

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ОТРАСЛИ**

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» специализации 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств» (легкая промышленность)

Витебск  
2017

УДК 67/08.05/075

Технологические процессы и аппараты отрасли : методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» специализации 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств» (легкая промышленность).

Витебск, Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2017.

Составитель: ст. преп. Радкевич А. В.

Методические указания предназначены для студентов специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» специализации 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств» (легкая промышленность), изучающих курс «Технологические процессы и аппараты отрасли», даны методические указания по расчету электроприводов швейных машин и вырубочных прессов.

Одобрено кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ», протокол № 12 от 22.03.2017 г.

Рецензент: к.т.н., доц. Новиков Ю. В.

Редактор: к.т.н., доц. Кириллов А. Г.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 3 от 30 марта 2017 г.

Ответственный за выпуск: Данилова И. А.

Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

-----  
Подписано к печати 01.07.17. Формат 60x90 1/16. Уч.-изд. лист. 1.6.

Печать ризографическая. Тираж 40 экз. Заказ № 221  
-----

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

## СОДЕРЖАНИЕ

Расчетно-графическая работа № 1. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАЗГОНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ	4
Расчетно-графическая работа № 2. РАСЧЕТ МАХОВИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЫРУБОЧНОГО ПРЕССА	15
Литература	26

# Расчетно-графическая работа № 1. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАЗГОНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ

## 1.1 Теоретическая часть

### Основные параметры и механическая характеристика асинхронных электродвигателей

Перечислим основные параметры нерегулируемых асинхронных электродвигателей.

Синхронная частота вращения ротора  $n_o$  определяется из формулы

$$n_i = \frac{60f}{p} \text{ об/мин,}$$

где  $f$  – частота напряжения, подаваемого на обмотку статора, Гц;

$p$  – число пар полюсов статора.

В таблице 1.1 приведены значения  $n_o$  для промышленной частоты  $f = 50$  Гц и рекомендуемых чисел  $p$ .

Таблица 1.1

$p$	1	2	3	4	5
$n_o$	3000	1500	1000	750	600

Синхронная угловая скорость ротора определяется из формулы

$$\omega_i = \frac{\pi n_i}{30} = \frac{2\pi f}{p}. \quad (1.1)$$

Номинальная частота вращения  $n_n$  ротора – это такая частота, при которой коэффициент полезного действия электродвигателя максимален.  $n_n$  определяется из формулы

$$n_i = (1 - S_i) n_i \text{ об/мин,}$$

где  $S_n$  – номинальное скольжение ротора ( $S_n = 0,08-0,13$ ).

Номинальная угловая скорость вращения ротора  $\omega_n$  определяется из формулы

$$\omega_i = \frac{\pi n_i}{30} \text{ рад/с.}$$

Номинальная мощность  $N_n$  электродвигателя соответствует режиму работы электродвигателя с максимальным коэффициентом полезного действия (указывается на щитке электродвигателя в кВт).

Номинальный момент  $M_n$  на валу электродвигателя определяется по формуле

$$M_i = \frac{1000N_i}{\omega_i} \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

В формуле  $N_n$  берется в кВт.

Критический коэффициент  $\lambda_{кр}$  определяется из формулы

$$\lambda_{\dot{e}\delta} = \frac{M_{\dot{e}\delta}}{M_i},$$

где  $M_{кр}$  – максимальный критический момент, развиваемый на валу электродвигателя.

Коэффициент пуска  $\lambda_n$  определяется из формулы

$$\lambda_i = \frac{\dot{I}_i}{M_i},$$

где  $M_n$  – момент, развиваемый на валу в момент пуска.

Зависимость текущего значения угловой скорости  $\omega$  ротора от момента  $M_\delta$ , приложенного к ротору, определяется [3] по приближенной формуле

$$\dot{I}_a = \frac{2M_{\dot{e}\delta}}{\frac{S}{S_{\dot{e}\delta}} + \frac{S_{\dot{e}\delta}}{S}}, \quad (1.2)$$

где  $S$  – текущее скольжение ротора, определяемое по формуле

$$S = 1 - \frac{\omega}{\omega_i};$$

$S_{кр}$  – критическое скольжение ротора, определяемое из формулы

$$S_{\dot{e}\delta} = S_i (\lambda_{\dot{e}\delta} + \sqrt{\lambda_{\dot{e}\delta}^2 - 1}), \quad (1.3)$$

полученной подстановкой в формулу (1.2) значений  $M_\delta = M_n$  и  $S = S_n$  с последующим решением квадратного уравнения относительно  $\lambda_{кр}$ .

График зависимости  $\omega$  от  $M_\delta$  называется графиком механической характеристики. Вид графика приведен на рисунке 1.1. Отметим на графике четыре характерные точки, соответствующие различным режимам работы.

Точка 1 ( $\omega = \omega_o$ ;  $M_\delta = 0$ ) соответствует режиму холостого хода.

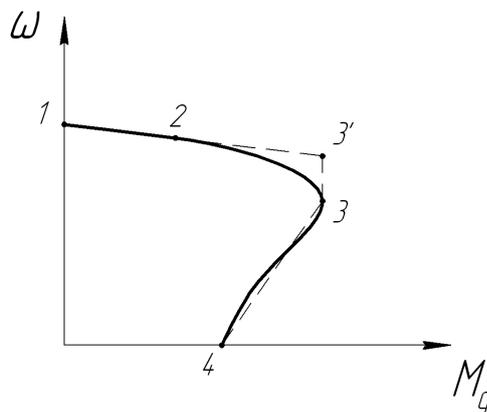


Рисунок 1.1 – График механической характеристики асинхронного электродвигателя

Точка 2 ( $\omega = \omega_n; M_\delta = M_n$ ) соответствует номинальному режиму, при котором коэффициент полезного действия электродвигателя – максимальный.

Точка 3 ( $\omega = \omega_{кр}; M_\delta = M_{кр}$ ) соответствует критическому режиму, при котором  $M_\delta$  максимален.

Точка 4 ( $\omega = 0; M_\delta = M_n$ ) соответствует режиму пуска.

Участок 1–2–3 характеристики соответствует устойчивой работе электродвигателя. Если приложить к валу электродвигателя момент, больший  $M_{кр}$ , то он перейдет в неустойчивый режим работы на участке 3–4 и остановится.

Для упрощения расчетов электропривода уравнение механической характеристики (1.2) аппроксимируют отрезками прямых 1–3', 3–3', 3–4'.

Уравнение прямой 1–3', проходящей через точки 1, 2, 3', имеет вид

$$\frac{\omega - \omega_i}{\omega_i - \omega_i} = \frac{\dot{I}_{\dot{a}}}{\dot{I}_{\dot{i}}}$$

Это уравнение преобразуется к виду

$$M_{\dot{a}} = \dot{a} - b\omega, \quad (1.4)$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты, определяемые из формул

$$\dot{a} = \frac{M_{\dot{i}} \cdot \omega_i}{\omega_i - \omega_i}, \quad (1.5)$$

$$b = \frac{M_{\dot{i}}}{\omega_i - \omega_i}. \quad (1.6)$$

Уравнение прямой 4–3, проходящей через точки 4, 3, имеет вид

$$\frac{\omega - \omega_4}{\omega_3 - \omega_4} = \frac{\dot{I}_{\dot{a}} - \dot{I}_{\dot{i}}}{\dot{I}_{\dot{e}\delta} - \dot{I}_{\dot{i}}}$$

Подставляя в это уравнение  $\omega_4 = 0; \omega_3 = \omega_{кр}; M_{\delta 4} = M_n; M_{\delta 3} = M_{кр}$ , получим:

$$M_{\dot{a}} = e\omega + M_{\dot{i}}, \quad (1.7)$$

где

$$e = \frac{M_{\dot{e}\delta} - \dot{I}_{\dot{i}}}{\omega_{\dot{e}\delta}}. \quad (1.8)$$

Уравнение прямой, проходящей через точки 3'–3, имеет вид

$$M_{\dot{a}} = M_{\dot{e}\delta}. \quad (1.9)$$

На интервале  $\omega_{\dot{e}\delta} \leq \omega \leq \omega'_{\dot{e}\delta}$ , где

$$\omega'_{\dot{e}\delta} = \frac{a - M_{\dot{e}\delta}}{b}. \quad (1.10)$$

## Структура электропривода

Кинематическая схема типового электропривода швейных машин показана на рисунке 1.2. На схеме обозначены: 1 – вал электродвигателя с закрепленными на нем ротором 1а и маховиком 1б; 2 – ведомый вал привода, соосный с валом электродвигателя, с закрепленными на нем диском 2а с фрикционными накладками и шкивом 2б клиноременной передачи; 3 – главный вал швейной машины 4. Управление приводом осуществляется с помощью педали 5 через систему звеньев 6-8. Ролик 7а рычага входит в паз подвижного корпуса 8, в котором закреплены вращающиеся опоры вала 2. Рычаг 7 удерживается в исходном положении пружиной 9. В исходном положении педаль 5 не нажата, пружина 9 через вертикальное плечо и ролик 7а рычага 7 удерживает корпус 8, вал 2 и диск 2а в крайнем правом положении, правая фрикционная накладка диска 2а прижата к неподвижному тормозному диску 10, вал 2 неподвижен, электродвигатель работает в режиме холостого хода.

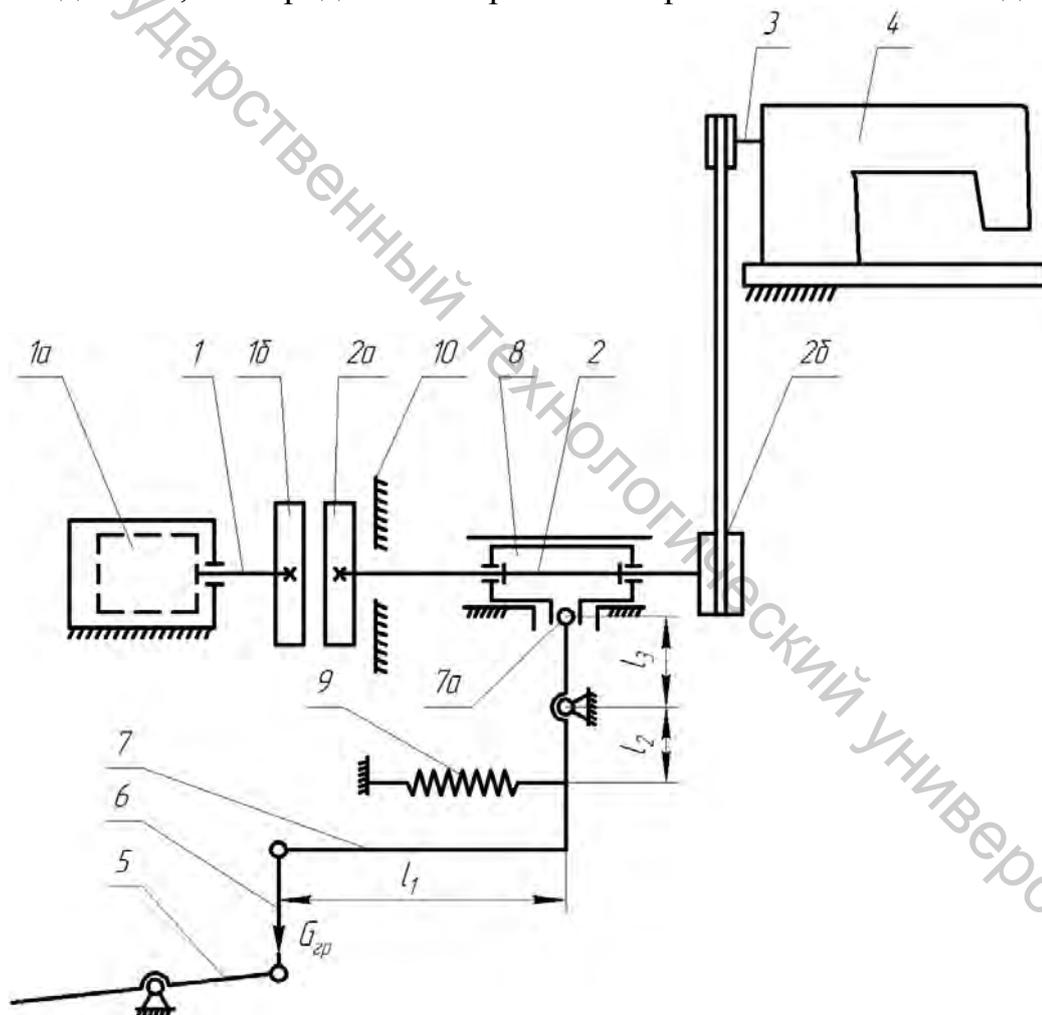


Рисунок 1.2 – Схема электропривода швейной машины

При нажатии на педаль 5 тяга 6 опускается, угловой рычаг 7, преодолевая действие пружины 9, поворачивается против часовой стрелки, верхнее плечо рычага перемещает корпус 8, вал 2 и диск 2а влево, в конце хода диск 2а левой

фрикционной накладкой прижимается к маховику 1б, в результате вращение от ротора двигателя передается валам 2 и 3.

При опускании педали 5 фрикционный диск 2а под действием пружины 9 перемещается вправо, в конце хода диск 2а правой фрикционной накладкой прижимается к тормозному диску 10, происходит торможение вала 2.

### Определение времени разгона

На участке разгона привода следует выделить две фазы работы длительностей  $t_1$  и  $t_2$  (рис. 1.3). Фаза  $t_1$  соответствует различным угловым скоростям дисков 1б, 2а фрикционной муфты, происходит пробуксовка дисков. Фаза  $t_2$  соответствует полному сцеплению дисков 1б, 2а, пробуксовка отсутствует.

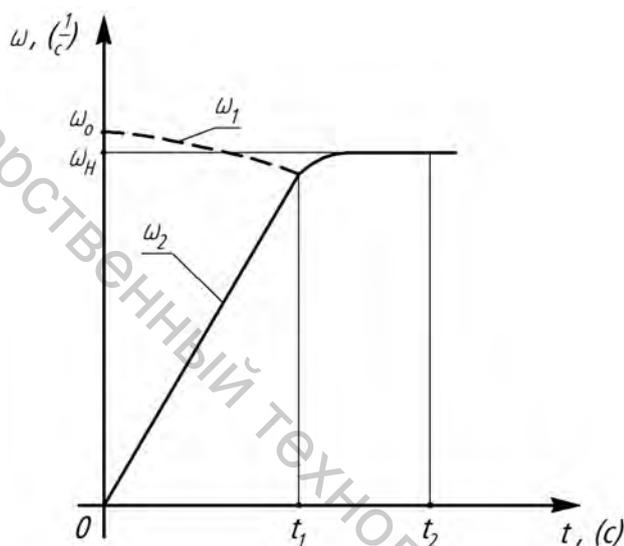


Рисунок 1.3 – График разгона электропривода

В фазе  $t_1$  привод следует рассматривать в виде двух систем звеньев: ведущей, включающей звено 1, и ведомой, включающей звенья 2, 3.

Уравнение движения звена 1 имеет вид

$$M_{\ddot{a}} - M_{\delta\delta} = I_1 \frac{d\omega_1}{dt}, \quad (1.11)$$

где  $M_{\delta}$  – момент, развиваемый электродвигателем;  
 $M_{\phi p}$  – момент трения во фрикционной паре 1б-2а;  
 $\omega_1$  – угловая скорость вала электродвигателя.

Момент  $M_{\delta}$  может быть представлен в виде уравнения (1.4), в котором  $\omega = \omega_1$ . Момент трения  $M_{\phi p}$  определится из формулы

$$M_{\delta\delta} = \frac{QfR_{\delta\delta}}{K},$$

где  $Q$  – осевое усилие прижатия фрикционных дисков 1б и 2а;  
 $f$  – коэффициент трения;

$R_{mp}$  – радиус трения;

$K$  – коэффициент динамичности нагрузки.

Ведомая система звеньев приводится к звену 2. Уравнение движения звена приведения 2 имеет вид

$$M_{\delta\delta} - M_{\ddot{\eta}\delta} = I'_{i\delta} \frac{d\omega_2}{dt} + \frac{\omega_2^2}{2} \cdot \frac{dI'_{i\delta}}{d\varphi_2}, \quad (1.12)$$

где  $M_{cnp}$  – момент силы  $P_c$ , приведенный к звену 1;

$I'_{i\delta}$  – сумма масс и моментов инерции звеньев 1, 2, 3, приведенных к звену 1,  $I'_{i\delta} = I_{i\delta} - I_1$ ;

$\varphi_2, \omega_2$  – угловая координата и угловая скорость звена 2.

В типовом приводе (рис. 1.2) действует момент  $M_{C3}$ , приведенный к валу 3. Приведенный к звену 2 момент определится из соотношения

$$M_{c\dot{\eta}\delta 2} = \frac{M_{C3}}{U_{2-3}}, \quad (1.13)$$

$$U_{2-3} = \frac{\omega_2}{\omega_3}$$

где  $\omega_2$  – угловая скорость вала 2;  $\omega_3$  – угловая скорость вала 3.

В большинстве приводов машин легкой промышленности (швейных, обувных) величина  $I'_{i\delta}$  изменяется незначительно, поэтому допустимо для инженерных расчетов принять  $I'_{i\delta}$  приближенно-постоянным:

$$I'_{i\delta} = \frac{I'_{i\delta max} + I'_{i\delta min}}{2}, \quad (1.14)$$

где  $I'_{i\delta max}, I'_{i\delta min}$  – максимальное и минимальное значение  $I'_{i\delta}$ .

С учетом (1.14) уравнение (1.12) принимает вид

$$M_{\delta\delta} - M_{\ddot{\eta}\delta} = I'_{i\delta} \frac{d\omega_2}{dt}. \quad (1.15)$$

Для определения  $t_l$  нужно совместно решить уравнения (1.11) и (1.15), т. е. найти такие решения, при которых  $\omega_1 = \omega_2$ . Решим сначала (1.11) и (1.15) относительно  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Из уравнения (1.11) с учетом (1.4) получим

$$dt = \frac{I_1 d\omega_1}{c - b\omega_1},$$

где  $c = a - M_{\delta\delta}$ .

Интегрируя последнее уравнение, получим

$$\int_0^t dt = I_1 \int_{\omega_0}^{\omega_1} \frac{d\omega_1}{c - b\omega_1},$$

$$t = \frac{I_1}{b} \ln \frac{c - b\omega_0}{c - b\omega_1},$$

$$e^{\frac{bt}{I_1}} = \frac{c - b\omega_0}{c - b\omega_1},$$

$$\omega_1 = e^{-\frac{bt}{I_1}} \left( \omega_0 - \frac{c}{b} \right) + \frac{c}{b}. \quad (1.16)$$

Интегрируя уравнение (1.15), получим

$$\int_0^{\omega_2} d\omega_2 = \frac{M_{\dot{\omega}\delta} - M_{\ddot{\omega}\delta}}{I'_{i\delta}} \int_0^t dt,$$

$$\omega_2 = \frac{M_{\dot{\omega}\delta} - M_{\ddot{\omega}\delta}}{I'_{i\delta}} \cdot t. \quad (1.17)$$

Приравняв правые части (1.16) и (1.17), получим

$$e^{-\frac{bt}{I_1}} \left( \omega_0 - \frac{c}{b} \right) + \frac{c}{b} - \frac{\dot{I}_{\dot{\omega}\delta} - \dot{I}_{\ddot{\omega}\delta}}{I'_{i\delta}} \cdot t = 0. \quad (1.18)$$

Трансцендентное уравнение (1.18) может быть решено на ЭВМ численным методом. Решив это уравнение, получим  $t = t_1$  и  $\omega_2 = \omega_{2,1}$ , где  $\omega_{2,1}$  – угловая скорость звена 2 к моменту окончания первой фазы разгона.

Во второй фазе разгона  $t_2$  проскальзывание между дисками 2а и 1б отсутствует, привод может быть представлен в виде одной системы, приведенной к звену 1. Уравнение звена приведения имеет вид

$$M_{\ddot{a}} - M_{\ddot{\omega}\delta} = I_{i\delta} \frac{d\omega_2}{dt}, \quad (1.19)$$

где  $M_{\ddot{a}} = \dot{a} - b\omega_2$ ,  $M_{\ddot{\omega}\delta} \approx const$ .

С учетом последних выражений уравнение (1.19) запишем в виде

$$\int_0^{t_2} dt = I_{i\delta} \int_{\omega_{2,1}}^{\omega_{2,2}} \frac{d\omega_2}{c' - b\omega_2},$$

где  $\omega_{2,2}$  – угловая скорость звена 2 в установившемся режиме работы привода,  $\dot{a} = a - M_{\ddot{\omega}\delta}$ .

В результате определим  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{I_{i\delta}}{b} \ln \frac{c' - b\omega_{2,1}}{c' - b\omega_{2,\delta}}. \quad (1.20)$$

Следует отметить, что в реальных приводах часто  $t_2 \ll t_1$ . Это связано с тем, что разность  $(\omega_0 - \omega_{2,1})$  (рис. 1.3) составляет не более 20 % от величины  $\omega_0$  по соображениям недопущения перегрузки электродвигателя в период разгона. Поэтому для приближенного определения  $t_p$  вполне допустимо принять  $t_\delta \approx t_1$ . Приближенное значение  $t_p$  можно определить из уравнения (1.15)

$$\int_0^{t_\delta} dt = \frac{I'_{i\delta}}{M_{\delta\delta} - M_{\tilde{n}i\delta}} \int_0^{\omega_{2,\delta}} d\omega_2, \quad (1.21)$$

$$t_\delta = \frac{I'_{i\delta}}{M_{\delta\delta} - M_{\tilde{n}i\delta}} \cdot \omega_{2,\delta}.$$

## 1.2 Практическая часть

Варианты заданий представлены в таблице 1.2.

*Определение исходных данных для расчета*

Синхронная частота вращения ротора электродвигателя

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}, \text{ (об/мин)}. \quad (1.22)$$

Синхронная угловая скорость ротора

$$\omega_i = \frac{\pi n_i}{30}, \text{ (рад/с)}. \quad (1.23)$$

Номинальная угловая скорость ротора

$$\omega_i = \frac{\pi n_i}{30}, \text{ (рад/с)}.$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_i = \frac{1000 N_i}{\omega_i}, \text{ (Н·м)}.$$

Постоянные коэффициенты  $a$  и  $b$  механической характеристики электродвигателя

Таблица 1.2 – Варианты заданий с исходными данными для расчета

№№ вариантов	$N$ , кВт	$n_0$ , об/мин	$n_n$ , об/мин	$P$ , пар полюсов	$f$ , Гц	$\frac{M_i}{I_i}$	$\frac{M_{\max}}{I_{\min}}$	$GD^2_{2,2}$ , кгс·м <sup>2</sup>	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$m$ , кг	$U_{2-3}$	$M_{\text{ср}}$ , Н/м	$I_{16}$ , кг·м <sup>2</sup>	$I'_{2a}$ , кг·м <sup>2</sup>	$I''_{2a}$ , кг·м <sup>2</sup>	$I_{26}$ , кг·м <sup>2</sup>	$I_3$ , кг·м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,18	3000	2710	1	50	2	2,2	$16,6 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,6	0,04	$5,88 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$
2	0,25	3000	2800	1	50	2	2,2	$18,6 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,6	0,05	$5,88 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$
3	0,37	3000	2770	1	50	2	2,2	$30,5 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,6	0,03	$5,88 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$
4	0,55	3000	2750	1	50	2	2,2	$36 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,6	0,04	$5,88 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$
5	0,18	1500	1375	2	50	2,1	2,2	$31,3 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,05	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
6	0,25	1500	1365	2	50	2,0	2,0	$49,5 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,04	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
7	0,37	1500	1365	2	50	2,0	2,2	$55 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,03	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
8	0,55	1500	1365	2	50	2,0	2,2	$52 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,04	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
9	0,18	1000	885	3	50	2,2	2,2	$69,4 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,05	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
10	0,25	1000	890	3	50	2,2	2,2	$86 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,045	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
11	0,37	1000	910	3	50	2,0	2,2	$67 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,045	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
12	0,55	1000	900	3	50	2,0	2,2	$81 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,5	0,5	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
13	0,37	3000	2750	1	50	2,0	2,2	$30,5 \cdot 10^{-4}$	0,3	0,025	0,06	2,5	0,6	0,045	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$0,02 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
14	0,55	3000	2750	1	50	2,0	2,2	$36 \cdot 10^{-4}$	0,3	0,024	0,06	2,5	0,5	0,047	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,65 \cdot 10^{-3}$
15	0,25	3000	2800	1	50	2	2,2	$18,6 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,6	0,03	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,58 \cdot 10^{-3}$
16	0,37	3000	2770	1	50	2	2,2	$30 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,7	0,035	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,65 \cdot 10^{-3}$
17	0,55	3000	2750	1	50	2	2,2	$36 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3	0,7	0,045	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$
18	0,18	1500	1375	2	50	2,1	2,2	$31 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,2	0,4	0,025	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$
19	0,25	1500	1365	2	50	2	2	$49 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,2	0,4	0,028	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,65 \cdot 10^{-3}$
20	0,37	1500	1365	2	50	2	2,2	$55 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,2	0,4	0,037	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$
21	0,55	1500	1365	2	50	2	2,2	$52 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,2	0,4	0,047	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
22	0,18	1000	885	3	50	2,2	2,2	$69,4 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,5	0,5	0,035	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$0,016 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$
23	0,25	1000	890	3	50	2,2	2,2	$86 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,5	0,6	0,037	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$0,016 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$
24	0,37	1000	910	3	50	2	2,2	$67 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,5	0,55	0,04	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$0,016 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
25	0,55	1000	900	3	50	2	2,2	$81 \cdot 10^{-4}$	0,29	0,02	0,056	3,5	0,4	0,05	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$0,016 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$

$$a = \frac{M_i \cdot \omega_0}{\omega_0 - \omega_i}, (\text{Н} \cdot \text{м}); \quad b = \frac{M_i}{\omega_0 - \omega_i}, (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Усилие, развиваемое пружиной возврата в момент разгона привода

$$G_{\ddot{\alpha}\delta} \cdot l_1 = P_{i\delta} \cdot l_2,$$

$$P_{i\delta} = \frac{G_{\ddot{\alpha}\delta} \cdot l_1}{l_2}, (\text{Н}).$$

Осевое усилие сжатия дисков фрикционной муфты в период разгона

$$Q = \frac{G_{\ddot{\alpha}\delta} \cdot l_1 - P_{i\delta} \cdot l_3}{l_2}, (\text{Н}).$$

Радиус трения во фрикционной муфте

$$R_{\delta\delta} = \frac{D - d}{4}, (\text{м}).$$

Момент трения во фрикционной муфте при  $f = 0,25$ ;  $k = 1,1$ :

$$M_{\delta\delta} = \frac{Q \cdot f \cdot R_{\delta\delta}}{k}, (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Коэффициент  $c$

$$c = a - M_{\delta\delta}, (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Приведенный к валу двигателя момент сил сопротивления на валу швейной машины

$$M_{\ddot{m}\delta 2} = \frac{M_c}{U_{2-3}}, (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Коэффициент  $c'$

$$c' = a - M_{\ddot{m}\delta 2}, (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Момент инерции ротора электродвигателя

$$I_{1a} = \frac{10 \cdot GD^2}{4g}, (\text{кг} \cdot \text{м}^2).$$

Момент инерции звена 1

$$I_1 = I_{1a} + I_{1a'}, (\text{кг} \cdot \text{м}^2).$$

Момент инерции звена 2 и машины, приведенные к звену 2

$$I'_{i\delta 2} = I'_{2a} + I''_{2a} + I_{2a} + \frac{I_3}{U_{2-3}^2}, \text{ (кг}\cdot\text{м}^2\text{)}.$$

Приведенный к валу 2 момент инерции всех подвижных звеньев привода

$$I_{i\delta 2} = I_1 + I'_{i\delta 2}.$$

*Построение графика изменения угловой скорости звена 1 в период разгона (рис. 1.3)*

Для построения графика используем формулу

$$\omega_1 = e^{-\frac{bt}{I_1}} \left( \omega_0 - \frac{c}{b} \right) + \frac{c}{b}, \text{ (рад/с)}.$$

Задавая значения  $t$ , получаем значения угловой скорости. Результаты заносим в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

$t_c$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$\omega_1$ , рад/с									

Строим график  $\omega_1 = f(t)$ .

*Построение графика изменения угловой скорости звена 2 в период разгона*

Для построения графика используем формулу

$$\omega_2 = \frac{M_{\delta\delta} - M_{\bar{m}\delta 2}}{I'_{i\delta 2}} \cdot t, \text{ (рад/с)}.$$

График представляет собой прямую, проходящую через начало координат, поэтому достаточно определить одну точку. Определим  $\omega_2$  для  $t = 0,5$  с и строим график. Точки пересечения графиков  $\omega_1 = f(t)$  и  $\omega_2 = f(t)$  даст нам абсциссу временного интервала  $t_1$  разгона привода, а проекция точки на ось ординат даст угловую скорость  $\omega_{2-1}$  окончания первой фазы разгона. Составляющая  $t_2$  времени разгона определится из формулы

$$t_2 = \frac{I_{i\delta 2}}{b} \ln \frac{c' - b\omega_{2-1}}{c' - b\omega_H}, \text{ (с)}.$$

Время разгона  $t_p$  определится по формуле

$$t_\delta = t_1 + t_2, \text{ (с)}.$$

## Расчетно-графическая работа № 2. РАСЧЕТ МАХОВИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЫРУБОЧНОГО ПРЕССА

В работе выполняется аналитический расчет электропривода вырубочного пресса в момент выполнения цикла вырубания детали верха из кож. Анализируется необходимость установки маховика на вал электродвигателя привода гидравлического насоса.

Исходные данные

Варианты заданий и исходные данные сведены в таблицу 2.1.

### 2.1 Теоретическая часть

#### Проверка маховых масс электропривода

Исходными данными для предварительного расчета мощности электродвигателя являются: диаграмма приведенного момента сопротивления (рис. 2.1) и синхронная угловая скорость двигателя. При предварительном расчете исходят из того, что угловые скорости звена приведения в начале  $\omega_{ну}$  и конце  $\omega_{ку}$  одного цикла установившегося движения  $T_u$  одинаковы:  $\omega_{ну} = \omega_{ку}$ . Следовательно, в период установившегося движения  $M_A = M_i = const$ , т. е. считали, что угловая скорость звена приведения постоянна. На самом деле, при переменном  $M_{\dot{N}D}$  угловая скорость установившегося движения звена приведения изменяется.

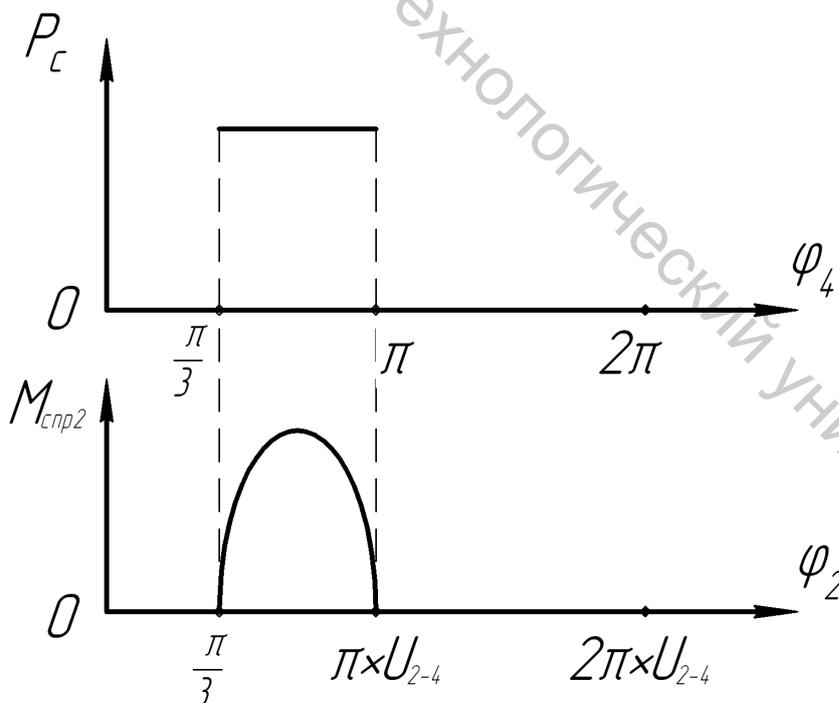


Рисунок 2.1 – Диаграмма приведенного момента сопротивления и синхронная угловая скорость двигателя

Таблица 2.1

№ варианта	N, кВт	$n, \frac{\dot{a}}{\dot{e}i}$	$GD^2, \text{кгс}\cdot\text{м}^2$	$m_2, \text{кг}$	$P_{AO}, \text{МПа}$	$D_{ц}, \text{м}$	$d, \text{м}$	Z, шт.	$Q, \frac{\dot{e}}{\dot{e}i}$	$q, \text{см}^3$	F, Н	$D_p, \text{мм}$	$h_p, \text{мм}$	$\rho, \frac{\ddot{a}}{ci^3}$	$F_{max}, \text{кН}$
1	1,1	1420	$1,29 \times 10^{-2}$	120	0,5	0,13	0,04	3	52,1	45	60	60	22	7,8	80
2	1,1	1430	0,0014	130	0,5	0,13	0,04	3	36	32	60	60	22	7,8	80
3	1,3	1420	0,0033	140	0,6	0,15	0,045	3	26,8	25	65	60	22	7,8	80
4	1,5	1415	0,0132	150	0,6	0,15	0,045	3	70	56	70	60	22	7,8	80
5	1,6	1420	0,0033	155	0,6	0,16	0,05	3	13	12,5	75	60	22	7,8	80
6	1,7	1430	0,0033	160	0,7	0,16	0,05	3	18,5	16	80	60	22	7,8	80
7	2,1	1420	0,0033	165	0,7	0,165	0,055	3	15,5	16	85	60	22	7,8	80
8	2,2	1425	0,0024	170	0,7	0,165	0,055	3	26,8	25	90	60	22	7,8	80
9	3,0	1435	0,00347	175	0,7	0,17	0,06	3	36,2	32	100	80	30	7,8	80
10	3,1	1420	0,0056	180	0,7	0,17	0,07	3	52,1	45	100	80	30	7,8	80
11	1,3	1440	0,0014	135	0,55	0,15	0,05	3	70	56	75	60	22	7,8	80
12	1,5	1420	0,0014	160	0,5	0,16	0,05	3	36	32	80	65	24	7,8	80
13	1,6	1440	0,004	170	0,6	0,17	0,06	3	56	45	85	70	24	7,8	80
14	1,7	1440	0,0037	165	0,6	0,18	0,07	3	26,8	25	90	75	25	7,8	80
15	1,3	1420	0,033	140	0,6	0,15	0,045	3	36,8	32	65	60	22	7,8	90
16	1,5	1415	0,0132	150	0,6	0,15	0,045	3	52,1	46	70	60	22	7,8	95
17	1,6	1420	0,0033	155	0,6	0,16	0,05	3	70	56	75	60	22	7,8	98
18	1,7	1430	0,0033	160	0,7	0,16	0,05	3	36,2	32	80	60	22	7,8	100
19	2,1	1420	0,0033	165	0,7	0,165	0,055	3	52,1	45	85	60	22	7,8	110
20	2,2	1425	0,0024	170	0,7	0,165	0,06	3	56	45	100	80	30	7,8	110
21	3,0	1425	0,00347	175	0,7	0,17	0,06	3	36	32	100	80	30	7,8	120
22	3,1	1420	0,0056	180	0,7	0,17	0,07	3	26,8	25	120	80	30	7,8	130
23	1,3	1420	0,0033	140	0,6	0,145	0,047	3	70	56	60	60	23	7,8	85
24	1,5	1415	0,0132	150	0,5	0,165	0,05	3	52,1	45	80	72	23	7,8	120
25	1,6	1420	0,033	155	0,5	0,17	0,06	3	36,2	32	90	75	24	7,8	130

Для упрощения дальнейших рассуждений принимаем, что звеном приведения является вал двигателя 1.

Колебания угловой скорости  $\omega_1$  звена приведения регламентируются, в любом случае, механической характеристикой электродвигателя (рис. 2.2):

$$\left. \begin{aligned} \omega_{1\min} &= k\omega_{\dot{E}D}, \\ \omega_{1\max} &= \omega_0. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

где  $k$  – коэффициент запаса,  $k = 0,8 \dots 0,9$ .

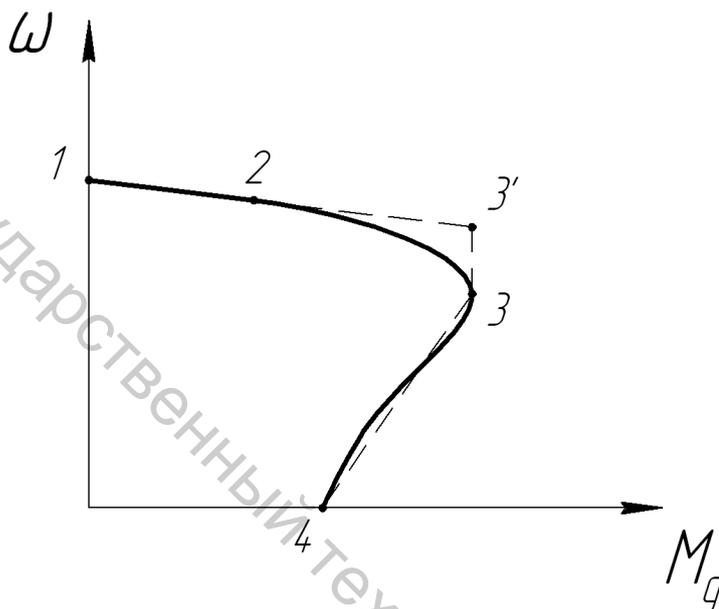


Рисунок 2.2 – График механической характеристики асинхронного электродвигателя

Экстремальные значения  $\omega_1$ , указанные в (2.1), следует рассматривать как предельно допустимые. Иногда могут быть заданы и более узкие пределы изменения  $\omega_1$ , например:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{1\min} &= \omega_j - \omega_0 - \omega_j = 2\omega_j - \omega_0, \\ \omega_{1\max} &= \omega_0. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Последние определены из условия, что модули отклонения  $\omega_{1\min}$  и  $\omega_{1\max}$  от  $\omega_j$  равны, что обеспечивает наиболее благоприятный режим работы электродвигателя.

Из теории механизмов и машин [4] известен также способ задания неравномерности движения с помощью коэффициента неравномерности.

Поставим задачу определения такого значения  $I_{i\delta 1}^*$  – суммы моментов инерции и масс звеньев привода, приведенных к звену приведения, при

котором движение звена приведения происходит с угловой скоростью, изменяющейся в заданных пределах  $\omega_{1\min}, \dots, \omega_{1\max}$ .

При этом рассмотрим случай, когда допустимо принять  $I_{i\delta 1}^*$  постоянным. Уравнение движения звена приведения в этом случае имеет вид

$$M_{\dot{A}} - M_{\ddot{w}\delta 1} = I_{i\delta 1}^* \frac{d\omega_1}{dt}. \quad (2.3)$$

Для экстремальных значений  $\omega_1$  из (2.3) имеем  $\frac{d\omega_1}{dt} = 0$ ,  $M_{\dot{A}} = M_{\ddot{w}\delta 1}$ .

Из последнего равенства следует, что при  $\omega_1 = \omega_{1\min}$  и  $\omega_1 = \omega_{1\max}$  кривые  $M_{\ddot{w}\delta 1} = f_1(\varphi_1)$  и  $M_{\dot{A}} = f_2(\varphi_1)$  пересекаются. Ординаты точек пересечения определяются с помощью уравнения  $M_{\dot{A}} = a - b\omega$ :

$$M_{\dot{A}\max} = a - b\omega_{1\min},$$

$$M_{\dot{A}\min} = a - b\omega_{1\max}.$$

Таким образом, на заданной кривой  $M_{\ddot{w}\delta 1} = f_1(\varphi_1)$  может быть определен ряд точек  $a, a', \dots$  с ординатами  $M_{\dot{A}\min}$  и ряд точек  $\acute{a}, \acute{a}', \dots$  с ординатами  $M_{\dot{A}\max}$ . Далее, с учетом хода кривой  $M_{\ddot{w}\delta 1} = f_1(\varphi_1)$ , может быть вычерчен в виде ломаной линии приближенный график зависимости  $M_{\dot{A}} = f_2(\varphi_1)$ .

Ломаную линию проводят таким образом, чтобы увеличению (уменьшению)  $M_{\ddot{w}\delta}$  соответствовало увеличение (уменьшение)  $M_{\dot{A}}$ ; при этом точки максимума выбираются из ряда  $\acute{a}, \acute{a}', \dots$ , а точки минимума – из ряда  $a, a', \dots$

На рисунке 2.3 график зависимости  $M_{\dot{A}} = f_2(\varphi_1)$  представлен ломаной  $a - \acute{a}' - a$ . На графиках  $M_{\ddot{w}\delta 1} = f_1(\varphi_1)$  и  $M_{\dot{A}} = f_2(\varphi_1)$  выделим интервалы значений  $\varphi_2$ , для которых  $M_{\ddot{w}\delta 2} > M_{\dot{A}}$ . На рисунке 2.3 таковым является интервал  $\varphi_a, \dots, \varphi_{\acute{a}'}$ . В общем случае таких интервалов может быть несколько.

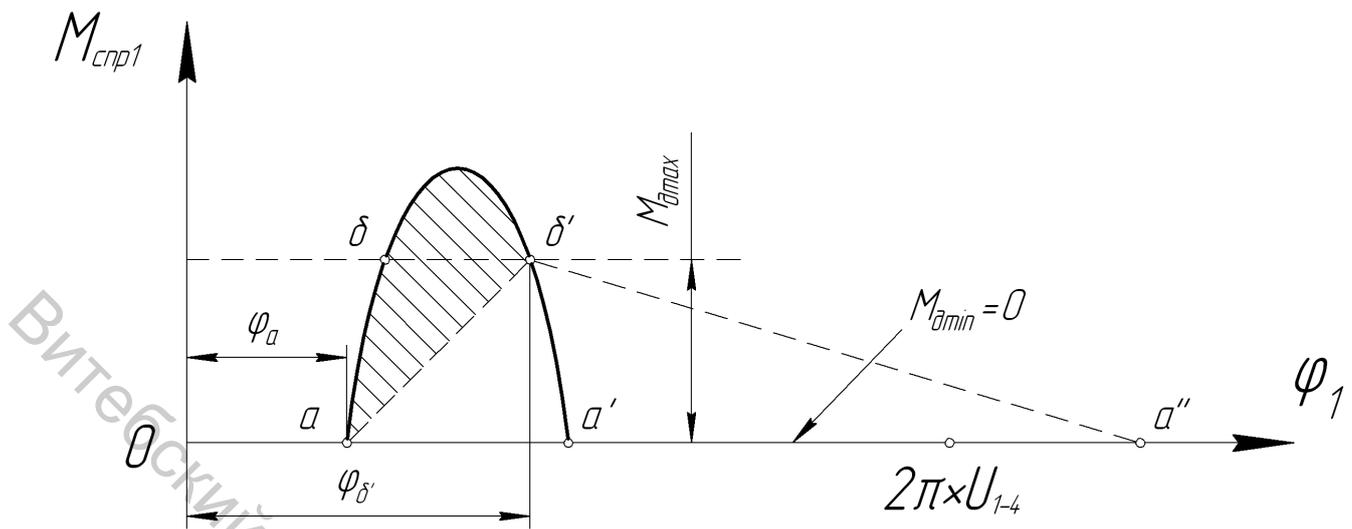


Рисунок 2.3 – График зависимости  $M_{\tilde{n}\delta 1} = f_1(\varphi_1)$  и  $M_{\tilde{A}} = f_2(\varphi_1)$

Для этого интервала запишем уравнение кинетической энергии звена приведения:

$$I_{i\delta 1}^* \frac{\omega_{1k}^2 - \omega_{1H}^2}{2} = A_{\tilde{A}}^* - A_{\tilde{n}\delta}^*, \quad (2.4)$$

где  $\omega_{1k}$  – угловая скорость звена приведения в конце интервала;

$\omega_{1H}$  – то же в начале интервала;

$A_{\tilde{A}}^* - A_{\tilde{n}\delta}^*$  – работы моментов  $M_{\tilde{A}}$  и  $M_{\tilde{n}\delta 1}$  на интервале.

Если окажется, что  $I_{i\delta 1} \geq I_{i\delta 1}^*$ , то выбранный согласно ориентировочному расчету электродвигатель обеспечит необходимый режим движения звена приведения.

Если же  $I_{i\delta 1} < I_{i\delta 1}^*$ , то необходимо установить на звене приведения дополнительную массу (маховик) с моментом инерции  $I_{\tilde{a}\tilde{i}} = I_{i\delta 1}^* - I_{i\delta 1}$ . Масса, эквивалентная  $I_{\tilde{a}\tilde{i}}$  по кинетической энергии, может быть установлена на любом звене привода.

Если установка дополнительной массы невозможна по каким-либо соображениям, то следует выбрать двигатель большей мощности и проверку повторить.

## 2.2 Практическая часть

Схема электропривода вырубочного пресса приведена на рисунке 2.4.

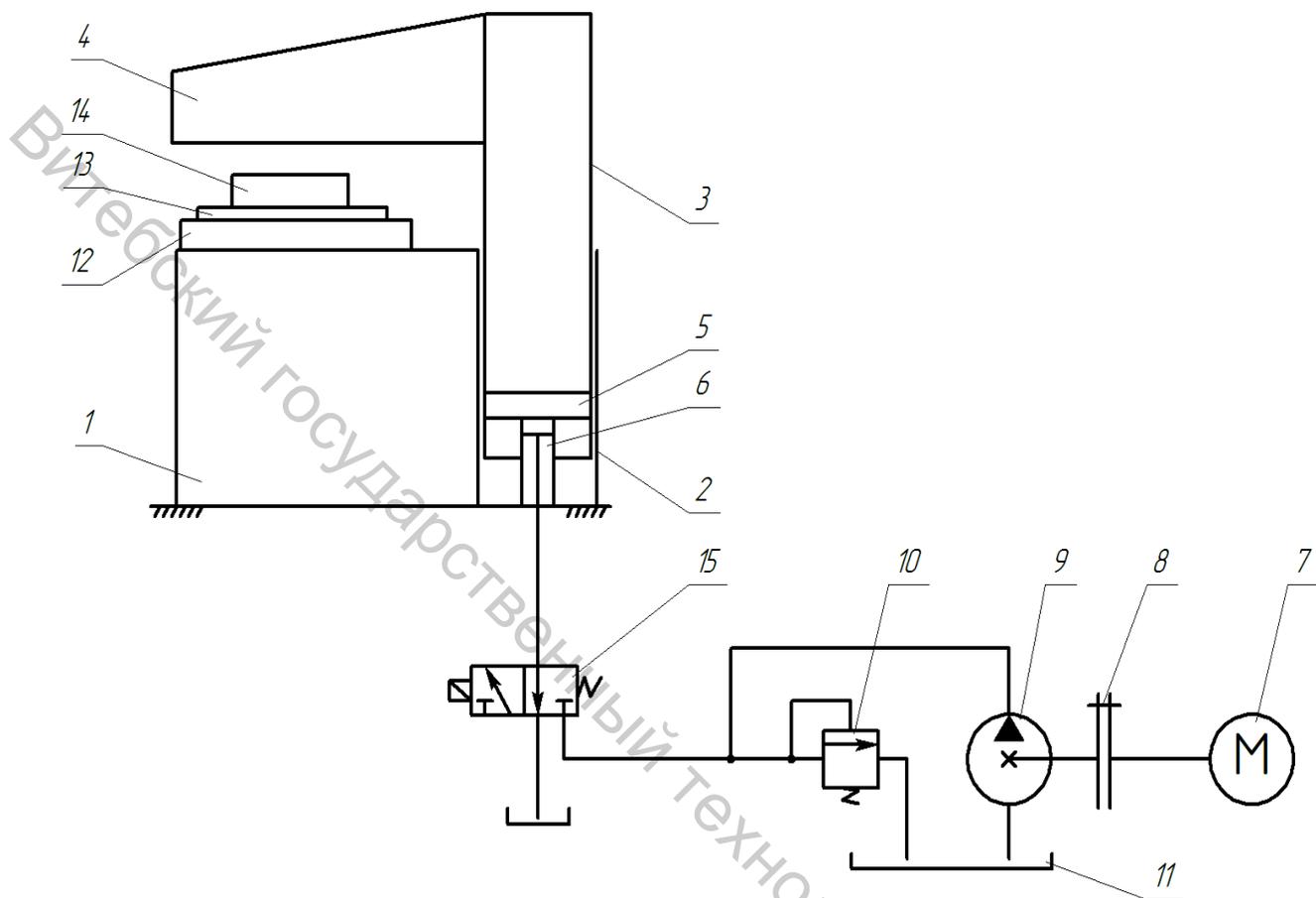


Рисунок 2.4 – Схема электропривода вырубочного пресса:

1 – основание пресса, 2 – цилиндрическая направляющая, 3 – скалка, 4 – ударник, 5 – поршень, 6 – шток, 7 – электродвигатель, 8 – муфта-маховик, 9 – насос, 10 – предохранительный клапан, 11 – гидробак, 12 – распределитель, 13 – вырубочная плита, 14 – лист кожи, 15 – резак, 16 – крышка

Принцип действия.

На вырубочную плиту 13 укладывается лист кожи 14 и устанавливается резак 15. Запускается электродвигатель 7, который через муфту-маховик 8 передает крутящий момент на ротор насоса 9. Предохранительный клапан 10 поддерживает рабочее давление в системе. При включении электромагнита распределителя 12 давление жидкости через распределитель 12, шток 6 поступает в рабочую полость гидроцилиндра, которая ограничена сверху поршнем 5, а снизу крышкой 16, т. к. шток неподвижно закреплен в корпусе машины, то скалка с ударником под действием давления опускается и ударяет по резаку 15, вырубая деталь. В момент соприкосновения резака с вырубочной

плитой электромагнит распределителя 12 выключается, и ударник возвращается в исходное положение.

*Определение исходных данных для расчета*

Характеристики электродвигателя.

Синхронная угловая скорость ротора

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} \left( \frac{\text{об/с}}{\text{с}} \right).$$

Номинальная угловая скорость ротора

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} \left( \frac{\text{об/с}}{\text{с}} \right).$$

Номинальный момент к валу электродвигателя

$$M_n = \frac{1000 \cdot N}{\omega_n} \text{ (Н·м)}.$$

Коэффициенты «а» и «b» механической характеристики электродвигателя

$$a = \frac{M_n \cdot \omega_0}{\omega_0 - \omega_n} \text{ (Н·м)},$$

$$b = \frac{M_n}{\omega_0 - \omega_n} \text{ (Н·м)}.$$

Максимальный момент на валу электродвигателя

$$M_{\text{amax}} = a - b \cdot \omega_{\text{min}} \text{ (Н·м)}.$$

Минимальный момент на валу электродвигателя

$$M_{\text{amin}} = a - b \cdot \omega_{\text{max}} \text{ (Н·м)};$$

$$\omega_{\text{max}} = \omega_0;$$

$$\omega_{\text{min}} = 2\omega_n - \omega_0.$$

Определение момента инерции привода по формуле

$$I_{i\delta} = I_1 + \frac{m_{3-4}}{u_{7-3}^2},$$

$$I_1 = I_7 + I_8 + I_9,$$

где  $m_{3-4}$  – масса скалки с ударником;  $I_7$  – момент инерции ротора электродвигателя;  $I_8$  – момент инерции муфты-маховика;  $I_9$  – момент инерции ротора насоса.

Момент инерции ротора электродвигателя

$$I_7 = \frac{10GD^2}{4g} \text{ (кг·м}^2\text{)}.$$

Момент инерции ротора насоса

$$I_8 = \frac{mD^2}{8},$$

где  $m$  – масса ротора, кг;  
 $D$  – диаметр ротора насоса, м;  
 $\rho$  – плотность, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$$m = V \cdot \rho;$$

где  $V$  – объем ротора, м<sup>3</sup>;

$$V = \frac{\pi \cdot D_{\delta}^2}{4} \cdot h_{\delta}, \text{ м}^3.$$

На первом этапе расчета момент инерции маховика  $I_8$  не учитывается.

Определение передаточного числа привода

$$u_{7-3} = \frac{\omega_i}{v_c},$$

где  $\omega_i$  – номинальная угловая скорость ротора, рад/с;  
 $v_c$  – линейная скорость скалки, м/с;

$$\omega_i = \frac{\pi n_i}{30}, \text{ рад/с};$$

$$q_i \cdot \frac{\omega_i}{2\pi} = S \cdot v;$$

$$S = \frac{\pi D_{\delta}^2 - d_{\sigma\delta}^2}{4}, \text{ м}^2;$$

$$u_{7-3} = \frac{2\pi \cdot S}{q_i}, \text{ рад/м},$$

где  $q_i$  – рабочий объем насоса, м<sup>3</sup>;  $S$  – рабочая площадь гидроцилиндра, м<sup>2</sup>;  
 $D_{\delta}$  – диаметр цилиндра, м;  $d_{\sigma\delta}$  – диаметр штока, м.

Определение приведенного к валу электродвигателя момента сил сопротивления  $M_{\text{спр}}$ .

Из графика (рис. 2.5)  $F_a = f(x)$  следует, что  $M_{\text{спр}}$  будет изменяться в функции перемещения ударника  $x$ , при этом принимаем в исходном положении ударника  $x = 0$ . Для расчета электропривода требуется иметь график зависимости  $M_{\text{пр}} = f(\varphi)$ ,  $\varphi$  – угол поворота ротора электродвигателя при перемещении ударника на величину  $x_i$ .

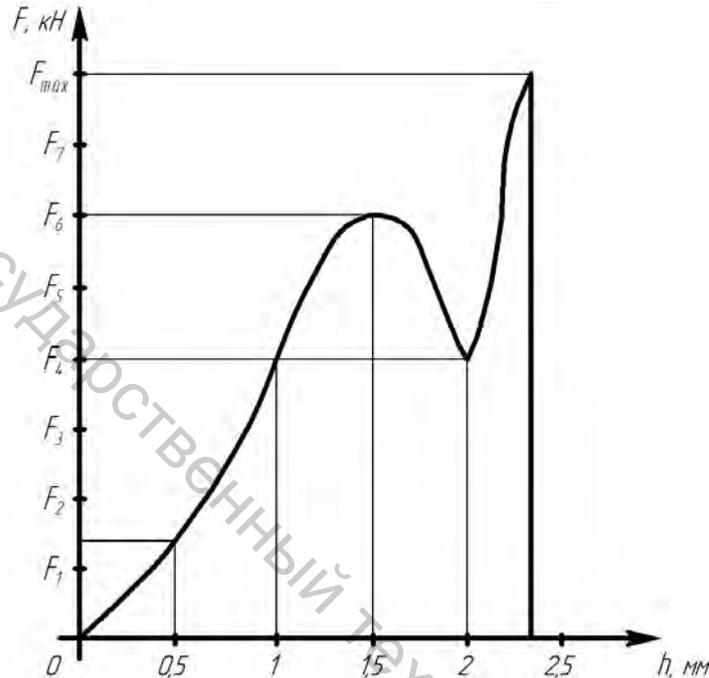


Рисунок 2.5 – График изменения усилия вырубания  $F = f(h)$

Для определения углового положения ротора электродвигателя при перемещении ударника на величину  $x_i$  используем формулу  $\varphi = u_{7-3} \cdot x_i$ .

Момент сил сопротивления определяется по формуле

$$M_{\text{пр}} = \frac{F_a + F_1 + F_2 - G}{u_{7-3}}, \text{ (Н}\cdot\text{м)},$$

где  $F_a$  – текущее значение усилия вырубки, Н;

$F_1$  – сила давления воздуха в скалке, Н;

$F_2$  – сила трения в уплотнениях поршня, Н;

$G$  – вес ударника и скалки, Н;

$u_{7-3}$  – передаточное число от ротора электродвигателя 7 к ударнику 3.

Сила давления воздуха определится

$$F_1 = P_0 \cdot \frac{\pi D_0^2}{4}, \text{ (Н)},$$

где  $P_0$  – давление в скалке, Н/м<sup>2</sup>;

$D_\delta$  – диаметр цилиндра.

Сила трения в уплотнениях поршня

$$F_2 = F \cdot Z, \text{ (Н)},$$

где  $F$  – сила трения в одном кольце;

$Z$  – количество колец.

$$k_\varphi = \frac{2\pi}{10} = 0,628 \text{ рад/мм.}$$

Для определения  $I_{i\delta 1}^*$  интерес представляет только один из указанных интервалов, на котором площадь, заключенная между кривыми  $M_{\tilde{m}\delta 1} = f_1(\varphi_2)$  и  $M_{\tilde{A}} = f_2(\varphi_1)$ , – наибольшая (рис. 2.6).

Учитывая, что  $\omega_{1k} = \omega_{1\min}$ ,  $\omega_{1H} = \omega_{1\max}$ ,  $A_{\tilde{A}}^* < A_{\tilde{m}\delta}^*$ , запишем уравнение (2.4) в виде

$$I_{i\delta 1}^* \frac{\omega_{1\max}^2 - \omega_{1\min}^2}{2} = A_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}}, \quad (2.5)$$

где  $A_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}}^* = A_{\tilde{m}\delta}^* - A_{\tilde{A}}^*$  – разность работ  $M_{\tilde{m}\delta 1}$  и  $M_{\tilde{A}}$  на интервале (избыточная работа).

$A_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}}$  может быть определена по формуле

$$A_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}} = S_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}} \cdot K_M \cdot K_\varphi, \quad (2.6)$$

где  $S_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}}$  – площадь, заключенная между графиками  $M_{\tilde{m}\delta 1}$  и  $M_{\tilde{A}}$  на интервале.

Тогда из формулы (2.5) с учетом (2.6) имеем

$$I_{i\delta 1}^* = \frac{2S_{\tilde{e}\tilde{c}\tilde{a}} \cdot K_M \cdot K_\varphi}{\omega_{1\max}^2 - \omega_{1\min}^2}. \quad (2.7)$$

Определив численное значение  $I_{i\delta 1}^*$ , необходимо сравнить с численным значением  $I_{i\delta}$ , определенным ранее.

Если  $I_{i\delta 1}^* < I_{i\delta}$  – маховик в приводе не нужен;  $I_{i\delta 1}^* > I_{i\delta}$  – маховик необходим.

Момент инерции маховика рассчитывается по формуле

$$I_{i\delta} = I_{i\delta 1}^* - I_{i\delta}.$$

Геометрические размеры маховика зависят от конструкции узла привода, т. е. можно задаваться или диаметром, или толщиной маховика, а затем находить неизвестный размер.

$$I_{i \dot{\alpha} \dot{\delta}} = \frac{m \cdot D^2}{8},$$

где  $m$  – масса маховика, кг;

$D$  – диаметр, м;

$$m = \frac{8I}{D^2}; \quad m = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_i \cdot \rho;$$

$\rho$  – плотность,  $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

Определяем высоту маховика  $h$ , м.

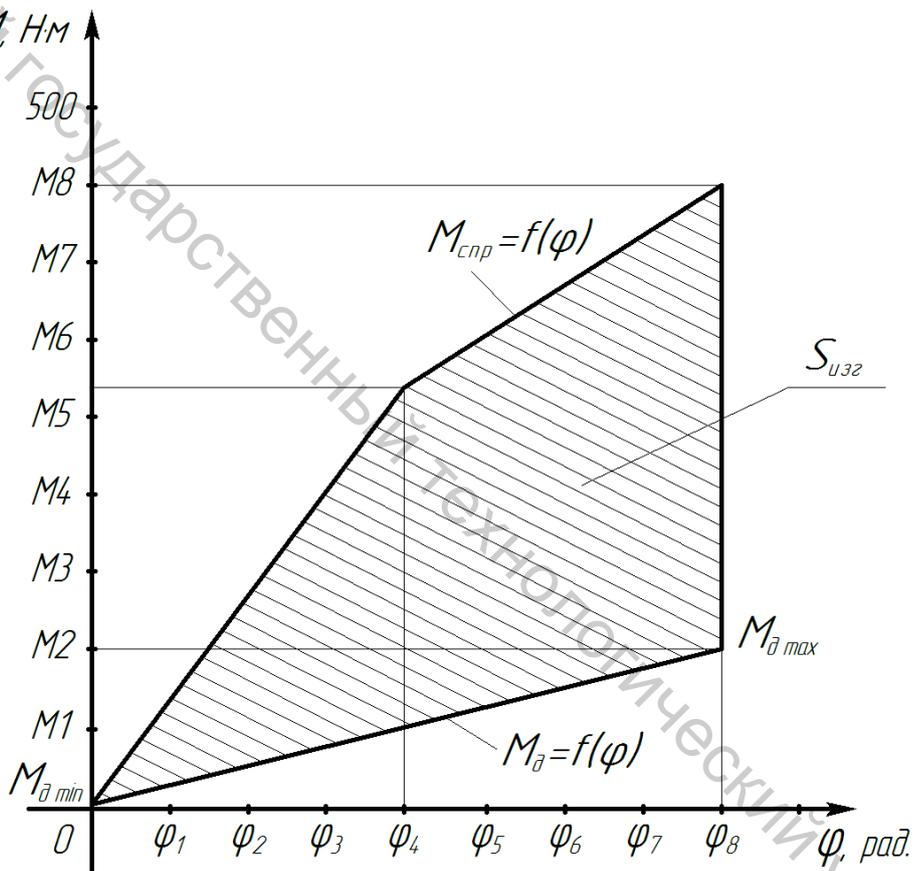


Рисунок 2.6 – Графики  $M_{\bar{\omega}} = f(\varphi)$  и  $M_{\bar{\alpha}} = f(\varphi)$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов, Л. И. Элементы и схемы электроавтоматики : учебное пособие для студ. вузов спец. «Автоматизация и компл. механизация хим.-технол. процессов» / Л. И. Коновалов, Д. П. Петелин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1985. – 216 с., илл.

2. Иванов, М. Н. Детали машин : учебник для студ. вузов / М. Н. Иванов, под ред. В. А. Финогенова. – 6-е изд. перераб. – Москва : Высшая школа, 1985. – 216 с.

3. Москаленко, В. В. Электрический привод : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Москаленко. – Москва : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.

4. Артоболевский, И. И. Теория механизмов / И. И. Артоболевский. – Москва : Наука, 1965. – 776 с., илл.

5. Демидович, Б. П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – Москва : Наука, 1970. – 664 с.