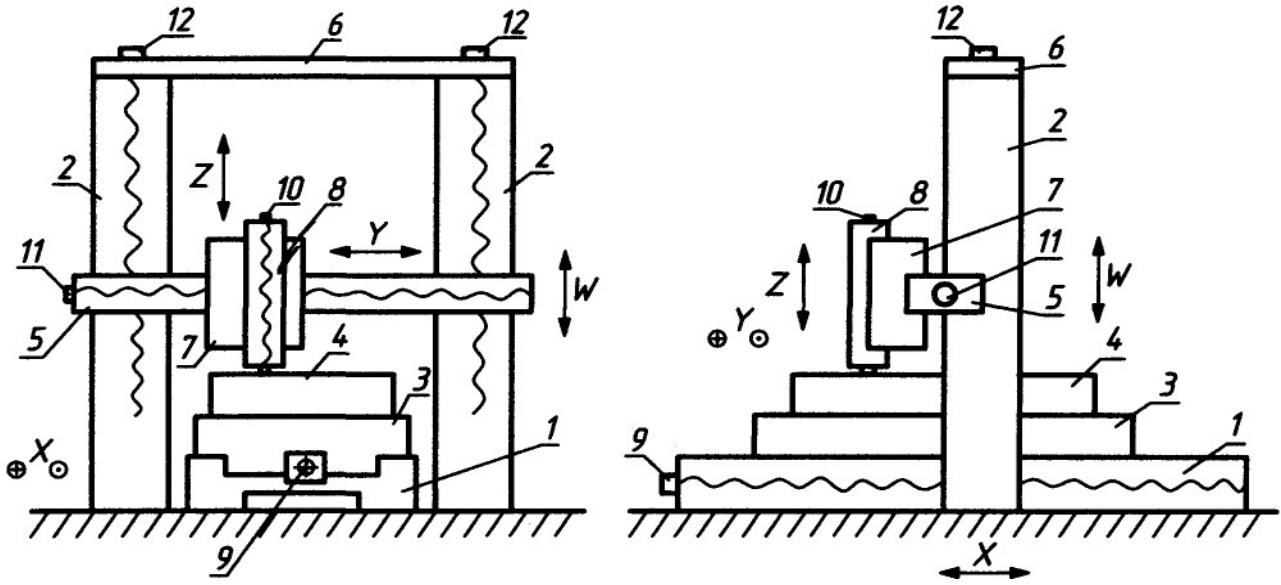


Рис. 4.1. Общий вид продольно-строгального станка: 1 - станция; 2 - стойки; 3 - стол; 4 - деталь; 5,6 - подвижная и неподвижная поперечины; 7 - сани; 8 - суппорт; 9,10,11,12 – электродвигатели подачи стола, суппорта, саней, поперечины



Рис. 4.2. Сечение срезаемого слоя при строгании

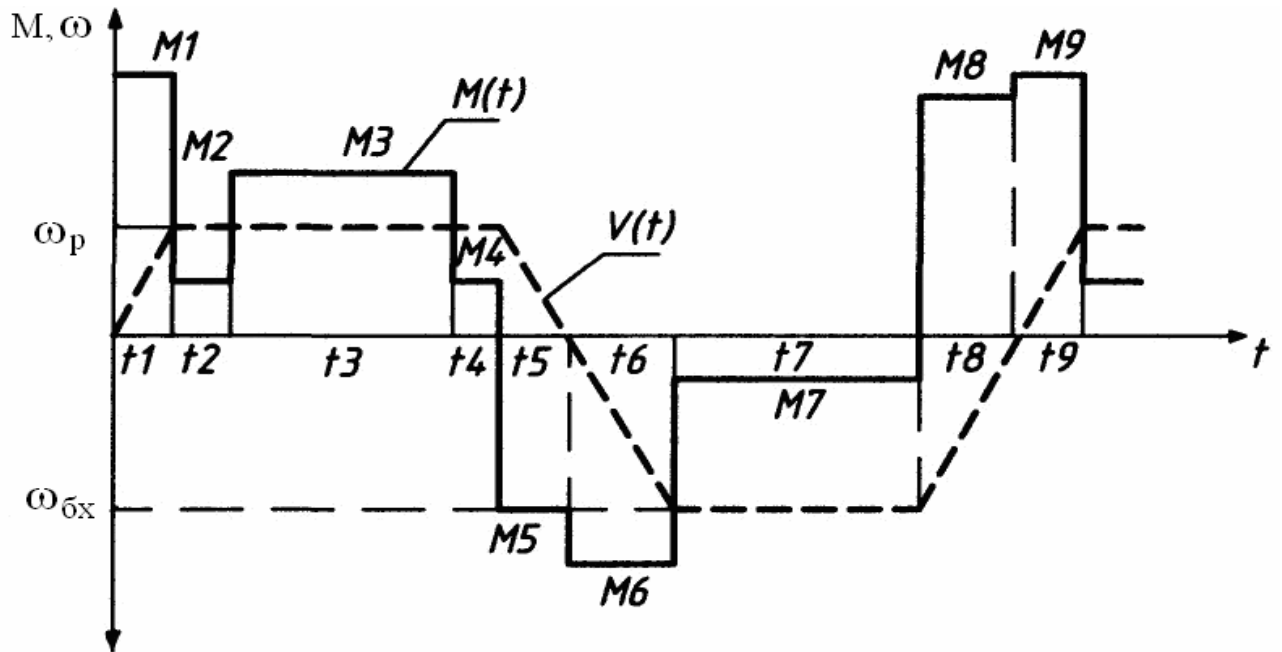


Рис. 4.3. Тахограмма и нагрузочная диаграмма электропривода стола

Управление электроприводами может производиться в автоматическом режиме с непрерывным отсчетом перемещений по датчикам пути от системы ЧПУ или в полуавтоматическом режиме с контролем перемещений по путевым конечным выключателям от системы циклового логического управления.

Схема управления должна обеспечивать следующие режимы:

- а) Нормальная работа- строгание в полуавтоматическом или автоматическом режиме;
- б) управление электроприводами на холостом ходу с регулированием скорости в ручном режиме;
- в) аварийное торможение при нагрузках и исчезновении питания;
- г) ограничение ходов механизмов;
- д) блокировки аварийных режимов и их индикацию.

Цикл работы привода подачи стола станка состоит из интервала времени t_1 - t_8 по рис. 4.3.

2.4.2. Исходные данные

Таблица 4

№ по списку	№ варианта	$m_{СТ}$, Т	m_g , Т	V_p , м/с	$V_{бх}$, м/с	L, м	bхh, мм	t_b , мм	η_b , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	1	2,0	1,0	0,5	1,0	2,0	3х2	20	0,95
8	2	2,8	1,4	0,5	1,0	2,5	4х2	20	0,95
12	3	3,2	2,0	0,6	1,2	3,0	5х3	25	0,92
16	4	4,0	2,5	0,6	1,2	3,5	6х3	25	0,92
20	5	4,8	4,0	0,7	1,4	4,0	6х4	40	0,88
24	6	6,0	5,0	0,7	1,4	5,0	7х4	40	0,88

Здесь: $m_{СТ}$ и m_g – масса стола и детали; L- длина детали; b,h – ширина (шаг строгания) и глубина резания; t_b - шаг винта; η_b - КПД винта.

Общие данные: $\mu=0,08$ - коэффициент сухого трения в направляющих скольжения; $b = 3 \frac{e \dot{I} \square \tilde{n}}{i}$ - коэффициент вязкого трения; $C_F = F_p / bh = 0,8 \frac{e \dot{I} \square \tilde{n}}{i i^2}$ - удельный коэффициент резания; $K_N = 0,5$ - коэффициент нормальной составляющей усилия резания.

2.4.3 Методические указания

Усилие резания:

$$F_p = C_F bh. \quad (4.1)$$

Нормальная составляющая резания, перпендикулярная плоскости стола:

$$F_N = K_N \cdot F_p. \quad (4.2)$$

Суммарный вес стола с деталью:

$$Q = g(m_{CT} + m_g). \quad (4.3)$$

Усилие сопротивления на быстром ходу:

$$F_{Ca\delta} = \mu Q + bV_{a\delta}. \quad (4.4)$$

Усилие сопротивления при резании:

$$F_{CP} = F_P + \mu(Q + F_N) + bV_P. \quad (4.5)$$

Определяем мощность при резании $P_P = F_{CP} V_P$ и на быстром ходу $P_{a\delta} = F_{Ca\delta} V_{a\delta}$ и по наибольшей из этих мощностей выбираем ЭД, номинальную угловую скорость ω_i , момент инерции J_{AA} , КПД η_{AA} , перегрузочную способность по току λ_i .

Т.к. реализация скорости $V_{a\delta}$ обычно производится при регулировании двигателя при $P = \text{const}$, то необходимо выбрать ЭД с 2-х зонным

регулированием с диапазоном во 2-й зоне $P_a = \frac{\omega_{\max}}{\omega_H} \geq \frac{V_{a\delta}}{t_a}$.

Угловая скорость винта при резании:

$$\omega_a = 1000 \frac{2\pi V_P}{t_a}. \quad (4.6)$$

Передаточное число редуктора:

$$i = \omega_H / \omega_a. \quad (4.7)$$

КПД редуктора η_p определяем в соответствии с указаниями п.1. Общий КПД механизма подачи стола:

$$\eta_1 = \eta_a \eta_p. \quad (4.8)$$

Номинальный момент ЭД в 1-й зоне регулирования:

$$M_H = P_H / \omega_H. \quad (4.9)$$

Пусковой момент ЭД в 1-й зоне:

$$M_I = \lambda_1 M_H. \quad (4.10)$$

Значения M_H и M_{II} во 2-й зоне обратно пропорциональны отношению $(\omega > \omega_H) / \omega_H$ или уменьшаются прямо пропорционально изменению потока возбуждения ЭД.

Моменты сопротивления при резании (M_3 по рис. 4.3) и на быстром ходу (M_7 по рис. 4.3):

$$M_3 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{F_{CP} t_a}{1000}; \quad (4.11)$$

$$M_7 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{F_{Ca\delta} t_a}{1000}; \quad (4.12)$$

Приведенный момент инерции привода подачи стола:

$$J' = J_{AA} + (m_{n\delta} + m_g) \left(\frac{t_a}{2000\pi \cdot i} \right)^2. \quad (4.13)$$

Время разгона привода в 1-й зоне:

$$t_1 = \frac{J_1 \omega_H}{M_{\text{I}} - M_{\text{нò}} - 0,5M_{\text{аò}}}, \quad (4.14)$$

где $M_{\text{ст}}$, $M_{\text{вт}}$ – приведенные к ЭД моменты сухого и вязкого трения при $V=V_p$.

Угловое ускорение при разгоне:

$$\varepsilon_1 = \omega_H / t_1. \quad (4.15)$$

Динамический момент:

$$M_{\text{г1}} = \varepsilon_1 J_1. \quad (4.16)$$

Путь разгона:

$$S_1 = \frac{V_p t_1}{2}. \quad (4.17)$$

Пути перебега (S_2 и S_4 по рис. 4.3) принимаем $S_2 = S_4 = 0,5S_1$, тогда:

$$t_2 = t_4 = \frac{S_2}{V_p}. \quad (4.18)$$

Время прохода при строгании:

$$t_3 = \frac{L}{V_p}. \quad (4.19)$$

Время торможения привода:

$$t_5 = \frac{J_1 \omega_H}{M_{\text{I}} + M_{\text{нò}} + M_{\text{аò}}}. \quad (4.20)$$

Время разгона привода до скорости $\omega_{\text{вх}}$ (интервал t_6 по рис. 4.3) следует разбить на два участка: $t_6' = t_1$ - участок разгона до скорости $\omega = \omega_H$ ($V=V_p$) и участок t_6'' разгона со скорости ω_H ($V=V_p$) до ω_{max} ($V=V_{\text{аò}}$):

$$t_6'' = \frac{J_1 (\omega_{\text{max}} - \omega_H)}{0,75M_{\text{I}} - M_{\text{нò}} - M_{\text{аò}}}. \quad (4.21)$$

Время возврата в исходную позицию по скорости $V_{\text{òх}}$:

$$t_{57} = \frac{L + 2S_2}{V_{\text{аò}}}. \quad (4.22)$$

Время торможения t_8 так же разделяем на 2 участка:

$$t_8'' = \frac{J_1 (\omega_{\text{max}} - \omega_H)}{0,75M_{\text{I}} + M_{\text{нò}} + M_{\text{аò}}}; \quad (4.23)$$

$$t_8' = t_5. \quad (4.24)$$

Далее, в соответствии с указаниями по п.1, строим нагрузочную диаграмму, производим уточненный выбор ЭД, разрабатываем систему управления, рассчитываем ее параметры, строим статические и динамические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. - М.: АСАДЕМА, 2004.-576с.
2. Капунцов, Ю.Д. Электрооборудование и электропривод промышленных установок / Ю.Д. Капунцов, В.А. Елисеев, Л.А. Ильяшенко. - М.: Высшая школа, 1979.-359с.
3. Ключев, В.Н. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980.-350с.
4. Коробко, А.В. Проектирование электротехнических устройств: учебное пособие / А.В. Коробко – Ульяновск: УлГТУ, 2005.-96с.
5. Елисеев, В.А. Справочник по автоматизированному электроприводу / В.А. Елисеев, А.В. Шинянский. – М.: Энергоатомиздат, 1983.-616с.
6. Крупович, В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / / В.И. Крупович, Ю.Т. Барабин, М.П. Самовер – М.: Энергоатомиздат, 1982.-416с.
7. Низэ, В.Э. Справочник по средствам автоматики / В.Э. Низэ, И.В. Антика – М.: Энергоатомиздат, 1983.-504с.
8. Орлов, А.И. Электротехнический справочник: Т.3 / А.И. Орлов, В.Г. Герасимов, В.А. Латунцов, [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1988.-616с.
9. Ахромеев, Ш.П. Приводы робототехнических систем: серия «Робототехника и ГАП», кн.2 / Ш.П. Ахромеев – М.: Высшая школа, 1986.-176с.
10. Богословский, А.П. Электрооборудование кранов / А.П. Богословский – М.: Машиностроение, 1983.-310с.
11. Соколов, Н.Т. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков / Н.Т. Соколов, В.А. Елисеев – М.: Высшая школа, 1970.-296с.

12. Коробко, А.В. Автоматизированный электропривод металлорежущих станков: методические указания к курсовому проектированию / А.В. Коробко, И.Н. Белов – Ульяновск, УлГТУ – 2002.-88с.
13. Чубчиков, П.Н. Электрооборудование лифтов массового применения / П.Н. Чубчиков – М.: Машиностроение, 1983.-168с.
14. Дранников, В.Г. Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин / В.Г. Дранников, И.Е. Звягин – Высшая школа, 1973.-278с.