

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электрооборудования
сельскохозяйственных предприятий

ЭЛЕКТРОПРИВОД

*Практикум
для студентов специальности
1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (электроэнергетика)»*

Минск
БГАТУ
2011

УДК 62–83(07)
ББК 31.291я7
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом
агроэнергетического факультета БГАТУ.
Протокол № 11 от 18 июня 2009 г.*

Составители:
кандидат технических наук, доцент *В. В. Гурин*,
ассистент *Е. В. Бабаева*

Рецензенты:
кандидат технических наук, профессор кафедры
«Электроснабжение» БГАТУ *Г. И. Янукович*;
заведующий лабораторией РУП
«Белорусский теплоэнергетический институт»,
доктор технических наук, профессор *Е. П. Забелло*

Электропривод : практикум / сост. : В. В. Гурин, Е. В. Ба-
Э45 баева. – Минск : БГАТУ, 2011. – 200 с.
ISBN 978-985-519-380-8.

Издание включает 25 практических занятий по курсу «Электропривод».
Предназначено для студентов вузов и ССУЗов специальности
1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электро-
энергетика)».

УДК 62–83(07)
ББК 31.291я7

ISBN 978-985-519-380-8

© БГАТУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
<i>Практическое занятие № 1</i>	
Построение графиков механических характеристик рабочих машин	7
<i>Практическое занятие № 2</i>	
Составление кинематической схемы электропривода	14
<i>Практическое занятие № 3</i>	
Составление расчетных схем механической части электропривода	26
<i>Практическое занятие № 4</i>	
Построение графика механической характеристики ДПП параллельного и последовательного возбуждения	32
<i>Практическое занятие № 5</i>	
Построение графиков механической и электромеханической характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя.....	41
<i>Практическое занятие № 6</i>	
Расчет пусковых резисторов для асинхронного электродвигателя с фазным ротором.....	48
<i>Практическое занятие № 7</i>	
Расчет механической характеристики асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при динамическом торможении	54
<i>Практическое занятие № 8</i>	
Расчет механических характеристик асинхронного электродвигателя при регулировании скорости вращения частотой тока и построение их графиков	61

<i>Практическое занятие № 9</i>	
Графоаналитический расчет времени пуска асинхронного электропривода.....	67
<i>Практическое занятие № 10</i>	
Расчет энергетических показателей асинхронного электродвигателя.....	73
<i>Практическое занятие № 11</i>	
Определение оптимального коэффициента нагрузки асинхронного электродвигателя, целесообразность замены его меньшим по мощности	78
<i>Практическое занятие № 12</i>	
Энергосбережение при ограничении холостых ходов асинхронных электродвигателей и при увеличении коэффициента загрузки рабочих машин	84
<i>Практическое занятие № 13</i>	
Энергосбережение при регулировании подачи центробежных машин путем изменения скорости электропривода	91
<i>Практическое занятие № 14</i>	
Энергосбережение при замене нерегулируемого электропривода вентилятора с дросселированием потока на регулируемый электропривод с трехскоростным электродвигателем.....	101
<i>Практическое занятие № 15</i>	
Энергосбережение при регулировании скорости транспортера.....	112
<i>Практическое занятие № 16</i>	
Энергосбережение при переходных процессах в электроприводе	121
<i>Практическое занятие № 17</i>	
Нагрев и охлаждение электродвигателя в режимах работы S1, S2, S3	128
<i>Практическое занятие № 18</i>	
Выбор электродвигателя по мощности для работы в режиме S1	138

<i>Практическое занятие № 19</i>	
Выбор электродвигателя по мощности для работы в режиме S2.....	145
<i>Практическое занятие № 20</i>	
Выбор электродвигателя по мощности для работы в режиме S3.....	152
<i>Практическое занятие № 21</i>	
Выбор асинхронного электродвигателя режима S1 для работы в режиме S3.....	159
<i>Практическое занятие № 22</i>	
Выбор асинхронного электродвигателя по мощности и маховика для работы в перемежающемся режиме с ударной нагрузкой на валу.....	165
<i>Практическое занятие № 23</i>	
Выбор асинхронного электродвигателя по мощности для работы в режиме S8.....	172
<i>Практическое занятие № 24</i>	
Выбор асинхронного электродвигателя для привода скреперного транспортера УС-Ф-170.....	177
<i>Практическое занятие № 25</i>	
Выбор асинхронного электродвигателя для привода горизонтального скребкового транспортера кругового движения.....	189
ЛИТЕРАТУРА.....	198

ВВЕДЕНИЕ

Расчетный практикум подготовлен в соответствии с учебной программой курса «Электропривод» для студентов специальности 1-74 06-05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)».

Учебным планом предусмотрено проведение практических занятий по основным разделам курса. Практикум знакомит студентов с темами занятий, программой занятий, индивидуальным заданием и методикой решения задач.

На первом занятии каждый студент получает свой номер варианта и исходные данные, в соответствии которыми рассчитывает первую и все последующие задачи.

Темы практических занятий тесно связаны с прочитываемыми в это время лекциями, что облегчает студенту понимание сути изучаемых процессов.

Каждое практическое занятие рассчитано на 2 или 4 часа самостоятельной работы студента в учебной аудитории с данными методическими указаниями.

Для успешного выполнения расчетов студенты обязаны заранее ознакомиться с темой предстоящего практического занятия, подготовить ответы на вопросы для самоподготовки, воспользовавшись приведенной литературой, а также взять в учебную аудиторию калькулятор, линейку и карандаш.

В начале каждого занятия студенты опрашиваются по вопросам для самоподготовки (или показывают выполненные в письменном виде ответы на вопросы для самоподготовки).

В конце занятия студент показывает преподавателю результаты расчетов и ответы на контрольные вопросы. Как правило, следующее занятие студент выполняет только после получения положительной оценки по предыдущему занятию.

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ МАШИН

Цель занятия: научиться рассчитывать мощность, необходимую для привода вентилятора по его основным техническим характеристикам, строить график механической характеристики вентилятора.

Задача. В хозяйстве используется центробежный вентилятор исполнения № 6. Он имеет колесо вентилятора, насаженное на отдельный вал, который связан с валом электродвигателя через ременную передачу (рис. 1.1). Определить мощность приводного электродвигателя и построить график приведенной к валу электродвигателя механической характеристики вентилятора.

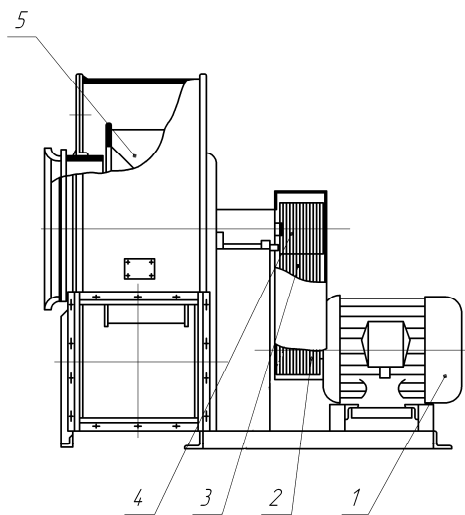


Рис. 1.1. Конструкция центробежного вентилятора исполнения № 6:
1 – электродвигатель; 2 – ведущий шкив; 3 – ременная передача;
4 – ведомый шкив; 5 – колесо вентилятора

Вопросы для самоподготовки:

1. Какие типовые механические характеристики рабочих машин и механизмов вы знаете?
2. Какие исходные данные необходимы для вычисления мощности вентилятора?

Литература. Фоменков, А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий : учебник / А. П. Фоменков. – Москва : Колос, 1984. – 288 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 1.1 технические характеристики центробежного вентилятора по своему варианту.
2. Определить мощность, необходимую для обеспечения работы вентилятора в номинальном режиме.
3. Определить мощность электродвигателя вентилятора с учетом коэффициента запаса (табл. 1.2).
4. По табл. 1.3 выбрать двигатель и выписать его характеристики.
5. Определить номинальный статический момент сопротивления вентилятора (при заданной в табл. 1.1 угловой скорости рабочего колеса).
6. Выполнить расчеты механической характеристики вентилятора и построить ее график.
7. Определить приведенные к валу электродвигателя моменты сопротивления вентилятора.
8. Построить график приведенной к валу электродвигателя механической характеристики вентилятора.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Технические характеристики центробежного вентилятора выписать из табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные						
Вариант	№ вентилятора	Подача Q , м ³ /ч	Давление p , Па	КПД вентилятора η_1 , о.е.	Угловая скорость колеса $\omega_{с.к}$, с ⁻¹	КПД передачи η_2 , о.е.
1	2	3	4	5	6	7
1	3	1600	600	0,76	200	0,95
2	3	1700	700	0,76	220	0,95
3	3	1800	800	0,77	240	0,95

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
4	3	1900	900	0,78	260	0,95
5	3	2000	1260	0,78	270	0,95
6	4	2000	360	0,75	120	0,95
7	4	2800	420	0,8	130	0,95
8	4	3000	680	0,78	170	0,95
9	4	4000	800	0,8	180	0,95
10	4	5000	850	0,76	200	0,95
11	5	6500	920	0,8	160	0,95
12	5	5600	750	0,8	180	0,95
13	5	5000	520	0,8	120	0,95
14	5	4000	500	0,76	110	0,95
15	6	4000	360	0,78	100	0,95
16	6	6000	340	0,78	80	0,95
17	6	7000	380	0,76	90	0,95
18	6	8000	650	0,8	110	0,95
19	6	9000	750	0,77	120	0,95
20	8	10 000	900	0,79	130	0,95
21	8	10 000	600	0,8	90	0,95
22	8	12 000	700	0,77	100	0,95
23	8	15 000	800	0,76	110	0,95
24	8	18 000	700	0,7	120	0,95
25	8	10 000	1200	0,56	100	0,95
26	8	13 000	1800	0,565	120	0,95
27	8	15 000	2700	0,56	130	0,95
28	8	17 000	3200	0,56	170	0,95
29	8	20 000	2200	0,56	180	0,95
30	8	10 000	1100	0,55	90	0,95

• к пункту 2 плана занятия. Мощность, необходимая для вращения вентилятора, вычисляется по формуле

$$P_{M0} = \frac{Qp}{\eta_1 \eta_2}, \quad (1.1)$$

где Q – объемная подача, м³/с;

p – давление, Па;

η_1 – КПД вентилятора;

η_2 – КПД передачи (клиноременной – 0,95).

• к пункту 3 плана занятия. Уточнить мощность вентилятора с помощью коэффициента запаса по мощности, который находят по табл. 1.2.

Таблица 1.2

Зависимость коэффициента запаса k_3 от мощности P_{M0}

Мощность P_{M0} , кВт (включительно)	Коэффициент запаса k_3
до 0,5	1,5
от 0,5 до 1,0	1,3
от 1,0 до 2,0	1,2
от 2,0 до 3,0	1,1
больше 3,0	1,0

Уточненная мощность вентилятора вычисляется по формуле

$$P_M = k_3 P_{M0}. \quad (1.2)$$

• к пункту 4 плана занятия. В табл. 1.3 выбрать электродвигатель по значению фактически потребляемой мощности ($P_H \geq P_M$). Выписать из табл. 1.3 все приведенные в ней технические характеристики электродвигателя.

Таблица 1.3

Технические характеристики четырехполюсных электродвигателей серии АИР основного исполнения (до 90 кВт)

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_H , кВт	Номинальные значения			Кратность момента, о.е.			Кратность пускового тока k_t , о.е.	Момент инерции ротора J_{rot} , кг·м ²	Масса электродвигателя m , кг
		КПД η , %	cos ϕ , о.е.	скольжение S_n , %	пускового $\mu_{пуск}$	критического μ_{max}	минимального при пуске μ_{min}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР50А4	0,06	53	0,63	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000029	2,6
АИР50В4	0,09	57	0,65	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000033	2,9
АИР56А4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	0,0007	3,35
АИР56В4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00079	3,9
АИР63А4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0012	4,7
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0014	5,6

Окончание табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90Л4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17
АИР100С4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6
АИР100Л4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	0,011	27,3
АИР112М4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	0,017	41
АИР132С4	7,5	87,5	0,86	4	2	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132М4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	0,04	70
АИР160С4	15	90	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,078	100
АИР160М4	18,5	90,5	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,1	110
АИР180С4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7	0,15	170
АИР180М4	30	92	0,87	2	1,7	2,7	1,5	7	0,19	190
АИР200М4	37	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,28	245
АИР200Л4	45	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,34	270
АИР225М4	55	93	0,89	2	1,7	2,6	1,6	7	0,51	335
АИР250Л4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	0,89	450
АИР250М4	90	94	0,89	1,5	1,5	2,5	1,3	7,5	1,1	480

• **к пункту 5 плана занятия.** Номинальный статический момент сопротивления $M_{с.н}$ на приводном валу вентилятора вычисляется по формуле

$$M_{с.н} = \frac{P_m}{\omega_{с.н}}, \quad (1.3)$$

где $\omega_{с.н}$ – номинальная угловая скорость приводного вала вентилятора, рад/с.

• **к пункту 6 плана занятия.** Механическая характеристика вентилятора описывается формулой

$$M_c = M_{c0} + (M_{с.н} - M_{c0}) \left(\frac{\omega_c}{\omega_{с.н}} \right)^2, \quad (1.4)$$

где M_c – момент сопротивления при заданной скорости ω_c , Н·м;

M_{c0} – начальный статический момент, Н·м;

$M_{с.н}$ – номинальный статический момент, Н·м.

• **к пункту 7 плана занятия.** Начальный статический момент принять $M_{c0} = 0,15M_{с.н}$.

Для нахождения M_c следует задать несколько значений угловой скорости ω_c (табл. 1.4). Результаты вычислений моментов сопротивления M_c по формуле (1.4) записать по форме табл. 1.4.

Таблица 1.4

Результаты расчетов механической характеристики вентилятора

Механическая характеристика вентилятора (на его валу)							Приведенная к валу электродвигателя механическая характеристика вентилятора		
ω_c	$\omega_c/\omega_{с.н}$	$(\omega_c/\omega_{с.н})^2$	$M_{с.н}$	M_{c0}	$(M_{с.н} - M_{c0})(\omega_c/\omega_{с.н})^2$	M_c по (1.4)	M'_c по (1.5)	$\omega'_{дв}$ по (1.7)	
0									
0,2									
0,3									
0,4									
0,6									
0,8									
1,0									

Механическая характеристика рабочей машины представляется в виде зависимости $M_c = f(\omega_c)$.

• **к пункту 8 плана занятия.** Приведенный к валу электродвигателя момент сопротивления вентилятора M'_c определяется по формуле

$$M'_c = \frac{M_c}{i\eta_2}, \quad (1.5)$$

где i – передаточное число:

$$i = \frac{\omega_n}{\omega_{с.н}}, \quad (1.6)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Любая другая ненормальная приведенная скорость электродвигателя определяется по формуле

$$\omega'_{дв} = \omega_c i. \quad (1.7)$$

Приведенная к валу электродвигателя механическая характеристика вентилятора представляется в виде зависимости $M_c' = f(\omega_{дв}')^2$ и строится на том же графике, что и характеристика $M_c = f(\omega_c)$. Расчеты рекомендуется записать по форме табл. 1.4.

Контрольные вопросы:

1. Опишите методику расчета мощности электродвигателя вентилятора.
2. Опишите методику построения механической характеристики вентилятора.
3. Опишите методику построения приведенной к валу электродвигателя механической характеристики рабочей машины.

Практическое занятие № 2

СОСТАВЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель занятия: научиться составлять кинематическую схему электропривода и рассчитывать ее элементы.

Задача. Для условий задачи практического занятия № 1 составить кинематическую схему электропривода вентилятора и рассчитать ее элементы.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что показывает кинематическая схема электропривода?
2. Назовите элементы кинематической схемы.

Литература. Электропривод : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. В. Гурин, Е. В. Бабаева. – Минск : БГАТУ, 2006. – 314 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 2.1 исходные данные по своему варианту.
2. Выбрать элементы кинематической схемы: клиноременную передачу; диаметры ведущих и ведомых шкивов передачи.
3. Ознакомиться с графическими обозначениями элементов кинематических схем (см. табл. 2.7). Составить кинематическую схему электропривода вентилятора.

Методические указания:

В описании вентилятора (см. практическое занятие № 1) указано, что вал вентилятора исполнения № 6 связан с валом электродвигателя через ременную передачу. Следовательно, необходимо выбрать ременную передачу и составить кинематическую схему электропривода с ременной передачей.

• к пункту 1 плана занятия. Исходные данные к расчету выписать из табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность электродвигателя $P_{н.д.}$, кВт	Угловая скорость $\omega_{н.д.}$, рад/с	№ вентилятора	Передаточное число i	Момент инерции ротора электродвигателя $J_{р.л.}$, кг·м ²
1	АИР71В4	0,75	141,8	3	0,71	0,0014
2	АИР71В4	0,75	141,8	3	0,64	0,0014
3	АИР71В4	0,75	141,8	3	0,59	0,0014
4	АИР80А4	1,1	146,5	3	0,56	0,0032
5	АИР80В4	1,5	146,5	3	0,51	0,0033
6	АИР71А4	0,55	142,5	4	1,19	0,0013
7	АИР71В4	0,75	141,8	4	1,09	0,0014
8	АИР80А4	1,1	146,5	4	0,92	0,0032
9	АИР80В4	1,5	146,5	4	0,81	0,0033
10	АИР90L4	2,2	146,5	4	0,73	0,0056
11	АИР100S4	3	148,1	5	0,93	0,0087
12	АИР90L4	2,2	146,5	5	1,05	0,0056
13	АИР80В4	1,5	146,5	5	1,22	0,0033
14	АИР80А4	1,1	146,5	5	1,33	0,0032
15	АИР71В4	0,75	141,8	6	1,42	0,0014
16	АИР80А4	1,1	146,5	6	1,83	0,0032
17	АИР80В4	1,5	146,5	6	1,63	0,0033
18	АИР100S4	3	148,1	6	1,35	0,0087
19	АИР100S4	3	148,1	6	1,23	0,0087
20	АИР100L4	4	148,1	8	1,14	0,0110
21	АИР100S4	3	148,1	8	1,65	0,0087
22	АИР100L4	4	148,1	8	1,48	0,011
23	АИР112M4	5,5	150,4	8	1,37	0,017
24	АИР112M4	5,5	150,4	8	1,25	0,017
25	АИР132S4	7,5	151,2	8	1,51	0,028
26	АИР160S4	15	152,8	8	1,27	0,078
27	АИР180S4	22	153,6	8	1,10	0,15
28	АИР180M4	30	154,4	8	0,96	0,19
29	АИР180M4	30	154,4	8	1,10	0,19
30	АИР132S4	7,5	151,2	8	1,68	0,028

Выбор ременной передачи производится по методике, изложенной в [1].

В качестве примера возьмем мощность $P_{н.д.} = 0,55$ кВт и угловую скорость $\omega_{н.д.} = 150$ рад/с. По этим данным на рис. 2.1 построена точка О. Из рис. 2.1 видно, что ближайший больший диаметр ведущего шкива составляет 71 мм. Но его не следует выбирать, поскольку он обеспечивает мощность 0,59 кВт, т. е. малый запас по мощности ($0,59/0,55 = 1,07$), а учет поправочных коэффициентов, определяемых далее по табл. 2.2–2.5, требует запаса в 15–20 %. По этой причине выбирают следующий диаметр шкива, т. е. $d_1 = 80$ мм, точка О'. Этот диаметр обеспечивает передаваемую мощность $P_0 = 0,72$ кВт без учета снижающих эту мощность коэффициентов, которые определяются после расчета других размеров передачи.

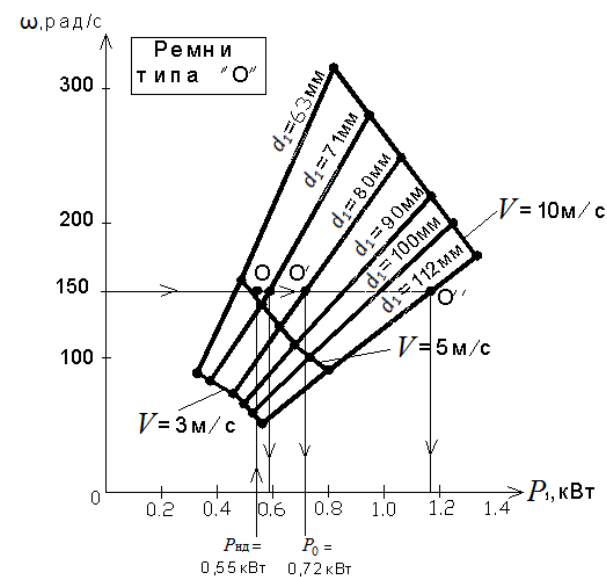


Рис. 2.1. Пример определения диаметра d_1 ременной передачи и типа ремня

При выборе рабочей точки О' не рекомендуется заходить в область линейных скоростей выше 15 м/с. При $P_{н.д.}$ до 1 кВт (включительно) рекомендуется брать один ремень типа О, при $P_{н.д.}$ от 1 кВт до 2,2 кВт (включительно) – ремень типа А, при $P_{н.д.}$ от 2,2 кВт до 4 кВт – ремень типа Б, при больших мощностях – несколько ремней типа Б.

Если на рис. 2.1 при заданной скорости $\omega_{н.д.}$ недостаточна мощность, передаваемая одним ремнем, то выбирается два ремня и бо-

лее или другой тип ремня. Например, на рис. 2.1 требуется передать мощность 1,5 кВт, а можно передать лишь мощность 1,19 кВт (точка O''). Тогда следует заранее брать два ремня и точку O' искать для мощности $P_{н.д} / 2$. Хорошие результаты получаются в том случае, если точка O' будет в области средних значений (рис. 2.2).

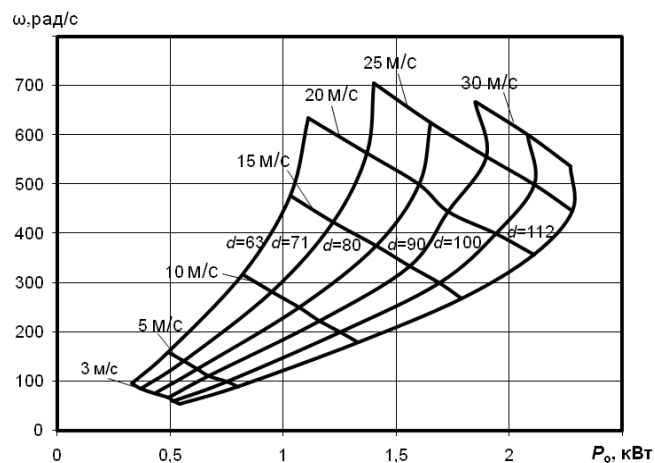


Рис. 2.2а. Зависимость передаваемой угловой скорости и передаваемой мощности клиновыми ремнями типа О

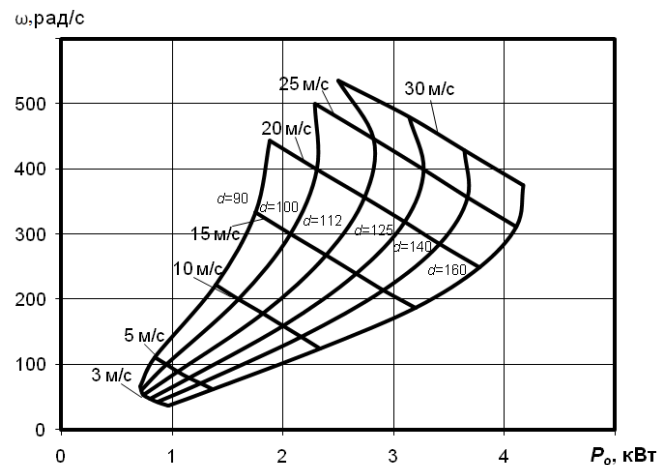


Рис. 2.2б. Зависимость передаваемой угловой скорости и передаваемой мощности клиновыми ремнями типа А

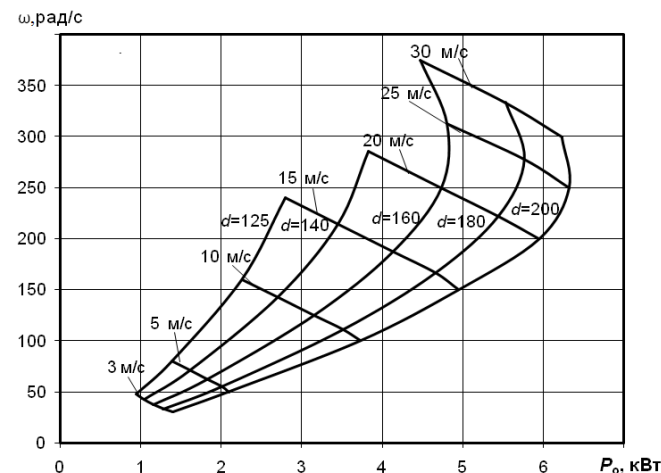


Рис. 2.2в. Зависимость передаваемой угловой скорости и передаваемой мощности клиновыми ремнями типа Б

Выбор элементов ременной передачи провести в следующей последовательности.

1. Выбрать по рис. 2.2 тип ремня (О, А, Б и т. д.) и диаметр ведущего шкива d_1 . На рис. 2.2 приведены зависимости $\omega = f(P_0)$, где ω – угловая скорость ведущего шкива передачи, рад/с, а P_0 – мощность на ведущем шкиве передачи, кВт. В большинстве случаев ведущий шкив насаживается на вал электродвигателя и $\omega = \omega_{н.д.}$, а $P_0 = P_{н.д.}$.

На рис. 2.2 представлены также возрастающие линии диаметров ведущего шкива d_1 . Они показывают, какую скорость и мощность может передать ременная передача при данном диаметре d_1 . Воспользовавшись этими кривыми, определить требуемый диаметр d_1 и тип ремня. Для этого найти на графике точку с координатами $\omega_{н.д.}$ и $P_{н.д.}$ (см. рис. 2.1) и провести расчеты, как описано выше.

2. Определить геометрические размеры передачи, согласовывая их со стандартами.

Диаметр ведомого шкива, мм:

$$d_2 = 0,98d_1. \quad (2.1)$$

Выбрать ближайшее значение d_2 из ряда, мм: 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200; 224; 250; 315; 355; 400; 450; 500; 630.

Межосевое расстояние, мм:

$$a \approx 0,8(d_1 + d_2). \quad (2.2)$$

Длина ремня, мм:

$$l_p = 2a + \pi \frac{(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}. \quad (2.3)$$

Выбрать ближайшее большее значение l_p из ряда, мм: 400; 450; 500; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000; 2240; 2500; 2800; 3150; 3550; 4000; 4500.

3. Определить угол обхвата ведущего шкива:

$$\alpha_1 = 180 - 57,3 \frac{(d_2 - d_1)}{a}. \quad (2.4)$$

Угол α_1 должен быть $>120^\circ$.

4. Линейная скорость ремня, м/с:

$$v = \omega_n \frac{d_1}{2}, \quad (2.5)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с.

5. Допустимая полезная мощность (кВт), передаваемая одним клиновым ремнем, определяется по формуле

$$P_{\text{доп}} = P_0 C_a C_v C_\theta C_{p,p}, \quad (2.6)$$

где $C_a, C_v, C_\theta, C_{p,p}$ – коэффициенты из табл. 2.2–2.5.

Если значения задаваемых величин не соответствуют значениям в табл. 2.2–2.5, то эти числа аппроксимируются по правилам математики. Принять угол наклона ременной передачи 0° , режим работы – средний.

Таблица 2.2

Зависимость коэффициента C_a от угла обхвата малого шкива α_1

$\alpha_1, ^\circ$	180	170	160	150	140	130	120
C_a	1	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83

Таблица 2.3

Зависимость коэффициента C_v от линейной скорости ремня v

$v, \text{ м/с}$	1	5	10	15	20	25	30	35	40
C_v	1,05	1,04	1	0,94	0,85	0,74	0,6	0,58	0,55

Таблица 2.4

Зависимость коэффициента C_θ от угла наклона ременной передачи θ

$\theta, ^\circ$	0–60	60–80	80–90
C_θ	1	0,9	0,8

Таблица 2.5

Зависимость коэффициента режима работы $C_{p,p}$ от условий работы передачи

Режим работы	Весьма тяжелый (ВТ)	Тяжелый	Средний	Легкий
$C_{p,p}$	0,9	0,95	1	1,05

6. Найденное по формуле (2.6) значение $P_{\text{доп}}$ должно быть больше значения номинальной мощности электродвигателя $P_{\text{н.д}}$:

$$P_{\text{доп}} > P_{\text{н.д}}. \quad (2.7)$$

7. Ширина шкива передачи B зависит от числа и типа ремней и для клинового ремня приближенно вычисляется по формуле

$$B = 1,25N b + 0,25b, \quad (2.8)$$

где b – ширина верхней части сечения ремня, мм (табл. 2.6);

N – количество клиновидных ремней.

Таблица 2.6

Зависимость ширины верхней части сечения клинового ремня от его типа

Тип ремня	О	А	Б	УО	УА	УБ
Ширина b , мм	10	13	17	10	13	17

8. Массу шкива вычислить по формуле

$$m = \rho \left(\frac{\pi d^2}{4} B \right), \quad (2.9)$$

где ρ – удельный вес стали; $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$;

d – диаметр шкива, м;

B – ширина шкива, м.

Массу колеса вентилятора вычислить по эмпирической формуле

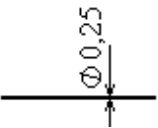
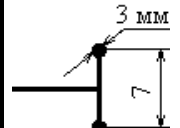
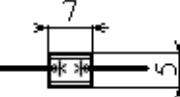
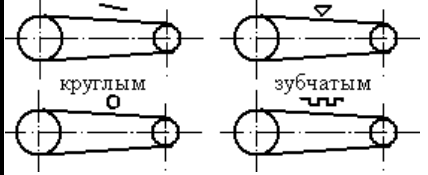
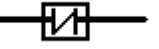
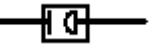
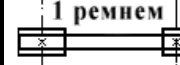

$$m = 22D_5^2, \quad (2.10)$$

где D_5 – диаметр колеса вентилятора, м (см. табл. 2.1).

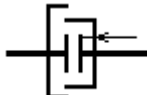

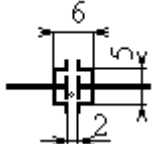

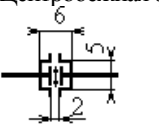
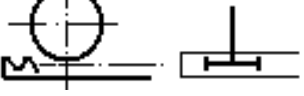


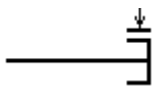
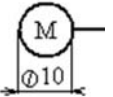
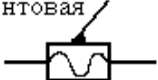


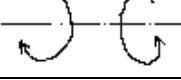
• к пункту 2 плана занятия. Пользуясь табл. 2.7, составить кинематическую схему электропривода.

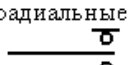
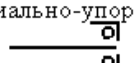
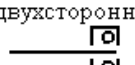
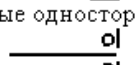
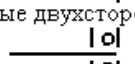
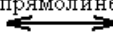
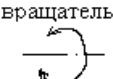

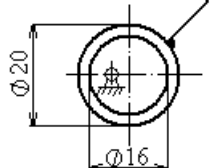
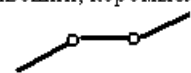
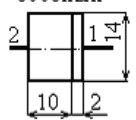
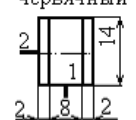

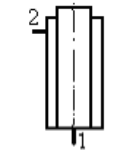

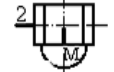
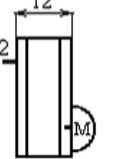

Таблица 2.7

Основные графические обозначения элементов кинематических схем и движений вала

Наименование и обозначение	Наименование и обозначение
Вал, валик, ось, стержень, шатун и т. п. 	Маховик на валу 
Муфта нерасцепляемая (неуправляемая) глухая 	Передача ремнем: плоским клиновидным круглым зубчатым 
Муфта нерасцепляемая (неуправляемая): упругая  компенсирующая 	1 ремнем  2 ремнями 

Продолжение табл. 2.7

Наименование и обозначение	Наименование и обозначение
Муфта сцепления механическая: асинхронная (например, фрикционная) 	Передача цепью: круглозвенной пластинчатой зубчатой втулочной (роликовой) 
Муфта автоматическая (самодействующая) обгонная (свободного хода) 	
Центробежная фрикционная муфта 	Передачи зубчатые реечные 
Муфта автоматическая (самодействующая) предохранительная с разрушающим элементом 	Гайка на винте, передающем движение 
Тормоз (общее обозначение без уточнения типа) 	Электрический двигатель 
Кинематическая пара: винтовая  карданный вал 	Одностороннее движение: прямолинейное  вращательное 

Наименование и обозначение	Наименование и обозначение
<p>Подшипники качения:</p> <p>радиальные</p>  <p>радиально-упорные</p>  <p>двухсторонние</p>  <p>упорные односторонние</p>  <p>упорные двухсторонние</p> 	<p>Возвратное движение:</p> <p>прямолинейное</p>  <p>вращательное</p> 
<p>Гибкий вал для передачи вращающего момента</p> 	<p>Звено рычажных механизмов:</p> <p>эксцентрик</p>  <p>кривошип, коромысло, шатун</p> 
<p>Редуктор:</p> <p>соосный</p>  <p>червячный</p>  <p>цилиндрический развёрнутый</p>  <p>коническо-цилиндрический</p> 	<p>Мотор-редуктор:</p> <p>соосный</p>  <p>червячный</p>  <p>цилиндрический развёрнутый</p>  <p>коническо-цилиндрический</p> 

Образец кинематической схемы шнекового смесителя представлен на рис. 2.3.

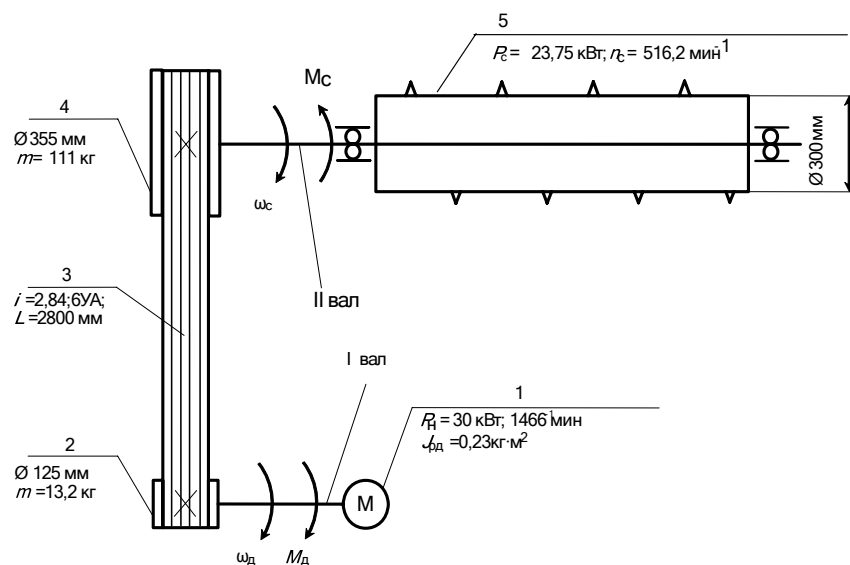


Рис. 2.3. Образец кинематической схемы шнекового смесителя

Под кинематической схемой составляется таблица параметров ременной передачи (образец – табл. 2.8) и таблица перечня элементов ременной передачи (образец – табл. 2.9).

Таблица 2.8

Параметры ременной передачи

Электродвигатель	Передача	Рабочая машина
$P_{дв} = 25 \text{ кВт}$	Клиноременная, $i = 2,84$, $\eta = 0,95$	$P_c = 23,75 \text{ кВт}$
$M_{дв} = 161,6 \text{ Н·м}$	Ремень типа УА	$M_c = 436,2 \text{ Н·м}$
$n_{дв} = 1466 \text{ мин}^{-1}$	Количество ремней – 6	$n_c = 516,2 \text{ мин}^{-1}$
$\omega_{дв} = 153,19 \text{ рад/с}$	Длина ремня 2800 мм	$\omega_c = 53,94 \text{ рад/с}$

Таблица 2.9

Перечень элементов кинематической схемы

Наименование	Кол-во	Примечание
1. Электродвигатель 4AP180M4БСХУ2, $P_n = 30$ кВт	1	$J_{р.д} = 0,23$ кг·м ²
2. Шкив ведущий на 6 ручьев, Ø125 мм	1	$B = 132,5$ мм
3. Ремень типа УА длиной 2800 мм	6	–
4. Шкив ведомый на 6 ручьев Ø355 мм	1	$B = 132,5$ мм
5. Шнековый измельчитель, Ø300 мм, $L = 3000$ мм	1	–

Колесо вентилятора изобразить условно в виде символа, показанного на рис. 2.4. Диаметр (в мм) должен соответствовать номеру вентилятора, умноженному на 100.

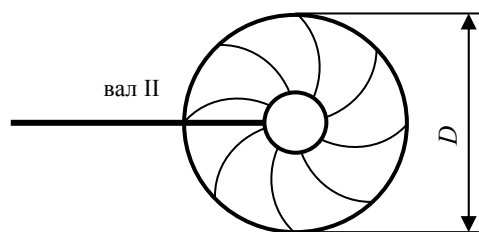


Рис. 2.4. Символ колеса вентилятора

Определить параметры составленной кинематической схемы подобно тому, как это сделано на рис. 2.3.

Полученные результаты расчетов (тип ремня, количество ремней, длина ремня, диаметры шкивов, колеса вентилятора и их массы) указываются на кинематической схеме (см. рис. 2.3).

Контрольные вопросы:

1. По какой формуле определяется диаметр ведомого шкива клиноременной передачи?
2. Как определяется количество ремней клиноременной передачи?
3. Каким символом на кинематической схеме обозначаются электродвигатель, мотор-редуктор, упругая муфта, цепная передача, ременная передача, гибкий вал?

Практическое занятие № 3

СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель занятия: научиться составлять расчетные схемы механической части электропривода и определять приведенный момент инерции.

Задача. Для составленной на практическом занятии № 2 кинематической схемы электропривода составить расчетную и приведенную одномассовые схемы механической части электропривода. Исходные данные приведены в табл. 3.1.

Вопросы для самоподготовки:

1. По какой формуле приводятся моменты инерции вращающихся тел к валу электродвигателя?
2. По какой формуле приводятся к валу электродвигателя поступательно движущиеся массы рабочей машины?
3. По какой формуле приводятся к валу электродвигателя моменты сопротивления рабочей машины?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Составить исходную расчетную схему механической части электропривода вентилятора.
2. Определить моменты инерции элементов схемы.
3. Составить приведенную двухмассовую схему механической части электропривода.
4. Составить приведенную одномассовую схему механической части электропривода.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Исходные данные к расчету взять из табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Момент инерции ротора электродвигателя $J_{р.д.}$, кг·м ²	Передающее число i	Диаметр			Момент сопротивления $M_{с.тв}$, Н·м	Ширина шкива передачи B , мм
				колеса вентилятора D_5 , м	ведущего шкива d_1 , мм	ведомого шкива d_2 , мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	АИР71В4	0,0014	0,71	0,3	100	71	2,8	15
2	АИР71В4	0,0014	0,64	0,3	100	71	3,1	15
3	АИР71В4	0,0014	0,59	0,3	100	71	3,0	15
4	АИР80А4	0,0032	0,56	0,3	112	71	3,2	19,5
5	АИР80В4	0,0033	0,51	0,3	125	71	4,2	19,5
6	АИР71А4	0,0013	1,19	0,4	80	100	3,5	15
7	АИР71В4	0,0014	1,09	0,4	100	112	5,0	15
8	АИР80А4	0,0032	0,92	0,4	112	112	6,2	19,5
9	АИР80В4	0,0033	0,81	0,4	125	100	7,8	19,5
10	АИР90L4	0,0056	0,73	0,4	160	125	9,8	19,5
11	АИР100S4	0,0087	0,93	0,5	160	160	15,0	25,5
12	АИР90L4	0,0056	1,05	0,5	160	180	13,2	19,5
13	АИР80В4	0,0033	1,22	0,5	125	160	10,3	19,5
14	АИР80А4	0,0032	1,33	0,5	112	160	9,1	19,5
15	АИР71В4	0,0014	1,42	0,6	100	140	7,0	15
16	АИР80А4	0,0032	1,83	0,6	112	224	12,4	19,5
17	АИР80В4	0,0033	1,63	0,6	125	200	13,6	19,5
18	АИР100S4	0,0087	1,35	0,6	160	224	20,7	25,5
19	АИР100S4	0,0087	1,23	0,6	160	200	23,5	25,5
20	АИР100L4	0,0110	1,14	0,8	200	224	25,6	25,5
21	АИР100S4	0,0087	1,65	0,8	160	315	26,8	25,5

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	АИР100L4	0,0110	1,48	0,8	200	315	31,9	25,5
23	АИР112M4	0,0170	1,37	0,8	160	224	42,0	46,75
24	АИР112M4	0,0170	1,25	0,8	160	224	43,9	46,75
25	АИР132S4	0,0280	1,51	0,8	180	315	62,7	46,75
26	АИР160S4	0,0780	1,27	0,8	180	250	100,9	89,25
27	АИР180S4	0,1500	1,10	0,8	200	224	151,0	110,5
28	АИР180M4	0,19	0,96	0,8	200	200	177,5	174
29	АИР180M4	0,19	1,1	0,8	200	224	164,1	174
30	АИР132S4	0,0280	1,68	0,8	180	315	65,0	46,75

На кинематической схеме, составленной на практическом занятии №2, изображены 4 элемента, обладающие моментом инерции:

- 1) электродвигатель;
- 2) ведущий шкив;
- 3) ведомый шкив;
- 4) колесо вентилятора.

Моментом инерции ремней и валов пренебрегаем.

В кинематической схеме можно выделить 3 жесткости:

- 1) жесткость короткого ведущего вала;
- 2) жесткость ременной передачи;
- 3) жесткость длинного ведомого вала.

Жесткость ременной передачи во много раз меньше жесткости валов.

В кинематической схеме просматриваются 2 вала:

- 1) вал электродвигателя с ведущим шкивом (вал 1);
- 2) вал с ведомым шкивом, двумя подшипниками и колесом вентилятора на втором конце (вал 2).

При составлении расчетной схемы моменты инерции условно изображаются окружностью диаметром 10 мм (○), а жесткости – в виде пружины (///). Чем меньше жесткость пружины, тем больше она содержит витков. Поэтому для жесткости ведущего вала достаточно изобразить один виток пружины, для ведомого – два витка, для ременной передачи – 8–10 витков.

Пример изображения жесткости первого вала и моментов инерции на нем приведен на рис. 3.1.

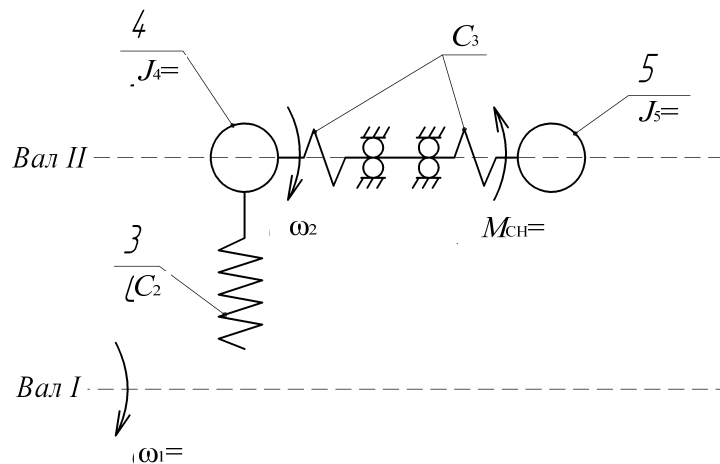


Рис. 3.1. Пример фрагмента исходной расчетной схемы механической части привода

Дополнить эту схему моментом инерции ведомого шкива J_2 , жесткостью вала C_1 , моментом инерции электродвигателя $J_{р.д.}$. В результате получится исходная расчетная схема механической части электропривода вентилятора. Следует придерживаться нумерации элементов, приведенных в кинематической схеме.

• **к пункту 2 плана занятия.** Моменты инерции вращающихся частей определить методом редукции по формуле

$$J = \lambda mR^2, \quad (3.1)$$

где λ – коэффициент; для сплошных ременных шкивов $\lambda = 0,7$; для колеса вентилятора $\lambda = 0,8$;

m – масса шкива (или колеса вентилятора), кг;

R – наружный радиус шкива (или колеса вентилятора), м.

По формуле (3.1) вычислить J_2, J_4, J_5 и записать их значения на рисунке, составленном подобно рис. 3.1.

• **к пункту 3 плана занятия.** При составлении приведенной двухмассовой схемы механической части электропривода жесткостью валов можно пренебречь, а момент инерции на валу 1 определить по формуле

$$J_1 = J_{р.д.} + J_2, \quad (3.2)$$

где J_2 – момент инерции ведущего шкива, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Момент инерции на валу 2 определяется по формуле

$$J_{4,5} = J_4 + J_5, \quad (3.3)$$

где J_4 и J_5 – моменты инерции ведомого шкива и колеса вентилятора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

При построении двухмассовой схемы учитываем жесткость только клиноременной передачи. Составляем двухмассовую схему механической части электропривода. Рисуем вал 1 в виде жирной линии и на ней изображаем окружность диаметром 10 мм. Указываем позиционное обозначение круга символом момента инерции J_1 и его величину. От окружности вертикально вверх изображаем жесткость ременной передачи в виде пружины. Рисуем вал 2 в виде жирной линии параллельно линии вала 1 и на ней изображаем окружность диаметром 10 мм. Указываем ее позиционное обозначение символом момента инерции $J_{4,5}$ и величину. Указываем значения скоростей и моментов на валах 1 и 2.

• **к пункту 4 плана занятия.** Приведенная одномассовая схема механической части электропривода составляется исходя из предположения, что жесткостями валов и ременной передачи можно пренебречь, а моменты инерции на втором валу следует привести (пересчитать) к первому валу по формуле

$$J'_{пр2} = \frac{J_{4,5}}{i^2}, \quad (3.4)$$

где i – передаточное отношение ременной передачи.

Общий приведенный момент инерции, действующий на валу 1:

$$J_{пр} = J_1 + J'_{пр2}. \quad (3.5)$$

Момент сопротивления приводится к валу электродвигателя по формуле

$$M'_{с.н} = \frac{M_{с.н.}}{i \eta_{пер}}, \quad (3.6)$$

где $\eta_{пер}$ – КПД ременной передачи, $\eta_{пер} = 0,95$.

Составляем (рисуем) одностепенную схему механической части электропривода. Рисуем вал 1 в виде жирной линии и на ней изображаем окружность диаметром 10 мм. Указываем ее позиционное обозначение символом момента инерции $J_{пр}$ и величину. Проставляем на ней приведенный момент сопротивления и угловую скорость вала.

Контрольные вопросы:

1. Что называется расчетной схемой механической части электропривода?
2. Какие параметры указываются на расчетной схеме механической части электропривода?
3. Опишите методику построения исходной расчетной схемы механической части электропривода.
4. Объясните построение одностепенной расчетной схемы механической части электропривода.

Практическое занятие № 4

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДПТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель занятия: научиться определять скорость идеального холостого хода и другие параметры электродвигателей постоянного тока и строить графики их естественных и искусственных характеристик.

Задачи:

1. На предприятии для регулируемого привода барабанного дозатора решено использовать электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения от списанного станка. Определить параметры механической характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения и построить ее график.
2. На предприятии для привода электрической тележки решено использовать электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения от подъемного механизма. Определить параметры естественной механической характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения и построить ее график.

Вопросы для самоподготовки:

1. В какой зависимости находятся ток и магнитный поток электродвигателей постоянного тока независимого и последовательного возбуждения?
2. В какой зависимости находятся момент и ток электродвигателей постоянного тока независимого и последовательного возбуждения?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 4.1 технические характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения по своему варианту.

2. Определить номинальный ток и номинальный КПД электродвигателя.

3. Вычислить сопротивление обмотки якоря и коэффициент ЭДС.

4. Определить параметры естественной механической характеристики электродвигателя и построить ее график.

5. Определить жесткость механической характеристики при моменте $0,2M_n$ и угловую скорость при этом моменте.

6. Выписать из табл. 4.2 технические характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

7. Определить параметры естественной механической характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения и построить ее график.

8. Найти угловую скорость вращения электродвигателя при $M_c = 0,2M_n$ и жесткость механической характеристики в ее крайних точках.

Методические указания:

• *к пункту 1 плана занятия.* Технические данные электродвигателей постоянного тока независимого возбуждения выписать из табл. 4.1.

Таблица 4.1

Технические данные электродвигателей постоянного тока независимого возбуждения

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	Напряжение U_n , В	Ток якоря I_n , А	КПД η_n , %	Номинальная частота вращения n_n , мин ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7
1	2ПН90МУХЛ4	0,17	110	–	47,5	750
2	2ПН90МУХЛ4	0,17	220	–	48,5	750
3	2ПН90МУХЛ4	0,25	110	–	56	1060
4	2ПН90МУХЛ4	0,25	220	–	57	1120
5	2ПН90МУХЛ4	0,37	110	–	61,5	1500
6	2ПН90МУХЛ4	0,37	220	–	61,5	1500

1	2	3	4	5	6	7
7	2ПН90МУХЛ4	0,71	110	–	69,5	2360
8	2ПН90МУХЛ4	0,71	220	–	70	2360
9	2ПН90МУХЛ4	1,0	110	–	71,5	3000
10	2ПН90МУХЛ4	1,0	220	–	72,5	3000
11	2ПН90ЛНХЛ4	0,2	110	–	54	750
12	2ПН90ЛНХЛ4	0,2	220	–	54,5	800
13	2ПН90ЛНХЛ4	0,34	110	–	60	1060
14	2ПН90ЛНХЛ4	0,34	220	–	60	1000
15	2ПН90ЛНХЛ4	0,55	110	–	67,5	1500
16	2ПН90ЛНХЛ4	0,55	220	–	67,5	1500
17	2ПН90ЛНХЛ4	0,9	110	–	73	2000
18	2ПН90ЛНХЛ4	0,9	110	–	73	2120
19	2ПН90ЛНХЛ4	1,3	110	–	76	3150
20	2ПН90ЛНХЛ4	1,3	220	–	78	3150
21	4ПО100S2	0,55	110	8,6	–	750
22	4ПО100S2	0,55	220	3,8	–	750
23	4ПО100S2	0,75	110	10,4	–	1000
24	4ПО100S2	0,75	220	4,8	–	1000
25	4ПО100S2	1,1	110	13,8	–	1500
26	4ПО100S2	1,1	220	6,1	–	1500
27	4ПО100S2	1,5	110	19,3	–	2200
28	4ПО100S2	1,5	220	9,5	–	2200
29	4ПО100S2	2,2	110	26,2	–	3000
30	4ПО100S2	2,2	220	13,4	–	3000

• *к пункту 2 плана занятия.* Номинальный ток электродвигателя (если он не задан в табл. 4.1):

$$I_n = \frac{P_n}{\eta_n U_n}, \quad (4.1)$$

где η_n – КПД, о.е.;

P_n – номинальная мощность, Вт.

Номинальный КПД электродвигателя (если он не задан в табл. 4.1):

$$\eta_n = \frac{P_n}{I_n U_n}. \quad (4.2)$$

• к пункту 3 плана занятия. Сопротивление обмотки якоря:

$$R_{\text{я}} = \frac{0,5U_{\text{н}}(1-\eta_{\text{н}})}{I_{\text{н}}} \quad (4.3)$$

Коэффициент ЭДС:

$$K_{\text{е}} = \frac{E_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}R_{\text{я}}}{\omega_{\text{н}}}, \quad (4.4)$$

где $\omega_{\text{н}} = 0,1045n_{\text{н}}$.

• к пункту 4 плана занятия. Скорость идеального холостого хода электродвигателя:

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{н}}}{K_{\text{е}}} \quad (4.5)$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} \quad (4.6)$$

Координаты точек естественной механической зависимости:

- 1) $M = 0$; $\omega = \omega_0$;
- 2) $M = M_{\text{н}}$; $\omega = \omega_{\text{н}}$.

По этим точкам построить график естественной механической характеристики электродвигателя $\omega = f(M)$ в виде прямой линии (рис. 4.1). С учетом масштаба построения размер рисунка не должен быть меньше 150×150 мм.

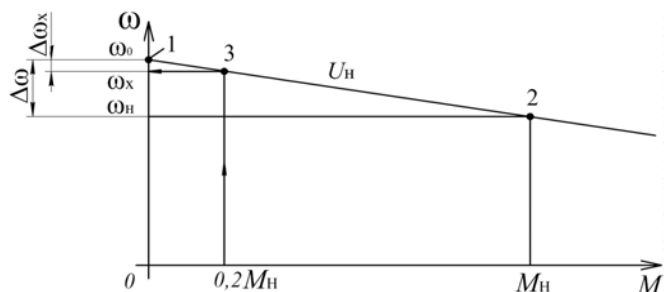


Рис. 4.1. Вид механических характеристик электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

• к пункту 5 плана занятия. Определить жесткость механической характеристики:

$$\beta = \frac{d\omega}{dM} \approx \frac{\Delta\omega}{\Delta M} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{н}}}{0 - M_{\text{н}}} = -\frac{\omega_0 - \omega_{\text{н}}}{M_{\text{н}}} \quad (4.7)$$

Определить скорость электродвигателя при $M_{\text{с}} = 0,2M_{\text{н}}$ можно из уравнения механической характеристики, записанного для номинального момента:

$$\omega_{\text{н}} = \omega_0 - k_{\text{м}}M_{\text{н}} \quad (4.8)$$

Из уравнения (4.8) имеем:

$$k_{\text{м}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{н}}}{M_{\text{н}}} \quad (4.9)$$

Тогда

$$\omega_{\text{х}} = \omega_0 - k_{\text{м}}M_{\text{х}} \quad (4.10)$$

В рабочем режиме $M_{\text{с}} = M_{\text{х}}$. По формуле (4.10) найти скорость $\omega_{\text{х}}$ электродвигателя при $M_{\text{х}} = 0,2M_{\text{н}}$:

$$\omega_{\text{х}} = \omega_0 - k_{\text{м}}0,2M_{\text{н}} \quad (4.11)$$

• к пункту 6 плана занятия. Технические данные электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения выписать из табл. 4.2.

Таблица 4.2

Технические данные электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{\text{н}}$, кВт	Номинальный ток $I_{\text{н}}$, А	Номинальная частота вращения $n_{\text{н}}$, мин ⁻¹	Сопротивление $R_{\text{носл}}$, Ом
1	ДП-12	3,0	19	960	0,59
2	ДП-21	4,5	28	900	0,275
3	ДП-22	6,0	36	850	0,30
4	ДП-31	8,5	50	770	0,118
5	ДП-32	12	68	675	0,097
6	ДП-41	17	94	630	0,053
7	ДП-42	23	125	600	0,039

Окончание табл. 4.2

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальный ток I_n , А	Номинальная частота вращения n_n , мин ⁻¹	Сопротивление $R_{\text{посл}}$, Ом
8	ДП-52	33	175	630	0,033
9	ДП-62	50	260	520	0,0205
10	ДП-72	75	385	470	0,0105
11	ДП-21	5,5	33	1200	0,275
12	ДП-22	8,0	46	1200	0,19
13	ДП-31	12	67	1100	0,118
14	ДП-32	17	92	1000	0,06
15	ДП-41	23	124	970	0,053
16	ДП-42	42	218	850	0,022
17	МП-12	2,5	15,6	1000	0,89
18	МП-22	4,5	28	880	0,26
19	МП-32	9,0	52	750	0,143
20	МП-41	12,5	72	630	0,088
21	МП-51	25	134	575	0,032
22	МП-52	35	185	575	0,028
23	МП-62	50	260	510	0,020
24	МП-72	80	405	460	0,0098
25	МП-12	2,5	15,6	1100	0,86
26	ДП-21	5,5	33	1250	0,270
27	ДП-31	8,5	50	790	0,112
28	ДП-22	6,0	36	820	0,32
29	ДП-21	4,5	28	860	0,295
30	ДП-12	3,0	19	950	0,61

Примечание. $U_n = 220$ В; $R_{\text{посл}}$ соответствует 20 °С.

• к пункту 7 плана занятия. Номинальный момент электродвигателя вычислить по формуле (4.6).

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_n = 0,1045n_n. \quad (4.12)$$

Для значений тока, указанных в табл. 4.3, найти значения скорости v в относительных единицах и момента μ в относительных единицах для соответствующего электродвигателя (рис. 4.2). Результаты записать в табл. 4.3.

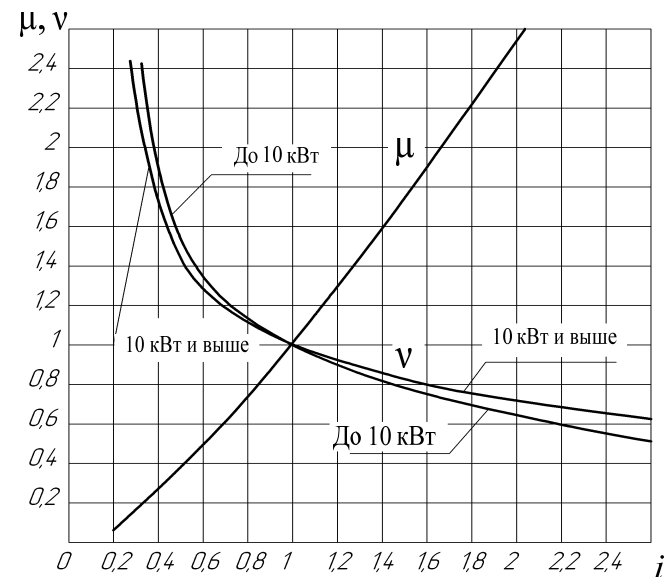


Рис. 4.2. Универсальные характеристики электродвигателей последовательного возбуждения типов МП и ДП

Таблица 4.3

Вспомогательные данные (в о.е.)

i	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4
v											
μ											

Следует обратить внимание на мощность электродвигателя (до 10 кВт или более) и воспользоваться соответствующей кривой на рис. 4.2.

Две последние строки в табл. 4.3 представляют собой естественную механическую характеристику электродвигателя в относительных единицах. Для перевода их в именованные единицы скорости и момента пользуются следующими формулами:

$$\omega = \omega_n v; \quad (4.13)$$

$$M = M_n \mu. \quad (4.14)$$

С помощью этих формул пересчитать механическую характеристику и записать значения угловой скорости и момента по форме табл. 4.4.

Таблица 4.4

Естественная механическая характеристика электродвигателя

ω , рад/с										
M , Н·м										

Построить график механической характеристики электродвигателя по данным табл. 4.4. Размер рисунка не должен быть меньше 150×150 мм (рис. 4.3).

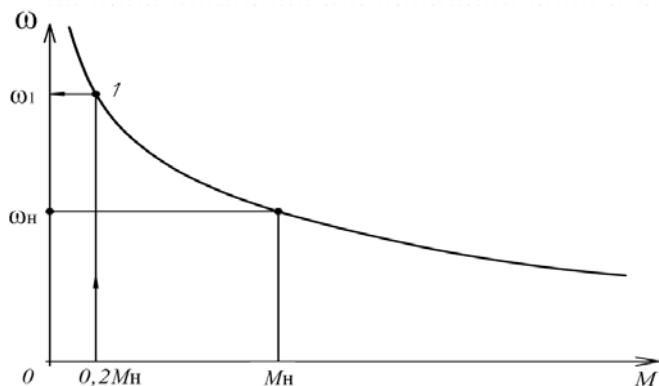


Рис. 4.3. Вид механической характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

• к пункту 8 плана занятия. Определить скорость при $M_c = 0,2M_n$ можно только графическим путем по механической характеристике электродвигателя последовательного возбуждения.

Пользуясь графиком, найти скорость электродвигателя при холостом ходе ($M_c = 0,2M_n$).

Пользуясь значениями табл. 4.4, найти жесткость в начале и в конце кривой механической характеристики электродвигателя. Разность первых двух значений столбцов табл. 4.4 дадут значения $\Delta\omega_1$ и ΔM_1 , а двух последних – значения $\Delta\omega_2$ и ΔM_2 .

Тогда в начале характеристики жесткость составит:

$$\beta_1 = -\frac{\Delta\omega_1}{\Delta M_1}, \quad (4.15)$$

а в конце характеристики:

$$\beta_2 = -\frac{\Delta\omega_2}{\Delta M_2}. \quad (4.16)$$

Контрольные вопросы:

1. Как построить график механической характеристики электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения?
2. Как построить график механической характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения?
3. Как определяется жесткость механической характеристики электродвигателя?
4. Как находится скорость идеального холостого хода электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения?
5. Как находится скорость холостого хода электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения?

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель занятия: освоить методику уточненного расчета механической характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя и упрощенного расчета его электромеханической характеристики и научиться строить графики механической и электромеханической характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя.

Задача. По данным, приведенным в табл. 5.1, построить графики механической и электромеханической характеристик электродвигателя.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что называется механической характеристикой электродвигателя?
2. Что называется электромеханической характеристикой электродвигателя?
3. Какие характерные точки различают на механической характеристике трехфазного асинхронного электродвигателя?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Рассчитать механическую характеристику асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении и построить ее график.
2. Рассчитать электромеханическую характеристику асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении и построить ее график.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Исходные данные к расчету механической характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя выписать из табл. 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность электродвигателя P_n , кВт	Номинальная угловая скорость электродвигателя ω_n , рад/с	Кратность момента, о.е.			Кратность пускового тока k_i	$\cos\phi_n$, о.е.	КПД номинальный η_n , о.е.
				пускового $\mu_{пуск}$	критического μ_{max}	минимального μ_{min}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5	0,76	0,73
2	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5	0,76	0,73
3	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5	0,76	0,73
4	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,81	0,75
5	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,83	0,78
6	АИР71А4	0,55	142,5	2,3	2,2	1,8	5	0,70	0,705
7	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5	0,76	0,73
8	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,81	0,75
9	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,83	0,78
10	АИР90L4	2,2	146,5	2,1	2,2	1,6	6,5	0,83	0,81
11	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	7	0,83	0,82
12	АИР90L4	2,2	146,5	2,1	2,2	1,6	6,5	0,83	0,81
13	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,83	0,78
14	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,81	0,75
15	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5	0,76	0,73
16	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,81	0,75
17	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	5,5	0,83	0,78
18	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	7	0,83	0,82
19	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	7	0,83	0,82
20	АИР100L4	4	148,1	2,0	2,2	1,6	7	0,84	0,85
21	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	7	0,83	0,82
22	АИР100L4	4	148,1	2,0	2,2	1,6	7	0,84	0,85
23	АИР112М4	5,5	150,4	2,0	2,5	1,6	7	0,86	0,855

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	АИР112М4	5,5	150,4	2,0	2,5	1,6	7	0,86	0,855
25	АИР132S4	7,5	151,2	2,0	2,5	1,6	7,5	0,86	0,875
26	АИР160S4	15	152,8	1,9	2,9	1,8	7	0,89	0,9
27	АИР180S4	22	153,6	1,7	2,4	1,5	7	0,87	0,905
28	АИР180М4	30	154,4	1,7	2,7	1,6	7	0,87	0,92
29	АИР180М4	30	154,4	1,7	2,7	1,6	7	0,87	0,92
30	АИР132S4	7,5	151,2	2,0	2,5	1,6	7,5	0,86	0,875

Механическую характеристику асинхронного электродвигателя рассчитывают по уточненной формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_{\max}(1+E)}{\frac{S}{S_{\max}} + \frac{S_{\max}}{S} + 2E}, \quad (5.1)$$

где M, M_{\max} – рассчитываемый и максимальный моменты, Н·м;

E – коэффициент, $E = f(S)$;

S, S_{\max} – задаваемое значение скольжения и максимальное (критическое) скольжение, о.е.

Критическое скольжение:

$$S_{\max} = S_{\text{н}} \left\{ \frac{\mu_{\max} + \sqrt{\mu_{\max}^2 + 2S_{\text{н}}(\mu_{\max} - 1) - 1}}{1 - 2S_{\text{н}}(\mu_{\max} - 1)} \right\}, \quad (5.2)$$

где μ_{\max} – кратность максимального момента электродвигателя;

$S_{\text{н}}$ – номинальное скольжение, о.е.

Номинальное скольжение:

$$S_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{н}}}{\omega_0}, \quad (5.3)$$

где ω_0 – синхронная угловая скорость, рад/с; $\omega_0 = 157$ рад/с;

$\omega_{\text{н}}$ – номинальная угловая скорость, рад/с.

Максимальный (критический) момент:

$$M_{\max} = M_{\text{н}} \mu_{\max}, \quad (5.4)$$

где $M_{\text{н}}$ – номинальный момент, Н·м;

μ_{\max} – кратность максимального момента, о.е.

Номинальный момент:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}. \quad (5.5)$$

Коэффициент E находится в сложной зависимости от скольжения S . Изобразить изменение коэффициента $E = f(S)$ в виде ломаной линии, как показано на рис. 5.1, вычислив его значения по формуле (5.6) в четырех характерных точках:

- 1) при $S = S_{\text{н}}$ $\mu = \mu_{\text{н}} = 1$, а коэффициент $E = E_{\text{н}}$;
- 2) при $S = S_{\max}$ $\mu = \mu_{\max}$, а коэффициент $E = 0$;
- 3) при $S = S_{\min} = 0,85$ $\mu = \mu_{\min}$, а коэффициент $E = E_{\min}$;
- 4) при $S = 1$ $\mu = \mu_{\text{пуск}}$, а коэффициент $E = E_{\text{пуск}}$.

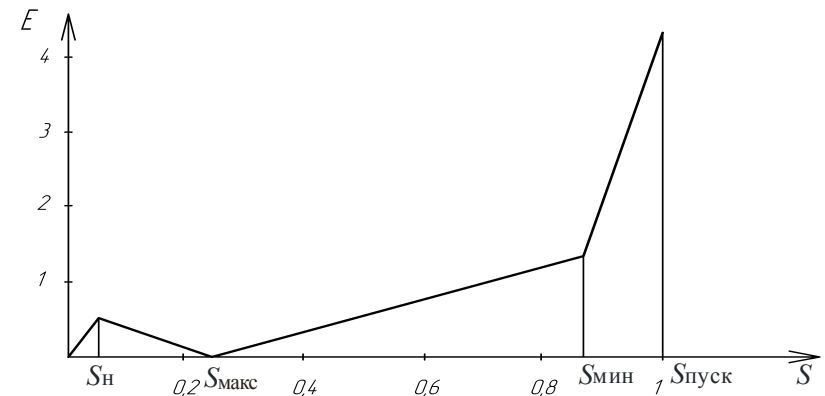


Рис. 5.1. Примерный вид зависимости $E = f(S)$ для асинхронных электродвигателей (возможны отрицательные значения E)

Значения E в этих точках вычислить по выражению (5.6), подставив в его значения S и μ в характерных точках 1, 3, 4:

$$E = \frac{\frac{S}{S_{\max}} + \frac{S_{\max}}{S} - \frac{2\mu_{\max}}{\mu}}{\frac{2\mu_{\max}}{\mu} - 2}. \quad (5.6)$$

Например, в первой точке формула (5.6) имеет следующий вид:

$$E_H = \frac{\frac{S_H + S_{\max} - 2\mu_{\max}}{S_{\max} S_H \mu_H}}{\frac{2\mu_{\max} - 2}{\mu_H}}$$

Если электродвигатель имеет $\mu_{\max} = \mu_{\text{пуск}}$, то по формуле (5.6) в точке 4 имеем деление на ноль. Чтобы этого избежать, не вычисляем $E_{\text{пуск}}$ по формуле (5.6) для точки 4, а в табл. 5.1 при $S = 1$ ставим знак «—». Значение момента для этой точки (третья строка табл. 5.2) вычислить по формуле

$$M_{\text{пуск}} = M_H \mu_{\text{пуск}} \quad (5.7)$$

Таблица 5.2

Результаты расчета механической характеристики асинхронного электродвигателя

Расчетные величины	Значения расчетной величины при скольжении S , равном						
	S_H	$3S_H$	S_{\max}	0,4	0,65	0,85	1
E по графику $E = f(S)$			0				
$(1 + E)$			1				
$2E$			0				
S/S_{\max}							
S_{\max}/S							
$S/S_{\max} + S_{\max}/S + 2E$							
$2M_{\max}(1 + E)$							
$M = \frac{2M_{\max}(1 + E)}{\frac{S}{S_{\max}} + \frac{S_{\max}}{S} + 2E}$							
$\omega = \omega_0(1 - S)$							

Построить ломаную линию $E = f(S)$, как указано на рис. 5.1.

Далее, задав значение скольжения S , найти E по кривой $E = f(S)$ и вычислить значения, приведенные в табл. 5.2.

По данным табл. 5.2 построить график механической характеристики электродвигателя $\omega = f(M)$.

• к пункту 2 плана занятия. Электромеханическая характеристика $\omega = f(I)$ асинхронного электродвигателя строится по четырем точкам:

- 1) ω_H при I_H ;
- 2) ω_0 при I_0 ;
- 3) ω_K при I_K ;
- 4) $\omega = 0$ при $I_{\text{пуск}}$.

Ток холостого хода (в о. е.) определяется по выражению

$$i_0 = \sin \varphi_H - \frac{\cos \varphi_H}{\mu_{\max} + \sqrt{\mu_{\max}^2 - 1}} \quad (5.8)$$

Ток при максимальном (критическом) скольжении (в о.е.) определяется по выражению

$$i_K = \sqrt{i_0^2 + (1 - i_0^2) \frac{\mu_{\max} S_{\max}}{S_H}} \quad (5.9)$$

Номинальный ток I_H определяется по формуле

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi_H \eta_H} \quad (5.10)$$

Номинальный ток в относительных единицах равен 1. Кратность пускового тока i_n в относительных единицах указывается в каталогах и справочниках (см. табл. 5.1).

Пересчет тока в именованные единицы производится по следующим формулам:

$$I_0 = i_0 I_H; \quad (5.11)$$

$$I_K = i_K I_H; \quad (5.12)$$

$$I_{\text{пуск}} = k_i I_H. \quad (5.13)$$

Пересчет скольжений в угловую скорость производится по формуле, приведенной в последней строке табл. 5.2.

При токе I_0 скольжение равно 0, при токе I_H — S_H , при токе I_K — S_{\max} , при токе $I_{\text{пуск}}$ — 1.

Графики механической и электромеханической характеристик асинхронного трехфазного электродвигателя приведены на рис. 5.2.

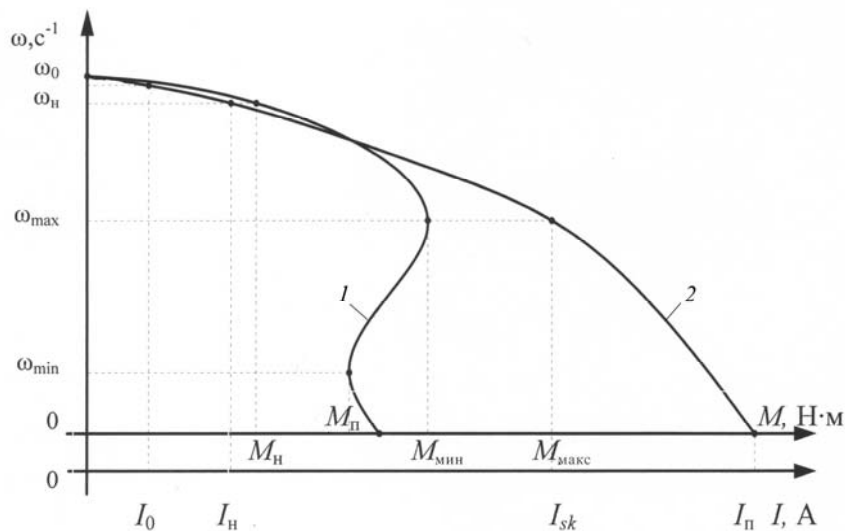


Рис. 5.2. Механическая (1) и электромеханическая (2) характеристики асинхронного трехфазного электродвигателя

Контрольные вопросы:

1. Постройте график механической характеристики асинхронного электродвигателя и укажите на ней 5 характерных точек.
2. Как зависит момент асинхронного электродвигателя от напряжения?
3. Постройте график электромеханической характеристики асинхронного электродвигателя и укажите на ней 4 характерные точки.

РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ РЕЗИСТОРОВ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Цель занятия: научиться определять число ступеней и величину сопротивлений пусковых резисторов для асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

Задача. На предприятии для привода пилорамы используется асинхронный электродвигатель с фазным ротором. Рассчитать сопротивления пусковых резисторов.

Вопросы для самоподготовки:

1. Каким уравнением описывается механическая характеристика асинхронного электродвигателя с фазным ротором?
2. Перечислите преимущества и недостатки асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Технические данные асинхронного электродвигателя с фазным ротором по своему варианту выписать из табл. 6.1.
2. Рассчитать номинальное сопротивление ротора и приведенное к статору сопротивление ротора.
3. Выбрать пределы переключения моментов электродвигателя при пуске и число ступеней пусковых резисторов.
4. Определить сопротивления ступеней пусковых резисторов и электрические сопротивления, включенные в цепи ротора на каждой ступени.

5. Построить приближенные пусковые характеристики электродвигателя (в о.е.).

6. Нарисовать схему включения пусковых резисторов и обозначить величины сопротивлений отдельных ступеней.

Методические указания:

• **к пункту 1 плана занятия.** Выписать из табл. 6.1 технические данные асинхронного электродвигателя с фазным ротором.

Таблица 6.1

Технические данные асинхронного электродвигателя с фазным ротором и момента сопротивления рабочей машины

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, кВт	Номинальный ток ротора $I_{2\text{ном}}$, А	Напряжение на кольцах разомкнутого ротора U_2 , В	Кратность критического момента M_c , о.е.	Скольжение, %		Кратность момента сопротивления M_c (в долях от M_H)
						номинальное S_H	критическое S_k	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4AK160S4Y3	11,0	22	305	3,0	4,4	33,0	0,50
2	4AK160M4Y3	14,0	29	300	3,5	3,7	32,1	0,55
3	4AK180M4Y3	18,5	38	295	4,0	2,9	31,1	0,60
4	4AK200M4Y3	22,0	45	340	4,0	2,5	22,0	0,65
5	4AK200L4Y3	30,0	55	350	4,0	2,5	22,0	0,70
6	4AK225M4Y3	37,0	160	160	3,0	3,5	20,0	0,75
7	4AK250SA4Y3	45,0	170	230	3,0	3,0	20,5	0,80
8	4AK250SB4Y3	55,0	170	200	3,0	2,3	19,6	0,85
9	4AK250M4Y3	71,0	170	250	3,0	2,5	19,5	0,90
10	4AK160S6Y3	7,5	18	300	3,5	5,1	30,5	0,50
11	4AK160M6Y3	10,0	20	310	3,8	4,3	27,1	0,55
12	4AK180M6Y3	13,0	25	325	4,0	4,4	29,1	0,60
13	4AK200M6Y3	18,5	35	360	3,5	3,5	27,5	0,65
14	4AK200L6Y3	22,0	45	330	3,5	3,5	21,0	0,70
15	4AK225M6Y3	30,0	150	140	2,5	3,5	19,5	0,75
16	4AK250S6Y3	37,0	165	150	2,5	3,5	18,0	0,80
17	4AK250M6Y3	45,0	160	180	2,5	2,5	17,0	0,85
18	4AK160S8Y3	5,5	14	300	2,5	6,4	29,0	0,90
19	4AK160M8Y3	7,1	16	290	3,0	5,5	23,2	0,50

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	4AK180M8Y3	11,0	25	270	3,5	4,4	22,7	0,55
21	4AK200M8Y3	15,0	28	360	3,0	3,5	23,0	0,60
22	4AK200L8Y3	18,5	40	300	3,0	3,5	21,5	0,65
23	4AK225M8Y3	22,0	140	102	2,2	4,5	19,5	0,70
24	4AK250S8Y3	30,0	155	125	2,2	4,0	20,0	0,75
25	4AK250M8Y3	37,0	155	148	2,2	3,5	18,5	0,80
26	4АНК160S4Y3	14,0	27	330	3,0	5,3	33,0	0,85
27	4АНК160M4Y3	17,0	34	315	3,5	4,1	32,3	0,90
28	4АНК180S4Y3	22,0	43	300	3,2	5,2	33,0	0,50
29	4АНК180M4Y3	30,0	63	290	3,2	4,1	30,4	0,55
30	4АНК180M4Y3	37,0	62	380	3,0	3,0	23,0	0,60

• **к пункту 2 плана занятия.** В цепь ротора, кроме сопротивления самой обмотки ротора, входят сопротивления переходных контактов между кольцами и щетками, сопротивления щеток, замыкающих ротор проводов, и т. д. Поэтому для практических расчетов следует брать такие исходные данные, которые дают достаточно точные результаты.

Расчет характеристик удобнее вести в относительных единицах. В этом случае можно предположить, что относительное (долевое) сопротивление ротора r_p равно номинальному скольжению S_H электродвигателя:

$$r_p = S_H. \quad (6.1)$$

Номинальное сопротивление ротора, Ом:

$$R_H = \frac{U_2}{\sqrt{3}I_{2\text{ном}}}. \quad (6.2)$$

Расчетное сопротивление ротора, Ом:

$$r_p = S_H R_H. \quad (6.3)$$

Приведенное к статору сопротивление ротора, Ом:

$$r'_2 = r_p \left(\frac{U_{1H}}{c_1 U_2} \right)^2, \quad (6.4)$$

где U_{1H} – номинальное напряжение статора, В; $U_{1H} = 380$ В;
 c_1 – коэффициент; $c_1 = 1,05$.

• **к пункту 3 плана занятия.** Принять, что номинальный момент при переключениях ступеней при пуске составляет $\mu_2 = 1,2\mu_c$, где μ_c – кратность момента сопротивления (см. табл. 6.1).

Максимальные пики моментов при переключениях выбрать не более $0,85\mu_k$, т. е. $\mu_1 < 0,85\mu_k$, но не более $\mu_1 = 2,5$, если $\mu_k > 3$.

Число ступеней пусковых резисторов:

$$m = \frac{\lg \frac{1}{S_n \mu_1}}{\lg \frac{\mu_1}{\mu_2}}. \quad (6.5)$$

Число ступеней принять целым числом (ближайшим целым). После этого уточнить отношение пиков моментов к моментам переключения:

$$\lambda = m \sqrt{\frac{1}{S_n \mu_1}}. \quad (6.6)$$

Проверить момент минимального переключения:

$$\mu_2 = \frac{\mu_1}{\lambda} > \mu_c. \quad (6.7)$$

Если выражение (6.7) не выполняется, то необходимо выбрать большее число ступеней и повторить расчет.

• **к пункту 4 плана занятия.** Определить сопротивления ступеней (см. рис. 6.1, б) в случае включения их в одинарную звезду:

$$r_3 = r_p(\lambda - 1); \quad r_2 = r_3\lambda; \quad r_1 = r_2\lambda. \quad (6.8)$$

Полные активные сопротивления линий ротора вычисляются по следующим формулам:

$$R_3 = r_p\lambda; \quad R_2 = R_3\lambda; \quad R_1 = R_2\lambda. \quad (6.9)$$

• **к пункту 5 плана занятия.** Построить приближенные пусковые характеристики асинхронного электродвигателя (в относительных единицах), размер рисунка – 100×200 мм.

На вертикальной оси отложить скольжение ротора (рис. 6.1, а), а на горизонтальной – моменты $\mu_c, \mu_1, \mu_n = 1, \mu_k, \mu_2$.

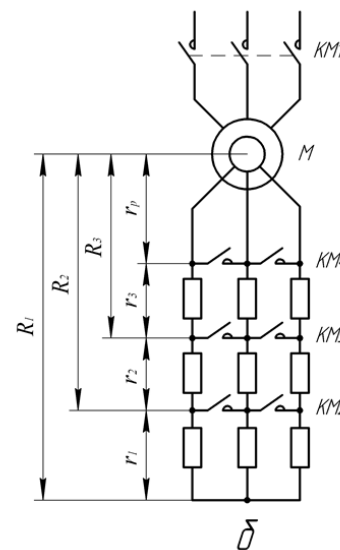
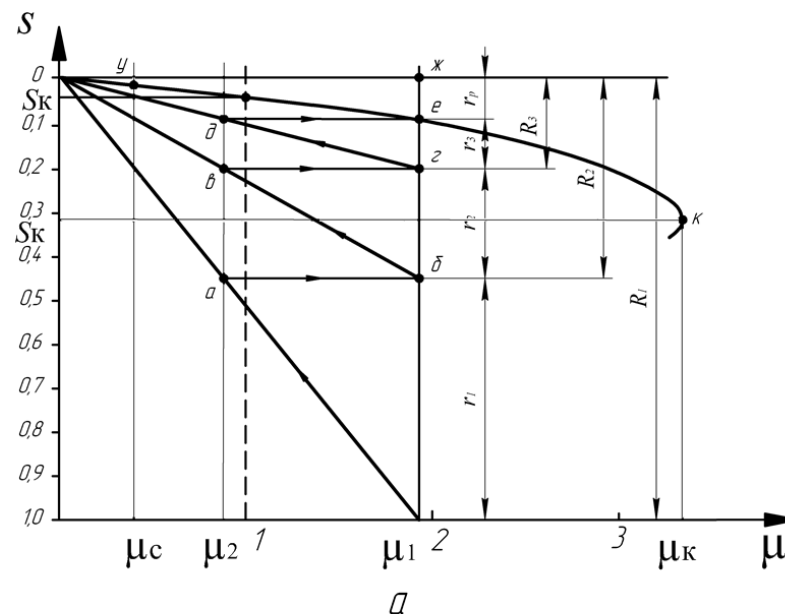


Рис. 6.1. Приближенные пусковые характеристики асинхронного электродвигателя с фазным ротором (а) и пусковые сопротивления цепи ротора (б)

Линия $оуе$ – естественная механическая характеристика электродвигателя, спрямленная в рабочей части (рис. 6.1, a). Найти на плоскости $s-\mu$ критическую точку $к$ (по значениям S_k и μ_k). Провести плавную линию $оуек$.

Провести линию $о-\mu_1$ и в точке пересечения этой линии с линией μ_2 получить точку a . Из этой точки провести горизонтальную линию $a-\bar{b}$ до пересечения с линией μ_1 в точке \bar{b} .

Из точки \bar{b} провести линию $\bar{b}-o$ до пересечения с линией момента μ_2 в точке e и т. д. В конце построения точка e должна попасть на линию момента μ_1 и одновременно быть на естественной механической характеристике электродвигателя.

Контрольные вопросы:

1. Как строятся графики пусковых механических характеристик асинхронного электродвигателя с фазным ротором?
2. Какие упрощения лежат в основе приближенного расчета сопротивления пусковых ступеней?
3. Как определяется номинальное сопротивление обмотки ротора?

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ

Цель занятия: научиться рассчитывать механическую характеристику асинхронного электродвигателя при динамическом торможении.

Задача. На предприятии в рамках задачи повышения производительности оборудования решено применить динамическое торможение для быстрой остановки асинхронного электропривода. Определить требуемый ток возбуждения асинхронного электродвигателя для динамического торможения и рассчитать механическую характеристику при торможении.

Вопросы для самоподготовки:

1. В каких тормозных режимах может работать асинхронный электродвигатель?
2. Объясните преимущества и недостатки динамического торможения асинхронных электродвигателей.

Литература.

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Голован, А. Т. Основы электропривода : учебник / А. Т. Голован. – Москва–Ленинград : Государственное энергетическое издательство, 1959. – 344 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 7.1 технические данные асинхронного электродвигателя по своему варианту.

2. Нарисовать схему подключения постоянного тока к обмотке статора электродвигателя и диаграмму магнитодвижущих сил (МДС) (см. рис. 7.1).

3. Определить ток холостого хода электродвигателя в именованных и относительных единицах, зная параметры Г-образной схемы замещения электродвигателя (см. табл. 7.1).

4. Определить величину эквивалентного тока и постоянного тока от выпрямителя при динамическом торможении, приняв $i_{\text{экв}}$ по данным табл. 7.1.

5. Определить значения максимального момента и максимального скольжения при динамическом торможении.

6. Определить значения моментов динамического торможения для различных значений скольжения и построить график механической характеристики при динамическом торможении.

Методические указания:

• **к пункту 1 плана занятия.** Выписать из табл. 7.1 технические данные асинхронного электродвигателя по своему варианту. В табл. 7.1 указаны следующие параметры: P_n – номинальная мощность, кВт; I_n – номинальный ток, А; S_n – номинальное скольжение, о.е.; ω_0 – угловая синхронная скорость электромагнитного поля, рад/с; x_{μ} – индуктивное сопротивление намагничивания, Ом; μ_k – кратность максимального момента, о.е.; S_k – критическое скольжение, о.е.; r'_2 – приведенное активное сопротивление ротора, Ом; $i_{\text{экв}}$ – кратность эквивалентного тока, о.е.; $\mu_{\text{пуск}}$ – кратность пускового момента, о.е.; $\mu_{\text{мин}}$ – кратность минимального момента, о.е.

Таблица 7.1

Технические данные и параметры Г-образной схемы замещения асинхронных короткозамкнутых электродвигателей серии 4А

Вариант	Типоразмер электродвигателя	P_n , кВт	I_n , А	S_n , о.е.	ω_0 , рад/с	x_{μ} , Ом	μ_k , о.е.	S_k , о.е.	r'_2 , Ом	$i_{\text{экв}}$, о.е.	$\mu_{\text{пуск}}$, о.е.	$\mu_{\text{мин}}$, о.е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4А71В2У3	1,1	2,5	0,063	314	249	2,2	0,390	6,41	2,0	2,0	1,5
2	4А80А2У3	1,5	3,3	0,042	314	167	2,6	0,355	3,27	2,5	2,1	1,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	4А80В2У3	2,2	4,6	0,043	314	129	2,6	0,380	2,34	3,0	2,1	1,4
4	4А90Л2У3	3,0	6,1	0,043	314	122	2,5	0,325	2,05	3,5	2,1	1,6
5	4А100S2У3	4,0	7,9	0,033	314	95	2,5	0,280	1,01	4,0	2,0	1,6
6	4А100Л2У3	5,5	10,5	0,034	314	79,9	2,5	0,170	0,757	4,5	2,0	1,6
7	4А112М2У3	7,5	14,8	0,025	314	55,2	2,8	0,190	0,417	2,0	2,0	1,8
8	4А132М2У3	11,0	21,0	0,023	314	43,9	2,8	0,120	0,241	2,5	1,7	1,5
9	4А160S2У3	15,0	28,4	0,021	314	31,0	2,2	0,125	0,171	3,0	1,4	1,0
10	4А160М2У3	18,5	34,4	0,021	314	28,8	2,2	0,125	0,141	3,5	1,4	1,0
11	4А80А4У3	1,1	2,74	0,054	157	136	2,2	0,340	5,45	4,0	2,0	1,6
12	4А80В4У3	1,5	3,56	0,058	157	118	2,2	0,345	4,26	4,5	2,0	1,6
13	4А90Л4У3	2,2	5,0	0,051	157	92	2,4	0,330	2,63	2,0	2,1	1,6
14	4А100S4У3	3,0	6,68	0,044	157	72,5	2,4	0,310	1,75	2,5	2,0	1,6
15	4А100Л4У3	4,0	8,60	0,046	157	61,5	2,4	0,315	1,36	3,0	2,0	1,6
16	4А112М4У3	5,5	11,5	0,036	157	53,7	2,0	0,25	0,787	3,5	2,0	1,6
17	4А132S4У3	7,5	15,1	0,029	157	43,7	3,0	0,195	0,481	4,0	2,2	1,7
18	4А132М4У3	11,0	21,9	0,028	157	32,1	3,0	0,195	0,321	4,5	2,2	1,7
19	4А160S4У3	15,0	29,2	0,023	157	30,2	2,3	0,16	0,188	2,0	1,4	1,0
20	4А160М4У3	18,5	35,6	0,022	157	26,6	2,3	0,16	0,148	2,5	1,4	1,0
21	4А80В6У3	1,1	3,0	0,080	104,7	116	2,2	0,38	7,95	3,0	2,0	1,6
22	4А90Л6У3	1,5	4,0	0,064	104,7	96,7	2,2	0,31	4,73	3,5	2,0	1,7
23	4А100Л6У3	2,2	5,6	0,051	104,7	74,1	2,2	0,25	2,61	4,0	2,0	1,6
24	4А112МА6У3	3,0	7,4	0,047	104,7	56,6	2,5	0,37	1,88	4,5	2,0	1,8
25	4А112МВ6У3	4,0	9,1	0,051	104,7	48,2	2,5	0,38	1,49	2,0	2,0	1,8
26	4А132S6У3	5,5	12,3	0,033	104,7	34,1	2,5	0,36	0,736	2,5	2,0	1,8
27	4А132М6У3	7,5	16,4	0,032	104,7	28,2	2,5	0,26	0,536	3,0	2,0	1,8
28	4А160S6У3	11,0	22,5	0,027	104,7	29,3	2,0	0,15	0,293	3,5	1,2	1,0
29	4А160М6У3	15,0	29,9	0,026	104,7	22,1	2,0	0,14	0,206	4,0	1,2	1,0
30	4А180М6У3	18,5	36,6	0,024	104,7	17,4	2,0	0,135	0,156	4,5	1,2	1,0

Примечание. $U_{1\phi} = 220$ В.

• **к пункту 2 плана занятия.** Нарисовать схему подключения постоянного тока к обмотке статора электродвигателя и диаграмму МДС (рис. 7.1).

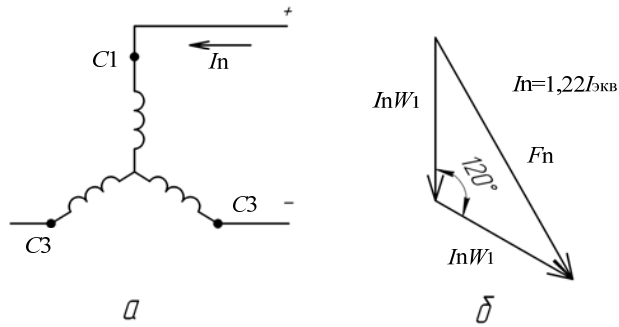


Рис. 7.1. Схема подключения постоянного тока к обмотке статора электродвигателя (а) и диаграмма МДС (б)

• к пункту 3 плана занятия. Ток холостого хода электродвигателя, А:

$$I_0 \approx \frac{U_{1\Phi}}{x_{\mu}}, \quad (7.1)$$

где x_{μ} – из табл. 7.1.

Ток холостого хода электродвигателя, о.е.:

$$i_0 = \frac{I_0}{I_H}. \quad (7.2)$$

• к пункту 4 задания. Определить эквивалентный ток, А:

$$I_{\text{эКВ}} = i_{\text{эКВ}} I_0. \quad (7.3)$$

Постоянный ток, протекающий по обмоткам электродвигателя при динамическом торможении:

$$I_{\text{пост}} = 1,22 I_{\text{эКВ}}. \quad (7.4)$$

• к пункту 5 задания. Пользуясь рис. 7.2, определить параметры A_M и D_M . Для этого отложить значение эквивалентного тока (в относительных единицах) по вертикальной оси и провести горизонтальную линию до пересечения с линией эквивалентного тока в точке а. С точки а опустить перпендикуляр на ось D_M . Записать значение D_M . Перпендикуляр из точки а пересекает линию A_M в точке б. Из точки б провести горизонтальную линию на ось A_M . Записать значение A_M .

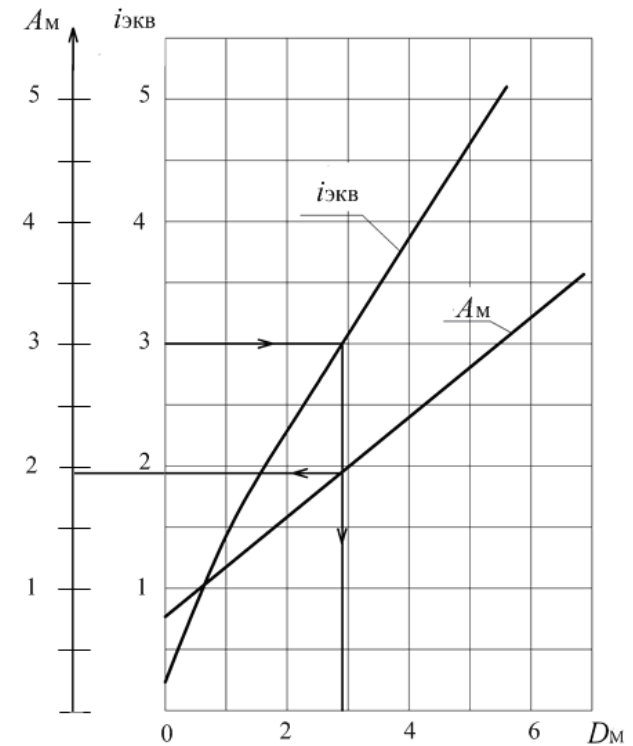


Рис. 7.2. Кривые для расчета максимального момента и соответствующего скольжения при динамическом торможении асинхронного электродвигателя

После этого найти значения максимального момента M_M и максимального скольжения S_M по следующим формулам:

$$M_M = \frac{3I_0 U_{1\Phi}}{\omega_0} D_M; \quad (7.5)$$

$$S_M = \frac{I_0 r_2'}{U_{1\Phi}} A_M. \quad (7.6)$$

• к пункту 6 плана занятия. Задав значения скольжения S_T от 0 до 1, определить момент при динамическом торможении по формуле

$$M_T = \frac{2M_M}{S_T/S_M + S_M/S_T}. \quad (7.7)$$

Значения скольжения в режиме торможения рекомендуется задавать согласно табл. 7.2.

Таблица 7.2

Результаты расчетов механической характеристики асинхронного электродвигателя при динамическом торможении

Расчетная формула	Параметры при скольжении S_T						
	$0,5S_M =$	$S_M =$	$2S_M =$	$4S_M =$	$8S_M =$	$16S_M =$	1
S_T/S_M	0,5	1	2	4	8	16	
S_M/S_T	2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	
$S_T/S_M + S_M/S_T$	2,5	2	2,5	4,25	8,125	16,0625	
$M_T = \frac{2M_M}{S_T/S_M + S_M/S_T}$							

По результатам табл. 7.2 построить зависимость $S_T = f(M_T)$, как показано на рис. 7.3. На этом же рисунке изобразить механическую характеристику электрической машины в двигательном режиме.

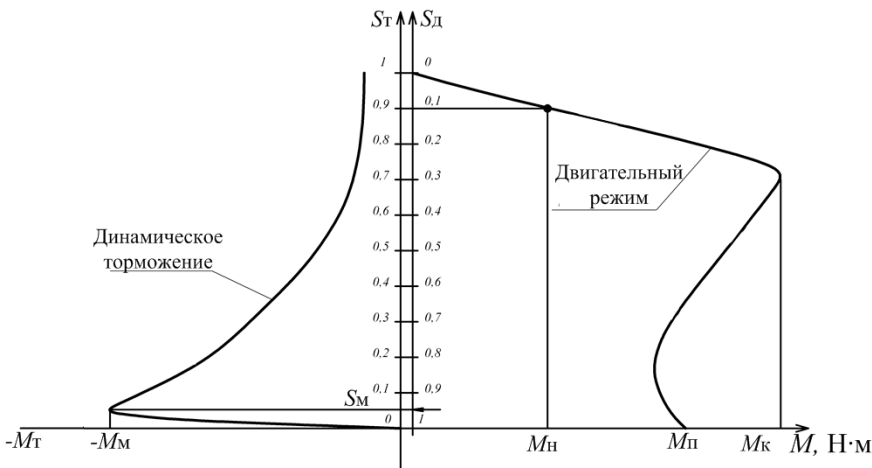


Рис. 7.3. Вид механических характеристик электрической машины в двигательном и тормозном режимах (динамического торможения)

Построение графика механической характеристики электрической машины в двигательном режиме выполнить по 5 точкам:

- 1) $M_d = 0$ при $S_d = 0$;
- 2) $M_d = M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{P_H}{\omega_0(1-S_H)}$ при $S_d = S_H$;
- 3) $M_d = M_K = \mu_K M_H$ при $S_d = S_H$ (см. табл. 7.1);
- 4) $M_d = M_{\min} = \mu_{\min} M_H$ при $S_d = S_{\min} = 0,85$;
- 5) $M_d = M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} M_H$ при $S_d = 1$.

Контрольные вопросы:

1. Нарисуйте несколько вариантов включения обмоток электродвигателя в цепь постоянного тока при динамическом торможении.
2. Постройте графики механических характеристик электродвигателя в режиме динамического торможения при разных токах возбуждения.
3. Как соотносятся между собой критическое скольжение электродвигательного режима и максимальное скольжение при динамическом торможении?

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЧАСТОТОЙ ТОКА И ПОСТРОЕНИЕ ИХ ГРАФИКОВ

Цель занятия: научиться рассчитывать механические характеристики асинхронного электродвигателя при регулировании скорости вращения частотой тока и строить их графики.

Задача. На предприятии приобрели преобразователь частоты для электропривода дозатора кормораздатчика. Рассчитать механические характеристики при частотном регулировании скорости и управлении напряжением по закону и построить их графики.

Вопросы для самоподготовки:

1. Почему при изменении частоты тока требуется изменять напряжение питания асинхронного электродвигателя?
2. Какие преобразователи частоты (по виду преобразования энергии) встречаются в электроприводе?

Литература. Фираго, Б. И. Теория электропривода : учебное пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлечик. – 2-е изд. – Мн. : Техноперспектива, 2007. – 585 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 8.1 технические данные асинхронного электродвигателя по своему варианту.
2. Определить для заданного электродвигателя номинальный момент $M_{ном}$, критический момент M_k , номинальную угловую скорость $\omega_{ном}$, критическое скольжение S_k , критическую угловую скорость ω_k .
3. Рассчитать естественную механическую характеристику асинхронного электродвигателя.

4. Рассчитать искусственную механическую характеристику асинхронного электродвигателя при частоте тока $f=40$ Гц и $f=30$ Гц и законе изменения напряжения $U/f = const$.

5. Построить на одном графике естественную механическую характеристику и искусственные механические характеристики.

Методические указания:

- к пункту 1 плана занятия. Выписать из табл. 8.1 технические данные асинхронного электродвигателя.

Таблица 8.1

Технические данные асинхронных электродвигателей

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{ном}$ кВт	Номинальное скольжение $S_{ном}$, %	Кратность критического момента μ_k , о.е.
1	АИР132М2	11	3,0	2,2
2	АИР160S2	15	3,0	2,7
3	АИР160М2	18,5	3,0	2,7
4	АИР180S2	22	2,7	2,7
5	АИР180М2	30	2,5	3,0
6	АИР200М2	37	2,0	2,8
7	АИР200S2	45	2,0	2,8
8	АИР225М2	55	2,0	2,6
9	АИР250S2	75	2,0	3,0
10	АИР250М2	90	2,0	3,0
11	АИР132S4	7,5	4,0	2,5
12	АИР132М4	11	3,5	2,7
13	АИР160S4	15	3,0	2,9
14	АИР160М4	18,5	3,0	2,9
15	АИР180S4	22	2,5	2,4
16	АИР180М4	30	2,0	2,7
17	АИР200М4	37	2,0	2,7
18	АИР200L4	45	2,0	2,7
19	АИР225М4	55	2,0	2,6
20	АИР250L4	75	1,5	2,5
21	АИР132S6	5,5	4,0	2,2
22	АИР132М6	7,5	4,0	2,2

Окончание табл. 8.1

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, кВт	Номинальное скольжение $S_{\text{ном}}$, %	Кратность критического момента μ_k , о.е.
23	АИР160S6	11	3,0	2,7
24	АИР160М6	15	3,0	2,7
25	АИР180М6	18,5	2,0	2,4
26	АИР200М6	22	2,0	2,4
27	АИР200L6	30	2,5	2,4
28	АИР225М6	37	2,0	2,3
29	АИР250S6	45	2,0	2,3
30	АИР250М6	55	2,0	2,3

• к пункту 2 плана занятия. Моменты электродвигателя на естественной механической характеристике определить по следующим формулам:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (8.1)$$

$$M_{\text{к. ном}} = \mu_k M_{\text{ном}}, \quad (8.2)$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность, Вт.

Номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с:

$$\omega_{\text{ном}} = \omega_{0\text{ном}}(1 - S_{\text{ном}}). \quad (8.3)$$

Двухполюсные электродвигатели имеют $\omega_{0\text{ном}} = 314$ рад/с, четырехполюсные – $\omega_{0\text{ном}} = 157$ рад/с, шестиполюсные – $\omega_{0\text{ном}} = 104,5$ рад/с.

Критическое скольжение и критическая угловая скорость на естественной механической характеристике:

$$S_{\text{к. ном}} = S_{\text{н}}(\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}), \quad (8.4)$$

$$\omega_{\text{к}} = \omega_{0\text{ном}}(1 - S_{\text{к}}), \quad (8.5)$$

где S – скольжение, в долях единицы.

• к пункту 3 плана занятия. Естественную механическую характеристику асинхронного электродвигателя при $f_1 = 50$ Гц рассчитывать по упрощенному уравнению Клосса:

$$M = \frac{2M_{\text{к. ном}}}{\frac{S}{S_{\text{к. ном}}} + \frac{S_{\text{к. ном}}}{S}}. \quad (8.6)$$

Для удобства расчеты записать по форме табл. 8.2.

Таблица 8.2

Расчет естественной механической характеристики асинхронного электродвигателя при $f_1 = 50$ Гц

Параметр	Значения параметра при скольжении S , равном							
	0	$S_{\text{ном}} =$	$3S_{\text{ном}} =$	$S_{\text{к}} =$	$2S_{\text{к}} =$	$3S_{\text{к}} =$	$4S_{\text{к}} =$	1
$S/S_{\text{к. ном}}$								
$S_{\text{к. ном}}/S$								
$S/S_{\text{к. ном}} + S_{\text{к. ном}}/S$								
M по формуле (8.6)								
$\omega = \omega_{0\text{ном}}(1 - S)$								

• к пункту 4 плана занятия. Искусственную механическую характеристику при новой частоте f рассчитать по формуле

$$M = \frac{2M_{\text{к. ном}} \gamma^\alpha}{\frac{\gamma S}{S_{\text{к. ном}}} + \frac{S_{\text{к. ном}}}{\gamma S}}, \quad (8.7)$$

где γ – коэффициент, показывающий отношение новой частоты тока к частоте 50 Гц, $\gamma = f/50$;

α – показатель степени изменения момента сопротивления рабочей машины в зависимости от ее скорости вращения.

Для кормораздатчика $\alpha = 0$. В этом случае $\gamma^0 = 0,8^0 = 1$ и формула (8.7) при частоте тока 40 Гц будет иметь следующий вид:

$$M = \frac{2M_{\text{к. ном}}}{\frac{0,8S}{S_{\text{к. ном}}} + \frac{S_{\text{к. ном}}}{0,8S}}. \quad (8.8)$$

Для удобства записать расчет по форме табл. 8.3, где $\omega_{0,40} = 0,8\omega_{0ном}$.

Таблица 8.3

Расчет механической характеристики при $f = 40$ Гц ($\gamma = 0,8$) и $\alpha = 0$

Параметры	Значения параметра при скольжении S , равном							
	0	$S_{ном} = 3S_{н} =$	$S_{к} =$	$2S_{к} =$	$3S_{к} =$	$4S_{к} =$	1	
$0,8S/S_{к.ном}$								
$S_{к.ном}/0,8S$								
$0,8S/S_{к.ном} + S_{к.ном}/0,8S$								
$2M_{к.ном}$								
$M = \frac{2M_{к.ном}}{0,8S/S_{к.ном} + S_{к.ном}/0,8S}$								
$\omega = \omega_{0,40}(1-S)$								

При частоте тока 30 Гц коэффициент $\gamma = 0,6$ и $\alpha = 0$. Расчетная формула для момента имеет вид

$$M = \frac{2M_{к.ном}}{\frac{0,6S}{S_{к.ном}} + \frac{S_{к.ном}}{0,6S}} \quad (8.9)$$

Записать расчет по форме табл. 8.4, где $\omega_{0,30} = 0,6\omega_{0ном}$.

Таблица 8.4

Расчет механической характеристики при $f = 30$ Гц ($\gamma = 0,6$) и $\alpha = 0$

Параметры	Значения параметра при скольжении S , равном							
	0	$S_{н} =$	$3S_{н} =$	$S_{к} =$	$2S_{к} =$	$3S_{к} =$	$4S_{к} =$	1
$0,6S/S_{к.ном}$								
$S_{к.ном}/0,6S$								
$0,6S/S_{к.ном} + S_{к.ном}/0,6S$								
$2M_{к.ном}$								
$M = \frac{2M_{к.ном}}{0,6S/S_{к.ном} + S_{к.ном}/0,6S}$								
$\omega = \omega_{0,30}(1-S)$								

• к пункту 5 плана занятия. Построить механические характеристики при частотном регулировании скорости асинхронного электродвигателя для случая $\alpha = 0$ на одном графике с естественной характеристикой. Размер рисунка для графиков – не менее 150×150 мм. Примерный вид механических характеристик электродвигателя при регулировании скорости частотой тока приведен на рис. 8.1.

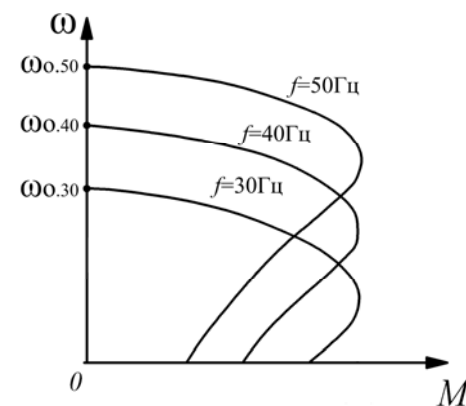


Рис. 8.1. Вид механических характеристик асинхронного электродвигателя при регулировании скорости вращения частотой тока при $U/f = \text{const}$

Контрольные вопросы:

1. Каким уравнением описываются механические характеристики при частотном регулировании скорости?
2. Как изменяется синхронная скорость при регулировании частоты тока?
3. Постройте графики искусственных механических характеристик при управлении напряжением преобразователя по закону $U/f = \text{const}$.
4. Постройте графики искусственных механических характеристик при управлении напряжением преобразователя по закону $U/f^2 = \text{const}$.

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ПУСКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель занятия: научиться рассчитывать продолжительность пуска электропривода и строить кривую изменения скорости электропривода при пуске.

Задача. Рассчитать продолжительность пуска электродвигателя, полученную аналитическим методом, и сравнить ее со значением, полученным графоаналитическим методом.

Вопросы для самоподготовки:

1. Запишите основное уравнение движения электропривода.
2. От каких параметров зависит время пуска электропривода?

Литература. Фоменков, А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий : учебник / А. П. Фоменков. – Москва : Колос, 1984. – 288 с.

План занятия:

1. Выписать технические данные электродвигателя из табл. 9.1 по своему варианту. Выписать исходные данные рабочей машины: приведенный момент сопротивления M_c ; приведенный момент инерции $J_{пр}$.

2. Построить график естественной механической характеристики электродвигателя.

3. Построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины, приведенную к валу электродвигателя.

4. Рассчитать продолжительность пуска электродвигателя по формуле (9.1).

5. Построить кривую изменения скорости электродвигателя при пуске.

6. По построенному графику определить время пуска.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Выписать технические данные электродвигателя из табл. 9.1.

Таблица 9.1

Вариант	Исходные данные						Рабочая машина	
	Типоразмер	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальная угловая скорость ω_n , рад/с	Кратность момента, о.е.			Приведенный момент сопротивления M_c , Н·м	Приведенный момент инерции $J_{пр}$, кг·м ²
				пускового $\lambda_{пуск}$	критического $\lambda_{крит}$	минимального $\lambda_{мин}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	4,1	0,0748
2	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5,1	0,0898
3	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5,3	0,1063
4	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	6,0	0,1205
5	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	8,8	0,1502
6	АИР71А4	0,55	142,5	2,3	2,2	1,8	3,1	0,0829
7	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	4,8	0,0999
8	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	7,1	0,1448
9	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	10,1	0,1817
10	АИР90L4	2,2	146,5	2,1	2,2	1,6	14,1	0,2388
11	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	17,1	0,3687
12	АИР90L4	2,2	146,5	2,1	2,2	1,6	13,2	0,2906
13	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	8,9	0,2022
14	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	7,2	0,1693
15	АИР71В4	0,75	141,8	2,2	2,2	1,6	5,2	0,2899
16	АИР80А4	1,1	146,5	2,2	2,2	1,6	7,1	0,1923
17	АИР80В4	1,5	146,5	2,2	2,2	1,6	8,8	0,2363
18	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	16,2	0,3794
19	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	20,0	0,4300
20	АИР100L4	4	148,1	2,0	2,2	1,6	23,7	1,4973
21	АИР100S4	3	148,1	2,0	2,2	1,6	17,2	0,7920
22	АИР100L4	4	148,1	2,0	2,2	1,6	22,7	0,9997

Окончание табл. 9.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	АИР112М4	5,5	150,4	2,0	2,5	1,6	32,3	1,0812
24	АИР112М4	5,5	150,4	2,0	2,5	1,6	36,8	1,2480
25	АИР132S4	7,5	151,2	2,0	2,5	1,6	43,6	1,0847
26	АИР160S4	15	152,8	1,9	2,9	1,8	83,4	1,5208
27	АИР180S4	22	153,6	1,7	2,4	1,5	145,0	2,0852
28	АИР180М4	30	154,4	2,0	2,2	1,6	193,7	2,2173
29	АИР180М4	30	154,4	2,0	2,2	1,6	156,7	1,7142
30	АИР132S4	7,5	151,2	2,0	2,5	1,6	40,7	0,8939

Выписать исходные данные рабочей машины: приведенный момент сопротивления M_c , приведенный момент инерции $J_{пр}$. Исходные данные электродвигателя в этой задаче такие же, как и в задаче практического занятия № 5.

• **к пункту 2 плана занятия.** Механическую характеристику электродвигателя следует строить по данным, взятым из занятия №5 (табл. 5.2, строки момента и скорости). Построение выполнить по образцу рис. 9.1. Размер рисунка – не менее 150×150 мм.

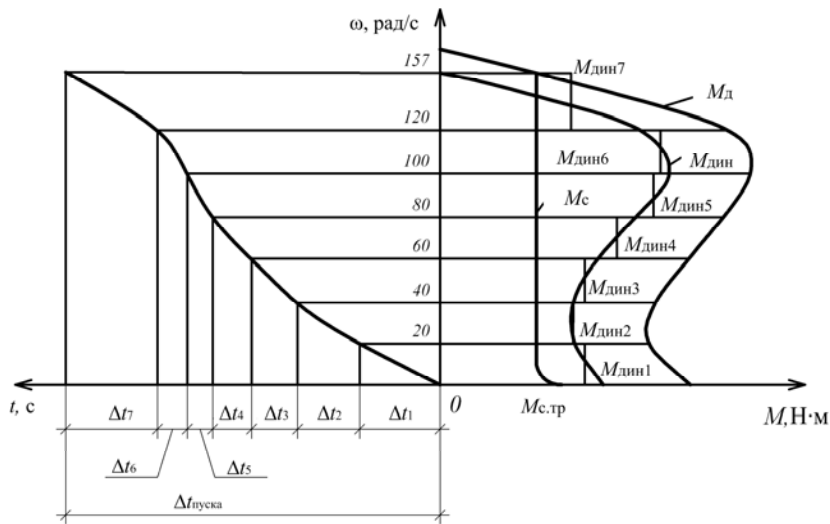


Рис. 9.1. Построение кривой изменения скорости электродвигателя при пуске

• **к пункту 3 плана занятия.** Принять, что электродвигатель приводит в движение транспортер. Механическую характеристику транспортера построить по уравнению $M_c = \text{const}$. Значение M_c взять из табл. 9.1. Транспортер имеет момент трогания $M_{с.тр} = 1,3 M_c$ (рис. 9.1).

• **к пункту 4 плана занятия.** Продолжительность пуска асинхронного электродвигателя можно определить по формуле

$$t_n = \frac{J_{пр} \omega_n}{(M_3 - M_c)}, \quad (9.1)$$

где M_3 – эффективный момент электродвигателя, определяется по формуле (9.2), Н·м;

M_c – приведенный к валу электродвигателя момент сопротивления рабочей машины, Н·м;

ω_n – номинальная угловая скорость электродвигателя, рад/с;

$J_{пр}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции вращающихся частей электропривода, кг·м².

Эффективный момент электродвигателя при пуске определяется по формуле

$$M_3 = \frac{M_k S_k}{(0,25 + 1,5 S_k^2)}, \quad (9.2)$$

где M_k – критический момент электродвигателя, Н·м;

S_k – критическое скольжение ротора электродвигателя, о. е. (см. табл. 5.2, $S_{\max} = S_k$).

• **к пункту 5 плана занятия.** Для построения кривой изменения скорости электропривода при пуске необходимо выполнить пункты 2–4 плана занятия. Сначала в правой части графика следует построить механическую характеристику электродвигателя. В том же масштабе построить механическую характеристику рабочей машины. Далее линию скорости разбить на участки через $\Delta \omega = 20$ рад/с и провести горизонтальные линии. На каждом участке скорости найти значения $M_{дин}$, отнимая (в каждой точке скорости) от момента электродвигателя момент сопротивления рабочей машины. Затем нужно

построить кривую изменения избыточного момента. На каждом участке скорости принять $M_{\text{дин}} = \text{const}$. Таким образом, получим ломаную ступенчатую линию динамического момента (рис. 9.1).

Замерить и записать значения $\Delta\omega_i$ и $M_{\text{дин } i}$ по форме табл. 9.2 для каждого участка скорости.

Таблица 9.2

Расчетные значения приращения скорости

Параметр	Значения на участках						
	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta\omega$, рад/с							
$M_{\text{дин}}$, Н·м							
Δt , с							

Время изменения скорости на любом участке равно

$$\Delta t_i = \frac{J_{\text{пр}} \Delta\omega_i}{M_{\text{дин } i}}, \quad (9.3)$$

где $\Delta\omega_i$ – изменение скорости на участке i , рад/с;

$M_{\text{дин } i}$ – динамический момент на участке i , Н·м.

Например, на участке $i = 1$:

$$\Delta t_1 = \frac{J_{\text{пр}} \Delta\omega_1}{M_{\text{дин } 1}}. \quad (9.4)$$

На участке $i = 2$:

$$\Delta t_2 = \frac{J_{\text{пр}} \Delta\omega_2}{M_{\text{дин } 2}} \text{ и т. д.} \quad (9.5)$$

Общее время пуска:

$$t_{\text{п}} = \sum \Delta t_i. \quad (9.6)$$

Сравнить время, полученное путем аналитического расчета (по формуле (9.1)), и время, полученное графоаналитическим расчетом.

Графоаналитический расчет является более точным, если его выполнить аккуратно и разбить скорость на малые участки.

Контрольные вопросы:

1. По какой формуле определяется продолжительность пуска асинхронного электродвигателя?
2. Как определяется динамический момент электродвигателя?
3. Как определяется время пуска асинхронного электродвигателя графоаналитическим методом?

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель занятия: освоить методику расчета энергетических показателей асинхронного электродвигателя при разных нагрузках на валу.

Задача. Для заданного электродвигателя рассчитать изменение основных энергетических показателей в функции нагрузки на валу и построить его график. Определить параметры холостого хода и отношение постоянных потерь к переменным.

Вопросы для самоподготовки:

1. Какие потери мощности в асинхронном электродвигателе существуют?
2. От каких параметров зависят переменные потери мощности в асинхронном электродвигателе?

Литература:

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981 – 576 с.
2. Кузнецов, Б. В. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления : справочное пособие / Б. В. Кузнецов, М. Ф. Сацукевич. – Минск : Беларусь, 1982. – 222 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 10.1 технические характеристики электродвигателя по своему варианту.
2. Определить и построить зависимости: $\eta = f_1(P_2)$; $\Delta P = f_2(P_2)$; $P_1 = f_3(P_2)$, где η – КПД электродвигателя, о.е.; P_2 – мощность на валу электродвигателя, кВт; P_1 – потребляемая из сети мощность, кВт; ΔP – потери мощности в электродвигателе, кВт.

3. Построить зависимость $\cos\varphi = f_4(P_2)$.
4. Определить и построить зависимость $Q = f_5(P_2)$, где Q – потребляемая из сети реактивная мощность, кВАр.
5. Определить параметры холостого хода электродвигателя: реактивную мощность Q_0 ; ток I_0 ; потери мощности ΔP_0 ; коэффициент мощности $\cos\varphi_0$.
6. Определить отношение постоянных потерь в электродвигателе к переменным.
7. Записать выводы, свидетельствующие об изменении параметров электродвигателя от изменения нагрузки на валу: $\eta = f_1(P_2)$; $\Delta P = f_2(P_2)$; $P_1 = f_3(P_2)$; $\cos\varphi = f_4(P_2)$; $Q = f_5(P_2)$.

Методические указания:

• **к пункту 1 плана занятия.** Записать вариант, тип электродвигателя, его номинальную мощность, номинальный КПД и номинальный коэффициент мощности из табл. 10.1 по форме табл. 10.2. Номинальные значения электродвигателя соответствуют коэффициенту нагрузки 1,00.

Таблица 10.1

Значения КПД и коэффициента мощности электродвигателей

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	КПД η , %, при коэффициенте нагрузки					Коэффициент мощности $\cos\varphi$, о.е., при коэффициенте нагрузки					Частота вращения $n_{\text{ном}}$, мин ⁻¹
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4A132M2Y3	11,0	80,0	87,0	88,0	87,0	65,0	0,82	0,87	0,90	0,90	0,90	2900
2	4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	2940
3	4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	2940
4	4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,86	0,91	0,92	2945
5	4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	2945
6	4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	2945
7	4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	2945
8	4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	2945
9	4A250S2Y3	75,0	75,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89	2960
10	4A250M2Y3	90,0	90,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	2960
11	4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	1460

Окончание табл. 10.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
12	4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	1465
13	4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	1465
14	4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	1470
15	4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	1470
16	4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	1475
17	4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	1475
18	4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	1480
19	4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	1480
20	4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	1480
21	4A160S6Y3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	975
22	4A160M6Y3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	975
23	4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	975
24	4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	975
25	4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	980
26	4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89	980
27	4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	985
28	4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	985
29	4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,0	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88	985
30	4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	985

Таблица 10.2

Исходные данные и результаты расчетов

№ нагрузки	Параметры							Параметры холостого хода
	Коэффициент нагрузки $K_{наг}$, о.е.	КПД η , о.е.	Коэффициент мощности $\cos\varphi$, о.е.	Мощность на валу P_2 , кВт	Мощность потребляемая P_1 , кВт	Потери мощности ΔP , кВт	Реактивная мощность Q , кВАр	
1	0,125							$\Delta P_0 =$ $Q_0 =$ $I_0 =$ $\cos\varphi_0 =$ Коэффициент $\alpha =$
2	0,250							
3	0,500							
4	0,750							
5	1,000							
6	1,250							

• к пункту 2 плана занятия. Для коэффициента нагрузки $K_{наг} = 0,125$ КПД электродвигателя вычислить по формуле

$$\eta_{0,125} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) \cdot \frac{(\alpha / K_{наг}) + K_{наг}}{1 + \alpha}}, \quad (10.1)$$

где η_n – номинальный КПД электродвигателя, соответствует $K_{наг} = 1$;
 α – коэффициент потерь; $\alpha \approx 0,5-0,7$; принять $\alpha = 0,6$;
 $K_{наг}$ – коэффициент нагрузки:

$$K_{наг} = \frac{P_2}{P_{ном}}. \quad (10.2)$$

Потребляемую из сети мощность определяют по формуле

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}. \quad (10.3)$$

Потери мощности в электродвигателе:

$$\Delta P = P_1 - P_2, \quad (10.4)$$

или

$$\Delta P = P_2 \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right). \quad (10.5)$$

По формуле (10.1) может быть определен коэффициент полезного действия при любой нагрузке на валу.

Расчеты выполнить для шести нагрузок на валу.

Построить график $P_1 = f_3(P_2)$.

• к пункту 3 плана занятия. Зависимость $\cos\varphi = f_4(P_2)$ построить по данным табл. 10.1.

Для $K_{наг} = 0,125$ коэффициент мощности $\cos\varphi$ не определять.

• к пункту 4 плана занятия. Реактивная мощность:

$$Q = P_1 \operatorname{tg} \varphi, \quad (10.6)$$

где

$$\varphi = \arccos \cos \varphi. \quad (10.7)$$

• **к пункту 5 плана занятия.** Параметры холостого хода электродвигателя определяются графически. Для этого графики $\Delta P = f_2(P_2)$, $\cos\varphi = f_4(P_2)$, $Q = f_5(P_2)$ продлевают до пересечения с вертикальной осью координат, которая соответствует нулевой мощности на валу. Таким образом находят ΔP_0 , $\cos\varphi_0$ и Q_0 .

Ток холостого хода:

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \approx \frac{Q_0}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (10.8)$$

где U_n – номинальное линейное напряжение, В.

Поскольку $Q_0 \gg P_0$, то приближенно в формуле (10.8) принято $S_0 \approx Q_0$.

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{\sqrt{3} U_n \cdot I_0}. \quad (10.9)$$

• **к пункту 6 плана занятия.** Отношение постоянных потерь к переменным определяется отношением

$$\alpha = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{\Delta P_{\text{пер}}} = \frac{\Delta P_0}{\Delta P_n - \Delta P_0}. \quad (10.10)$$

Постоянные потери $\Delta P_{\text{пост}}$ принимаются равными потерям холостого хода, а переменные $\Delta P_{\text{пер}}$ определяются по формуле (10.5).

На графике $P_1 = f_2(P_2)$ показать потери $\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_0$ и $\Delta P_{\text{н.наг}}$ (при номинальной нагрузке). Результаты расчетов (ΔP_0 , Q_0 , I_0 , $\cos\varphi_0$, α) записать по форме табл. 10.2.

Контрольные вопросы:

1. По каким формулам определяются потери мощности в статоре и в роторе асинхронного электродвигателя?
2. От каких параметров зависят переменные потери мощности в асинхронном электродвигателе?
3. Запишите формулу, по которой рассчитывается реактивная мощность.
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается коэффициент потерь α .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ЗАМЕНЫ ЕГО МЕНЬШИМ ПО МОЩНОСТИ

Цель занятия: освоить методику определения оптимального коэффициента нагрузки асинхронного электродвигателя и целесообразности его замены меньшим по мощности.

Задача. Для выбранного на практическом занятии №10 электродвигателя определить оптимальный коэффициент нагрузки, целесообразность замены электродвигателя меньшим по мощности при нагрузке электродвигателя 50 % от номинальной.

Вопросы для самоподготовки:

1. Какие составляющие имеет мощность холостого хода?
2. Объясните понятие «коэффициент мощности»?
3. Как рассчитать реактивную мощность, если известна активная мощность и $\cos\varphi$?

Литература. Кузнецов, Б. В. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления: справочное пособие / Б. В. Кузнецов, М. Ф. Сацукевич. – Минск: Беларусь, 1982. – 222 с.

План занятия:

Для выбранного на практическом занятии №10 электродвигателя определить:

1. Оптимальный коэффициент нагрузки без учета коэффициента потерь в электрической сети.
2. Оптимальный коэффициент нагрузки с учетом коэффициента потерь в электрической сети.

3. Целесообразность замены электродвигателя меньшим по мощности при нагрузке электродвигателя 50 % от номинальной.

Методические указания

• **к пункту 1 плана занятия.** Коэффициент нагрузки, при котором КПД электродвигателя достигает максимального значения, соответствует условию: постоянные потери равны переменным, и определяется по формуле

$$K_{н.опт} = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_{н.наг}}} = \sqrt{\alpha}, \quad (11.1)$$

где ΔP_0 – потери холостого хода (постоянные), Вт;

$\Delta P_{н.наг}$ – потери номинальные нагрузочные (переменные), Вт;

α – отношение постоянных потерь к переменным (см. формулу (10.10)).

• **к пункту 2 плана занятия.** Оптимальный коэффициент нагрузки с учетом потерь энергии в распределительной сети определяется по формуле

$$K_{н.опт} = \sqrt{\frac{\Delta P_0 + K_{э.п} Q_0}{\Delta P_{н.наг} + K_{э.п} (Q_{н} - Q_0)}}, \quad (11.2)$$

где $K_{э.п}$ – коэффициент электрических потерь в сети от реактивной мощности; $K_{э.п} = 0,15$ кВт/кВАр [2];

Q_0 – потребляемая реактивная мощность при холостом ходе, кВАр;

$Q_{н}$ – потребляемая реактивная мощность при номинальной нагрузке, кВАр.

Q_0 и $Q_{н}$ взять из табл. 10.2.

• **к пункту 3 плана занятия.** Замена электродвигателя меньшим по мощности целесообразна, если выполняется условие

$$\Delta P_{сум.нов} < \Delta P_{сум.стар} 0,5, \quad (11.3)$$

где индекс «0,5» означает потери старого электродвигателя при нагрузке 50 % (см. табл. 10.2).

Суммарные потери активной мощности в электродвигателе и энергосистеме определяются по формуле

$$\Delta P_{сум} = \Delta P_0 + K_{э.п} Q = \Delta P_0 + K_{наг}^2 \Delta P_{н.наг} + K_{э.п} [Q_0 (1 - K_{наг}^2) + K_{наг}^2 Q_{н}]. \quad (11.4)$$

Выбрать из табл. 11.1 электродвигатели, мощность которых соответствует следующему условию:

$$P_{н.нов} \geq 0,5 P_{н.стар}. \quad (11.5)$$

Этому условию могут соответствовать один или два электродвигателя.

Таблица 11.1

Значения КПД и коэффициента мощности электродвигателей

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{н}$, кВт	КПД электродвигателя η , % при коэффициенте нагрузки					Коэффициент мощности $\cos\varphi$ при коэффициенте нагрузки					Частота вращения $n_{ном}$, мин
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
–	4A100S2Y3	4,0	80,0	86,0	87,0	86,5	85,0	0,60	0,80	0,86	0,89	0,90	2880
–	4A100L2Y3	5,5	82,5	87,5	88,0	87,5	80,0	0,65	0,83	0,88	0,91	0,91	2880
–	4A112M2Y3	7,5	78,0	85,5	87,5	87,5	86,5	0,56	0,74	0,83	0,88	0,89	2900
1	4A132M2Y3	11,0	80,0	87,0	88,0	87,0	65,0	0,82	0,87	0,90	0,90	0,90	2900
2	4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	2940
3	4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	2940
4	4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,86	0,91	0,92	2945
5	4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	2945
6	4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	2945
7	4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	2945
8	4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	2945
9	4A250S2Y3	75,0	75,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89	2960
10	4A250M2Y3	90,0	90,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	2960
–	4A100L4Y3	4,0	79,5	84,5	85,0	84,0	81,5	0,46	0,68	0,79	0,84	0,86	1430
–	4A112M4Y3	5,5	82,0	86,5	86,5	85,5	83,0	0,51	0,72	0,80	0,85	0,85	1445
–	4A132S4Y3	7,5	77,5	86,0	87,5	87,5	86,0	0,53	0,71	0,83	0,86	0,87	1455
11	4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	1460
12	4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	1465

Окончание табл. 11.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
13	4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	1465
14	4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	1470
15	4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	1470
16	4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	1475
17	4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	1475
18	4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	1480
19	4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	1480
20	4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	1480
–	4A112MB6Y3	4,0	77,0	82,5	83,0	82,0	79,5	0,40	0,62	0,74	0,81	0,83	950
–	4A132S6Y3	5,5	71,0	81,0	84,0	85,0	83,0	0,33	0,56	0,69	0,80	0,84	965
–	4A132M6Y3	7,5	76,0	84,0	85,0	85,0	84,0	0,40	0,62	0,74	0,81	0,84	870
21	4A160S6Y3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	975
22	4A160M6Y3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	975
23	4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	975
24	4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	975
25	4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	980
26	4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89	980
27	4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	985
28	4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	985
29	4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,0	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88	985
30	4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	985

Выписать (по форме табл. 11.2) технические характеристики выбранных электродвигателей: P_n , η_n , $\eta_{0,5}$, $\cos\varphi_n$, $\cos\varphi_{0,5}$.

Таблица 11.2

Расчетные параметры электродвигателей

Параметры	Электродвигатель		
	старый	новый №1	новый №2
Тип			
Мощность P_n , кВт			
$\eta_{ном}$, о.е.			
$\eta_{0,5}$, о.е.			
$\cos\varphi_n$, о.е.			
$\cos\varphi_{0,5}$, о.е.			
$Q_n = P_n \operatorname{tg}\varphi_n$ по (10.6), кВАр			
$Q_{0,5} = P_{0,5} \operatorname{tg}\varphi_{0,5}$ по (10.6), кВАр			

Окончание табл. 11.2

Параметры	Электродвигатель		
	старый	новый №1	новый №2
$\Delta P_n = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)$ по (10.5), кВт			
$\Delta P_{0,5} = 0,5 P_n \left(\frac{1 - \eta_{0,5}}{\eta_{0,5}} \right)$ по (10.5), кВт			
$\Delta P_0 = \frac{\Delta P_{0,5} - 0,25 \Delta P_n}{0,75}$ по (11.8), кВт			
$\Delta P_{н.нагр} = \Delta P_n - \Delta P_0$ по (11.9), кВт			
$K_{наг}$ по (11.6)–(11.7), о.е.			
$\Delta P_{сум}$ по (11.4), кВт			
Вывод о целесообразности замены старого электродвигателя.			

Для каждого выбранного электродвигателя рассчитать ΔP , $\Delta P_{н.нагр}$, Q_0 , Q_n по формулам табл. 11.2.

Коэффициент нагрузки первого электродвигателя (в формуле (11.4)) определяется по выражению

$$K_{наг1} = \frac{P_{0,5}}{P_{нов1}}, \quad (11.6)$$

где $P_{0,5}$ – нагрузка старого электродвигателя; $P_{0,5} = 0,5 P_{н.стар}$;

$P_{нов1}$ – номинальная мощность первого выбранного электродвигателя, кВт;

$P_{н.стар}$ – номинальная мощность старого электродвигателя (см. табл. 10.1), кВт.

Аналогично определить коэффициент нагрузки второго электродвигателя

$$K_{наг2} = \frac{P_{0,5}}{P_{нов2}}, \quad (11.7)$$

где $P_{нов2}$ – номинальная мощность второго выбранного электродвигателя, кВт.

Потери холостого хода:

$$\Delta P_0 = \frac{\Delta P_{0,5} - 0,25\Delta P_n}{0,75}. \quad (11.8)$$

Номинальные нагрузочные потери:

$$\Delta P_{н.нагр} = \Delta P_n - \Delta P_0. \quad (11.9)$$

Контрольные вопросы:

1. Как находится потребляемая реактивная мощность, если известны следующие параметры: $\cos\varphi$, КПД, P_2 ?
2. При каком условии КПД электродвигателя достигает максимального значения?
3. Назовите критерии замены электродвигателя меньшим по мощности.
4. Нарисуйте ожидаемый характер изменения кривой КПД и $\cos\varphi$ при соединении обмоток одного и того же электродвигателя в Δ и Y .

Практическое занятие № 12

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ХОЛОСТЫХ ХОДОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ РАБОЧИХ МАШИН

Цель занятия: освоить методику расчета энергосбережения при ограничении холостых ходов и увеличении коэффициента загрузки рабочих машин.

Задачи. Для выбранного на практическом занятии №10 электродвигателя при заданной нагрузочной диаграмме определить:

- 1) целесообразность ограничения холостых ходов электродвигателя, работающего в режиме чередования нагрузки и холостых ходов;
- 2) эффективность увеличения коэффициента загрузки рабочей машины с 50 % до 100 %. В качестве рабочей машины принять дробилку кормов.

Вопросы для самоподготовки:

1. От каких параметров зависит потеря энергии при пуске?
2. Нарисуйте кривую изменения КПД передачи от передаваемого момента.
3. Нарисуйте кривую изменения КПД рабочей машины от производительности.

Литература:

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Кузнецов, Б. В. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления : справочное пособие / Б. В. Кузнецов, М. Ф. Сацукевич. – Минск : Беларусь, 1982. – 222 с.

План занятия:

1. Определить энергию, потребляемую электродвигателем за час работы при холостых ходах рабочей машины, приняв:

а) мощность холостого хода $P_{х.х} = 0,25P_n$;

б) время холостого хода $t_{х.х} = 2$ минуты в цикле «нагрузка – холостой ход»;

в) число циклов нагрузки в час $Z = 10$.

2. Определить, какой величины будут пусковые потери за час работы электропривода, если в каждом цикле «нагрузка – холостой ход» электродвигатель будет отключаться от сети на время холостого хода и включаться в сеть при нагрузке.

Принять приведенный момент инерции электропривода рабочей машины $J_{прив} = 10J_{р.д.}$, где $J_{р.д.}$ – момент инерции ротора электродвигателя, $кг \cdot м^2$ (табл. 12.1).

3. Определить величину сберегаемой энергии при ограничении холостых ходов по условиям пунктов 1 и 2 плана занятий.

4. Определить условие, при котором целесообразно ограничение холостых ходов.

5. Определить энергосбережение при увеличении коэффициента загрузки рабочей машины с $0,5P_n$ до P_n при следующих условиях:

– номинальный удельный расход энергии α_n в дробилке кормов – $6,0$ кВт·ч/т,

– масса перерабатываемого материала – 1000 т в год;

– КПД машины при первоначальной нагрузке $50\% P_{ном} - \eta_{м0,5} = 0,6$;

– КПД передачи – $\eta_{пер0,5} = 0,76$;

– КПД электродвигателя – по данным табл. 12.2 при нагрузке 50% .

При увеличении загрузки машины до 100% КПД машины увеличивается на 12% , КПД передачи – на 8% [3], КПД электродвигателя – до значения, приведенного в табл. 12.2 при нагрузке 100% .

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Выписать исходные данные по своему варианту из табл. 12.1.

Исходные данные

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	Момент инерции ротора электродвигателя $J_{р.д.}$, $кг \cdot м^2$	Приведенное сопротивление обмотки, о.е.		Приведенное главное индуктивное сопротивление X_{μ}^* , о.е.	Приведенное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора X_1^{I*} , о.е.
				статора R_1^*	ротора R_2^*		
1	4A132M2Y3	11	0,023	0,040	0,025	4,2	0,061
2	4A160S2Y3	15	0,048	0,052	0,022	4,0	0,092
3	4A160M2Y3	18,5	0,053	0,049	0,022	4,5	0,092
4	4A180S2Y3	22	0,070	0,039	0,020	3,6	0,091
5	4A180M2Y3	30	0,085	0,030	0,018	3,8	0,073
6	4A200M2Y3	37	0,150	0,029	0,021	4,1	0,094
7	4A200L2Y3	45	0,170	0,027	0,002	4,9	0,088
8	4A225M2Y3	55	0,250	0,026	0,019	5,6	0,092
9	4A250S2Y3	75	0,470	0,021	0,015	4,8	0,080
10	4A250M2Y3	90	0,520	0,020	0,016	5,2	0,078
11	4AB2M4Y3	11	0,040	0,043	0,032	3,2	0,085
12	4A160S4Y3	15	0,100	0,047	0,025	4,0	0,086
13	4A160M4Y3	18,5	0,130	0,042	0,024	4,3	0,085
14	4A180S4Y3	22	0,190	0,041	0,021	4,0	0,080
15	4A180M4Y3	30	0,230	0,034	0,018	3,9	0,068
16	4A200M4Y3	37	0,370	0,039	0,018	4,4	0,086
17	4A200L4Y3	45	0,450	0,034	0,017	4,6	0,082
18	4A225M4Y3	55	0,640	0,027	0,015	4,2	0,086
19	4A250S4Y3	75	1,000	0,025	0,014	4,4	0,089
20	4A250M4Y3	90	1,200	0,024	0,014	5,0	0,093
21	4A160S6Y3	11	0,140	0,073	0,030	3,0	0,110
22	4A160M6Y3	15	0,180	0,062	0,028	3,0	0,100
23	4A180M6Y3	18,5	0,220	0,056	0,026	2,9	0,110
24	4A200M6Y3	22	0,400	0,050	0,024	4,1	0,110
25	4A200L6Y3	30	0,450	0,046	0,022	3,7	0,120
26	4A225M6Y3	37	0,740	0,042	0,019	3,7	0,100
27	4A250S6Y3	45	1,200	0,037	0,015	3,8	0,090
28	4A250M6Y3	55	1,300	0,034	0,014	3,4	0,083
29	4A280S6Y3	75	2,900	0,032	0,021	3,7	0,120
30	4A280M6Y3	90	3,4	0,030	0,019	3,5	0,110

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19	4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	157
20	4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	157
21	4A160S6Y3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	104,7
22	4A160M6Y3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	104,7
23	4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	104,7
24	4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	104,7
25	4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	104,7
26	4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89	104,7
27	4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	104,7
28	4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	104,7
29	4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,0	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88	104,7
30	4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	104,7

• к пункту 2 плана занятия. Выписать из табл. 12.1 значение момента инерции ротора электродвигателя и определить $J_{прив}$ по условию, указанному в пункте 2 плана занятия.

Потери энергии (кВт·ч) при пусках электродвигателя в случае ограничения холостых ходов за час работы определить по формуле

$$W_{\pi} = J_{прив} \frac{\omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{R_1^{1*}}{R_2^{1*}} \right) (Z - 1) \frac{1}{3\ 600\ 000}. \tag{12.2}$$

В формуле (12.2) принять отношение сопротивлений R_1^{1*} / R_2^{1*} и синхронную скорость ω_0 по данным табл. 12.1. Деление на 3 600 000 позволяет перевести потери энергии из размерности Дж (Вт·с) в размерность кВт·ч.

• к пункту 3 плана занятия. Сбережение электроэнергии при ограничении холостых ходов определить по уравнению

$$\Delta W = W_{x.x} - W_{\pi}. \tag{12.3}$$

Обратить внимание, что величина потерь энергии при пуске W_{π} в сотни раз меньше, чем величина потерь энергии при холостом ходе $W_{x.x}$.

• к пункту 4 плана занятия. Отключение электродвигателя при холостом ходе экономит электроэнергию, но при последующем

Энергия (кВт·ч), потребляемая электродвигателем за час работы при холостых ходах рабочей машины, определяется по формуле

$$W_{x.x} = \left(\frac{P_{x.x}}{\eta_{0,25}} + K_{э.п} Q_{0,25} \right) \cdot t_{x.x} Z, \tag{12.1}$$

где $K_{э.п}$ – коэффициент электрических потерь в сети от реактивной мощности, кВт/кВАр.

В формуле (12.1) используются величины, значения которых заданы в пункте 1 плана занятия.

Значения КПД при $K_{наг} = 0,25$ взять из табл. 12.2; время $t_{x.x}$ подставить в часах $t_{x.x} = 2/60$ часа. Реактивную мощность $Q_{0,25}$ при $K_{наг} = 0,25$ взять из табл. 10.2 практического занятия №10.

Таблица 12.2

Значения КПД и коэффициента мощности электродвигателей

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{н}$, кВт	КПД электродвигателя η , %, при коэффициенте нагрузки					Коэффициент мощности $\cos\phi$, о.е., при коэффициенте нагрузки					Синхронная скорость, рад/с
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4A132M2Y3	11,0	80,0	87,0	88,0	87,0	65,0	0,82	0,87	0,90	0,90	0,90	314
2	4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	314
3	4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	314
4	4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,86	0,91	0,92	314
5	4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	314
6	4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	314
7	4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	314
8	4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	314
9	4A250S2Y3	75,0	75,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89	314
10	4A250M2Y3	90,0	90,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	314
11	4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	157
12	4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	157
13	4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	157
14	4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	157
15	4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	157
16	4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	157
17	4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	157
18	4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	157

включении электродвигателя энергия потребляется из сети. Если формулы (12.1) и (12.2) приравнять между собой, то можно определить время холостого хода $t_{х.х}$, выше которого целесообразно отключать электродвигатель при холостом ходе (ограничить холостой ход рабочей машины). Это время (в секундах) определяется по формуле

$$t_{х.х} \geq \frac{J_{\text{прив}} \frac{\omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{R_1^{1*}}{R_2^{1*}}\right)}{(0,25P_n / \eta_{0,25} + 0,15Q_{0,25})} \left(\frac{Z-1}{Z}\right) 10^{-3}. \quad (12.4)$$

При времени холостого хода, превышающем время, вычисленное по формуле (12.4), целесообразно ограничить холостой ход рабочей машины.

• **к пункту 5 плана занятия.** При изменении загрузки рабочей машины (например, дробилки) изменяется ее удельный расход энергии. По [3] изменение удельного расхода энергии в процентах вычисляется по формуле

$$\Delta\alpha\% = \frac{\Delta\alpha}{\alpha_n} 100\% = \left(\frac{\eta_{\text{мн}} \eta_{\text{дн}} \eta_{\text{пер.н}}}{\eta_{\text{ми}} \eta_{\text{ди}} \eta_{\text{пер.и}}} - 1 \right) 100\%, \quad (12.5)$$

где $\eta_{\text{мн}}$, $\eta_{\text{дн}}$, $\eta_{\text{пер.н}}$ – значения КПД соответственно дробилки, электродвигателя и передачи в номинальном режиме работы при производительности Q_n ;

$\eta_{\text{ми}}$, $\eta_{\text{ди}}$, $\eta_{\text{пер.и}}$ – значения КПД соответственно дробилки, электродвигателя и передачи в номинальном режиме работы при производительности Q_i .

В нашем случае производительность дробилки Q_i соответствует нагрузке 50 %, а Q_n – нагрузке 100 %. Значения КПД $\eta_{\text{ми}}$, $\eta_{\text{ди}}$, $\eta_{\text{пер.и}}$, $\eta_{\text{мн}}$, $\eta_{\text{дн}}$, $\eta_{\text{пер.н}}$ соответствуют условию пункта 5 плана занятия. Следовательно, $\eta_{\text{мн}} = 1,12\eta_{\text{ми}}$; $\eta_{\text{пер.н}} = 1,08\eta_{\text{пер.и}}$; $\eta_{\text{дн}}$ – КПД электродвигателя при номинальной нагрузке (см. табл. 12.2).

Перевод $\Delta\alpha\%$ в именованные величины (кВт·ч/т) производится по формуле

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\alpha\%}{100} \cdot \alpha_n. \quad (12.6)$$

При переработке M тонн сырья экономия электроэнергии ΔW составит

$$\Delta W = \Delta\alpha M. \quad (12.9)$$

Контрольные вопросы:

1. Нарисуйте кривую изменения КПД электродвигателя от нагрузки на валу.
2. Назовите условия, при которых целесообразно ограничение холостых ходов.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ПОДАЧИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАШИН ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель занятия: освоить методику определения экономии электроэнергии при регулировании подачи центробежных машин путем изменения скорости электропривода по сравнению с изменением подачи задвижкой.

Задача. Для выбранного электродвигателя определить снижение расхода электроэнергии при регулировании подачи насоса путем изменения скорости вращения по сравнению с изменением подачи задвижкой. В регулируемом приводе насоса используется преобразователь частоты.

Вопросы для самоподготовки:

1. Назовите способы регулирования подачи центробежных машин.
2. Постройте график механической характеристики центробежного насоса.
3. Постройте график аэродинамической характеристики центробежного насоса.

Литература:

1. Фоменков, А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий : учебник / А. П. Фоменков. – Москва : Колос, 1984. – 288 с.
2. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
3. Энергосберегающие технологии электроснабжения народного хозяйства : практическое пособие. В 5 кн. / под ред. В. А. Веникова.

Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожановский, А. О. Горнов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 127 с.

4. Регулируемые асинхронные электродвигатели в сельскохозяйственном производстве / под ред. Д. Н. Быстрицкого. – Москва : Энергия, 1975. – 399 с.

План занятия:

1. Построить рабочую часть механической характеристики асинхронного электродвигателя $\omega = f(M)$ и механическую характеристику насоса $M_c = f(\omega)$ на одном графике, приняв, что электродвигатель загружен на 100 % при номинальной скорости. Диапазон регулирования скорости $D = 2,5$. Разбить диапазон регулирования на 7 скоростей (подач).

2. Определить потребление мощности при каждой подаче в случае регулирования скорости электропривода.

3. Определить продолжительность работы насоса на каждой скорости. Принять средний закон распределения скоростей за время работы. Определить по нему продолжительность работы на каждой скорости. Общее время работы установки в году – 3000 часов.

4. Определить расход электроэнергии при регулировании подачи насоса скоростью вращения.

5. Определить потребление электроэнергии при 7 подачах насоса в случае регулирования подачи задвижкой. Принять, что потребляемая мощность при подаче $Q^* = 0$ составляет $P_1^* = 0,4$, а $Q^* = 1$ при $P_1^* = 1$, где P_1^* – потребляемая мощность, о.е.; Q^* – подача, о.е.

6. Определить расход электроэнергии при регулировании подачи насоса задвижкой.

7. Определить экономию энергии в кВт·ч и %.

Методические указания:

• **к пункту 1 плана занятия.** Рабочая часть механической характеристики электродвигателя строится в виде прямой линии по следующим двум точкам.

1-я точка имеет координаты $\omega = \omega_0 = 0,1045n_0$ при $M = 0$; где n_0 – синхронная частота вращения электромагнитного поля электродвигателя, мин⁻¹; M – момент электродвигателя, Н·м.

Синхронную частоту вращения электромагнитного поля электродвигателя определить как ближайшую большую к номинальной частоте вращения (табл. 13.1) электродвигателя из ряда синхронных частот вращения 3000, 1500, 1000 мин⁻¹.

2-я точка имеет координаты $\omega = \omega_n$ при $M = M_n$:

$$\omega_n = 0,1045n_n, \quad (13.1)$$

где n_n – номинальная частота вращения (табл. 13.1).

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (13.2)$$

Таблица 13.1

Значения КПД и коэффициента мощности электродвигателей

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	КПД электродвигателя η , %, при коэффициенте нагрузки					Коэффициент мощности $\cos\varphi$, о.е., при коэффициенте нагрузки					Частота вращения n_n , мин ⁻¹
			0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4A132M2Y3	11,0	80,0	87,0	88,0	87,0	65,0	0,82	0,87	0,90	0,90	0,90	2900
2	4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	2940
3	4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	2940
4	4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,86	0,91	0,92	2945
5	4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	2945
6	4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	2945
7	4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	2945
8	4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	2945
9	4A250S2Y3	75,0	75,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89	2960
10	4A250M2Y3	90,0	90,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	2960
11	4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	1460
12	4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	1465
13	4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	1465
14	4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	1470
15	4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	1470
16	4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	1475

17	4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	1475
18	4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	1480
19	4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	1480
20	4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	1480
21	4A160S6Y3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	975
22	4A160M6Y3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	975
23	4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	975
24	4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	975
25	4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	980
26	4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89	980
27	4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	985
28	4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	985
29	4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,0	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88	985
30	4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88	985

Для расчета механической характеристики рабочей машины необходимо предварительно найти 7 скоростей в диапазоне регулирования. Минимальная скорость соответствует значению

$$\omega_{\min} = \omega_6 = \frac{\omega_{\text{ном}}}{D}, \quad (13.3)$$

где D – диапазон регулирования скорости вращения; $D = 2,5$.

Диапазон регулирования скорости вращения (от ω_n до ω_6) разбить на 6 скоростей вращения. Разность между скоростями вращения равна

$$\Delta\omega = \left(\frac{\omega_n - \omega_6}{6} \right). \quad (13.4)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_n - \Delta\omega; \\ \omega_2 &= \omega_1 - \Delta\omega; \\ \omega_3 &= \omega_2 - \Delta\omega; \\ \omega_4 &= \omega_3 - \Delta\omega; \end{aligned} \quad (13.5)$$

$$\omega_5 = \omega_4 - \Delta\omega;$$

$$\omega_6 = \omega_5 - \Delta\omega.$$

Значения 7 выбранных скоростей вращения занести в табл. 13.2. Выполнить расчеты моментов сопротивлений при этих скоростях вращения по формуле

$$M_c = M_{c.n} \left(\frac{\omega_i}{\omega_n} \right)^2, \quad (13.6)$$

где $M_{c.n}$ и ω_n – момент сопротивления и угловая скорость при номинальном режиме работы, Н·м и рад/с;

ω_i – угловая скорость в выбранных точках, рад/с.

Для удобства расчета данные записать по форме табл. 13.2.

Таблица 13.2

Данные к расчету M_c и P_1

Угловая скорость ω , рад/с	$\frac{\omega}{\omega_n}$	$\left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2$	M_c по (13.6), Н·м	Потребляемая мощность P_1 по (13.7), кВт
$\omega_n =$	1	1	$M_{c.n} =$	$P_{1n} =$
$\omega_1 =$	0,9	0,81		$P_{11} =$
$\omega_2 =$	0,8	0,64		$P_{12} =$
$\omega_3 =$	0,7	0,49		$P_{13} =$
$\omega_4 =$	0,6	0,36		$P_{14} =$
$\omega_5 =$	0,5	0,25		$P_{15} =$
$\omega_6 =$	0,4	0,16		$P_{16} =$

• **к пункту 2 плана занятия.** Потребляемая мощность (кВт) при каждой скорости (подаче):

$$P_1 = \frac{M_c \omega}{\eta_{д.н}} \cdot 10^{-3}, \quad (13.7)$$

где $\eta_{д.н}$ – номинальный КПД электродвигателя, о.е.; при частотном регулировании скорости вращения можно считать, что КПД электродвигателя остается примерно одним и тем же [4].

По данным табл. 13.2 строится характеристика $\omega = f(M_c)$ в одних осях с ранее построенной зависимостью $\omega = f(M)$.

• **к пункту 3 плана занятия.** Если по технологии работы рабочей машины затруднительно установить продолжительность работы регулируемого электропривода на каждой ступени скорости, то обращаются к вероятным законам изменения скорости вращения в диапазоне регулирования [5], графические зависимости которых представлены на рис. 13.1 в относительных единицах.

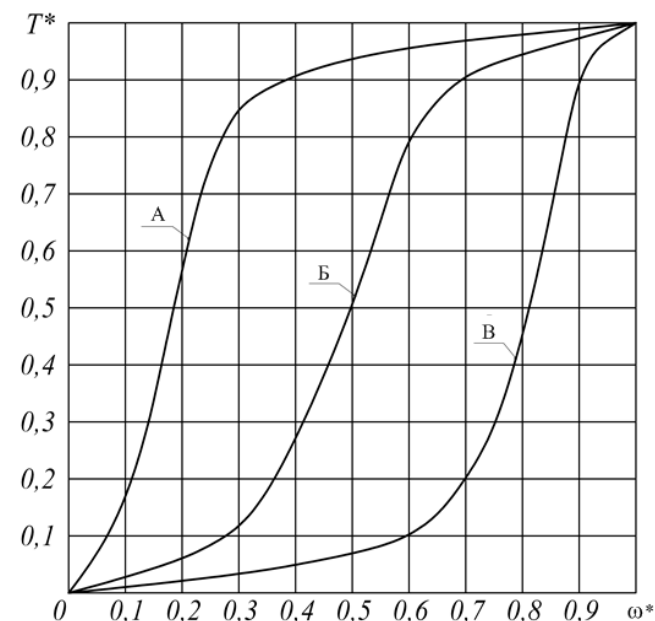


Рис. 13.1. Распределение времени работы рабочей машины в интервале регулирования скорости вращения:

- А – с преобладанием времени на низших скоростях вращения;
- Б – со средним временем работы на нижних и высоких скоростях вращения;
- В – с преобладанием времени работы на высоких скоростях вращения

Пользуясь рис. 13.1 и кривой Б, определить время работы T_i^* на каждой из 7 ранее определенных скоростей вращения, записанных в табл. 13.3 (в относительных единицах). Время работы T_i^* записать по форме табл. 13.3.

Таблица 13.3

Определение времени работы установки на каждой ступени угловой скорости вращения

Угловая скорость ω , рад/с	Угловая скорость ω^* , о. е.	Время T_i^* , о. е.	Время T_i , ч
$\omega_n =$	1	1	
$\omega_1 =$	0,9		
$\omega_2 =$	0,8		
$\omega_3 =$	0,7		
$\omega_4 =$	0,6		
$\omega_5 =$	0,5		
$\omega_6 =$	0,4		
		$\sum T_i^* =$	$\sum T = 3000$ ч

Определить $\sum T^*$ как сумму времени работы T_i^* на каждом участке и найти удельное время

$$T_{уд} = \frac{3000}{\sum T^*}. \quad (13.8)$$

В числителе уравнения (13.8) записано общее время работы $T_{раб}$ установки в году (3000 ч).

Время работы на любой скорости определяется следующим образом:

$$T_i = T_{уд} T_i^*. \quad (13.9)$$

Например, при угловой скорости ω_n имеем $\omega_n^* = 1,0$ (табл. 13.3).

При этой угловой скорости $T_n^* = 1$ (рис. 13.1), значит, $T_n = T_{уд} \cdot 1$.

Для угловой скорости $\omega_1^* = 0,9$ (табл. 13.3) $T_1^* = 0,97$ (рис. 13.1).

Следовательно, $T_n = T_{уд} T_1^*$ и т. д.

• к пункту 4 плана занятия. Расход электроэнергии при регулировании подачи насоса скоростью вращения определяется по уравнению

$$W_{пер\omega} = P_{1n} T_n + P_{11} T_1 + P_{12} T_2 + P_{13} T_3 + P_{14} T_4 + P_{15} T_5 + P_{16} T_6. \quad (13.10)$$

• к пункту 5 плана занятия. Используя рис. 13.2, установить P_1^* для каждой подачи. Ранее определено 7 подач (скоростей вращения, поскольку $\omega \equiv Q$). В относительных единицах они соответствуют значениям от $Q_n^* = 1$ до $Q_6^* = Q_n^* / D = 1/2,5 = 0,4$ (табл. 13.4).

Зависимость $P_1^* = f(Q)^*$ для случая регулирования подачи заслонкой представлена на рис. 13.2.

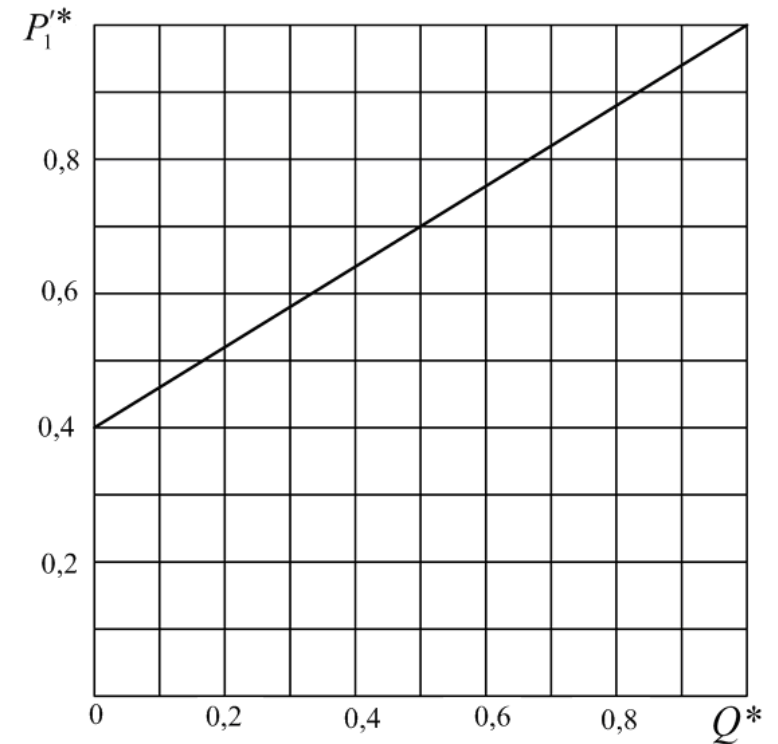


Рис. 13.2. Изменение потребляемой из сети мощности от подачи насоса при регулировании подачи задвижкой

Таблица 13.4

Определение потребляемой мощности при регулировании подачи задвижкой на трубопроводе

Подача Q^* , о.е.	Потребляемая мощность P_1^* , о.е.	Потребляемая мощность P_1' , кВт	Время работы T , ч
$Q_n^* = 1$	$P_{1n}^* = 1$		
$Q_1^* = 0,9$	$P_{11}^* =$		
$Q_2^* = 0,8$	$P_{12}^* =$		
$Q_3^* = 0,7$	$P_{13}^* =$		
$Q_4^* = 0,6$	$P_{14}^* =$		
$Q_5^* = 0,5$	$P_{15}^* =$		
$Q_6^* = 0,4$	$P_{16}^* =$		

Определение потребляемой мощности провести с записью по форме табл. 13.4.

В табл. 13.4 перевод P_1^* в именованные единицы производится по формуле

$$P_1 = P_1^* P_{1n}, \quad (13.11)$$

где P_{1n} соответствует потребляемой мощности в номинальном режиме работы, кВт (см. табл. 13.2).

Время работы (T , ч) в табл. 13.4 соответствует значениям четвертого столбца табл. 13.2.

• **к пункту 6 плана занятия.** Расход электроэнергии при регулировании подачи насоса задвижкой определяется по уравнению

$$W_{\text{рег.задв}} = P_{1n}' T_n + P_{11}' T_1 + P_{12}' T_2 + P_{13}' T_3 + P_{14}' T_4 + P_{15}' T_5 + P_{16}' T_6. \quad (13.12)$$

• **к пункту 7 плана занятия.** Экономия энергии составит, кВт·ч:

$$\Delta W = W_{\text{рег.задв}} - W_{\text{рег.}\omega}. \quad (13.13)$$

Экономия энергии составит, %:

$$\Delta W\% = \frac{\Delta W}{W_{\text{рег.задв}}} \cdot 100\%. \quad (13.14)$$

Контрольные вопросы:

1. Как изменяется момент вращения и мощность центробежного насоса от частоты вращения?
2. Где теряется энергия при регулировании подачи насоса задвижкой?
3. Как изменяется КПД насоса от подачи?

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЗАМЕНЕ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА С ДРОССЕЛИРОВАНИЕМ ПОТОКА НА РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ТРЕХСКОРОСТНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Цель занятия: освоить методику определения экономии электроэнергии от применения трехскоростного электродвигателя по сравнению с нерегулируемым электроприводом вентилятора.

Задача. Для заданного трехскоростного электродвигателя определить экономию электроэнергии при использовании его в приводе вентилятора по сравнению с односкоростным электродвигателем и регулированием подачи воздуха задвижкой.

Вопросы для самоподготовки:

1. Какие схемы соединения обмоток имеют трехскоростные электродвигатели?
2. Какое соотношение синхронных скоростей имеют двух-, трех- и четырехскоростные электродвигатели?

Литература:

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Энергосберегающие технологии электроснабжения народного хозяйства : практическое пособие. В 5 кн. / под ред. В. А. Веникова. Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожановский, А. О. Горнов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 127 с.
3. Регулируемые асинхронные электродвигатели в сельскохозяйственном производстве / под ред. Д. Н. Быстрицкого. – Москва : Энергия, 1975. – 399 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 14.1 по своему варианту данные трехскоростных электродвигателей и записать их по форме табл. 14.2.
2. Построить рабочие части механических характеристик трехскоростного электродвигателя.
3. Построить механическую характеристику вентилятора и определить потребляемую мощность при трех скоростях вращения электродвигателя.
4. Принять средний закон распределения времени работы вентилятора на трех скоростях. Определить время работы электродвигателя на каждой скорости, потребляемую энергию на каждой скорости вращения и суммарный расход энергии за год.
5. Определить потребляемую мощность при регулировании подачи воздуха задвижкой при каждой из трех подач, соответствующих скоростям вращения ω_1 , ω_2 и ω_3 трехскоростного электродвигателя.
6. Определить потребляемую электроэнергию за год при регулировании подачи воздуха задвижкой.
7. Определить экономию электроэнергии в кВт·ч и в % при регулировании подачи трехскоростным электродвигателем по сравнению с регулированием подачи воздуха задвижкой.

Методические указания:

- к пункту 1 плана занятия. Выписать из табл. 14.1 по своему варианту данные трехскоростных электродвигателей и записать их по форме табл. 14.2.

Таблица 14.1

Параметры трехскоростных электродвигателей

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Число полюсов	P_n , кВт	η_n , %	cosφ, о.е.	S_n , %	Сопротивление, о.е.		Момент инерции ротора $J_{р.д.}$, кг·м ²
							R_1^*	R_2^*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4A100S6/4/2Y3	6	1	69,0	0,6	3,2	0,11	0,066	0,0092
		4	1,1	66,0	0,76	2,2	0,26	0,061	
		2	1,5	67,0	0,90	3,0	0,13	0,088	
2	4A100L6/4/2Y3	6	1,4	69,0	0,62	3,1	0,10	0,062	0,012
		4	1,5	71,0	0,76	2,2	0,23	0,057	
		2	2,1	72	0,90	2,8	0,11	0,034	
3	4A112M6/4/2Y3	6	1,6	71,0	0,76	3,2	0,15	0,071	0,017
		4	2,2	76,0	0,84	5,5	0,20	0,110	
		2	2,8	71	0,90	4,4	0,11	0,052	

Продолжение табл. 14.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	4A132S6/4/2Y3	6	2,8	76,5	0,76	4,5	0,12	0,060	0,028
		4	3,6	79,5	0,85	3,4	0,16	0,070	
		2	4,2	71,5	0,90	3,7	0,082	0,045	
5	4A132M6/4/2Y3	6	3,8	78,5	0,76	4,2	0,093	0,056	0,040
		4	5,0	81,0	0,87	3,4	0,15	0,069	
		2	6,0	76,0	0,90	3,3	0,075	0,039	
6	4A160S6/4/2Y3	6	4,8	79,5	0,82	2,7	0,11	0,032	0,11
		4	5,3	81,0	0,85	1,5	0,15	0,032	
		2	7,5	76,0	0,92	2,5	0,9	0,028	
7	4A160M6/4/2Y3	6	6,7	85,1	0,80	2,7	0,10	0,033	0,14
		4	7,5	83,0	0,86	1,8	0,15	0,035	
		2	10,5	78,5	0,93	2,5	0,089	0,027	
8	4A100S8/4/2Y3	8	0,63	58,0	0,59	4,5	0,15	0,11	0,0092
		4	1,1	66,0	0,76	2,2	0,26	0,061	
		2	1,5	67,0	0,90	3,0	0,13	0,038	
9	4A100L8/4/2Y3	8	0,9	66,0	0,64	5,3	0,14	0,098	0,012
		4	1,5	71,0	0,76	2,2	0,22	0,057	
		2	2,1	72,0	0,90	2,8	0,11	0,034	
10	4A112M8/4/2Y3	8	1,1	65,0	0,68	6,4	0,17	0,11	0,017
		4	1,9	72,5	0,85	3,6	0,23	0,076	
		2	2,2	67,5	0,90	3,5	0,12	0,043	
11	4A132S8/4/2Y3	8	1,8	70,0	0,65	4,5	0,097	0,066	0,028
		4	3,0	77,5	0,82	2,0	0,170	0,045	
		2	3,6	69,0	0,87	1,3	0,095	0,018	
12	4A132M8/4/2Y3	8	2,4	72,5	0,66	4,5	0,11	0,075	0,040
		4	4,5	79,5	0,82	2,1	0,15	0,044	
		2	5,0	71,5	0,87	1,2	0,076	0,016	
13	4A160S8/4/2Y3	8	3,8	76,0	0,72	3,3	0,12	0,051	0,11
		4	4,25	81,5	0,84	1,8	0,15	0,028	
		2	6,3	76,5	0,93	2,3	0,093	0,025	
14	4A160M8/4/2Y3	8	5,0	78,0	0,71	3,6	0,12	0,047	0,14
		4	7,1	84,5	0,87	1,4	0,14	0,034	
		2	9,5	80,5	0,93	2,4	0,082	0,026	
15	4A100S8/6/4Y3	8	0,75	59,0	0,62	3,7	0,30	0,014	0,012
		6	0,9	65,0	0,71	3,1	0,17	0,053	
		4	1,3	69,0	0,82	5,3	0,16	0,066	
16	4A100L8/6/4Y3	8	0,9	61,0	0,63	3,5	0,28	0,13	0,015
		6	1,2	68,0	0,71	3,0	0,15	0,05	
		4	1,7	71,0	0,83	4,9	0,15	0,06	

Окончание табл. 14.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	4A112MA8/6/4Y3	8	1,1	65,0	0,69	6,4	0,20	0,079	0,017
		6	1,0	62,0	0,77	5,3	0,30	0,088	
		4	1,5	72,0	0,89	6,8	0,14	0,076	
18	4A112MB8/6/4Y3	8	1,4	63,5	0,69	6,3	0,18	0,076	0,021
		6	1,2	68,5	0,77	5,2	0,49	0,31	
		4	2,1	71,0	0,89	7,8	0,15	0,083	
19	4A132S8/6/4Y3	8	1,9	69,5	0,72	5,3	0,15	0,049	0,04
		6	2,2	73,5	0,77	3,8	0,29	0,014	
		4	3,2	74,0	0,90	6,8	0,15	0,069	
20	4A132M8/6/4Y3	8	2,6	72,5	0,72	4,5	0,13	0,047	0,058
		6	2,8	75,0	0,78	3,3	0,21	0,11	
		4	4,5	77,5	0,90	5,4	0,12	0,057	
21	4A160S8/6/4Y3	8	4,0	74,5	0,63	1,3	0,20	0,042	0,15
		6	4,5	76,0	0,75	1,1	0,12	0,016	
		4	7,5	80,5	0,90	1,8	0,10	0,019	
22	4A160M8/6/4Y3	8	5,0	76,5	0,62	1,3	0,18	0,041	0,2
		6	6,3	77,0	0,73	1,0	0,12	0,015	
		4	10,0	82,0	0,90	1,7	0,10	0,017	
23	4A180M8/6/4Y3	8	8,0	78,0	0,73	1,4	0,16	0,035	0,28
		6	10,0	83,5	0,81	1,2	0,075	0,015	
		4	12,5	83,5	0,92	1,6	0,079	0,018	
24	4A200M8/6/4Y3	8	11	82,0	0,69	1,5	0,14	0,018	0,52
		6	12	82,5	0,79	1,1	0,086	0,014	
		4	18,5	85,0	0,91	1,6	0,076	0,017	
25	4A200L8/6/4Y3	8	14,0	83,0	0,70	1,5	0,14	0,038	0,58
		6	15,0	85,5	0,81	1,2	0,076	0,014	
		4	21,0	85,5	0,92	1,4	0,066	0,015	
26	4A225M8/6/4Y3	8	17,0	86,0	0,76	1,4	0,12	0,032	0,93
		6	18,5	86,0	0,81	1,2	0,079	0,014	
		4	25,0	86,5	0,92	1,4	0,063	0,015	
27	4A250S8/6/4Y3	8	20,0	88,0	0,77	1,1	0,097	0,024	1,7
		6	22,0	85,5	0,75	0,6	0,053	0,008	
		4	30,0	87,0	0,92	1,1	0,053	0,012	
28	4A250M8/6/4Y3	8	25,0	86,5	0,71	0,9	0,096	0,022	1,9
		6	28,0	87,5	0,82	0,8	0,054	0,010	
		4	37,0	86,5	0,90	0,9	0,049	0,010	

Таблица 14.2

Данные электродвигателя

Вариант	Тип электродвигателя	Число полюсов	P_n , кВт	η_n , %	cosφ, о.е.	S_n , %	Вычислено		
							ω_0 , рад/с	ω_n , рад/с	M_n , Н·м

• к пункту 2 плана занятия. Трехскоростной электродвигатель имеет три механические характеристики.

Рабочая часть механической характеристики электродвигателя строится в виде прямой линии по двум точкам:

1-я точка имеет координаты $\omega = \omega_0 = 0,1045n_0$ при $M = 0$; где n_0 – синхронная частота вращения электромагнитного поля электродвигателя, мин^{-1} ; M – момент электродвигателя, Н·м;

Синхронную частоту вращения электромагнитного поля электродвигателя определить по числу полюсов электродвигателя, записанных в его типоразмере (табл. 14.1, цифры 2, 4, 6, 8, соответствующие синхронным частотам вращения 3000, 1500, 1000, 750 мин^{-1}).

2-я точка имеет координаты $\omega = \omega_n$ при $M = M_n$:

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_n), \quad (14.1)$$

где S_n – номинальное скольжение ротора электродвигателя, о. е.

Номинальный момент (Н·м) определяется по уравнению

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (14.2)$$

где P_n – номинальная мощность электродвигателя, Вт.

Значения синхронных скоростей ω_0 , номинальных скоростей ω_n и номинальных моментов M_n записать в табл. 14.2.

Построение механических характеристик выполнить на рисунке размером не менее 150×150 мм.

• к пункту 3 плана занятия. Принять, что механическая характеристика вентилятора при наибольшей номинальной скорости вращения ω_n проходит через точку номинального момента, т. е. $M_{с.н} = M_n$. Тогда при других, меньших скоростях вращения, момент на валу вентилятора определяется по формуле

$$M_{ci} = M_{с.н} \left(\frac{\omega_i}{\omega_n} \right)^2. \quad (14.1)$$

Вычислить момент для 5 точек механической характеристики вентилятора (пятая скорость должна соответствовать наименьшей номинальной скорости трехскоростного электродвигателя).

Построить механическую характеристику вентилятора $\omega = f(M_c)$ на одном графике с тремя механическими характеристиками $\omega = f(M)$ электродвигателя.

Таблица 14.3

Данные к расчету механической характеристики вентилятора

Угловая скорость ω , рад/с	$\frac{\omega}{\omega_n}$	$\left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2$	M_c по (14.1), Н·м
$\omega_n =$	1	1	$M_{с.н} =$
$\omega_1 =$	0,66	0,4356	
$\omega_2 =$	0,49	0,2401	
$\omega_3 =$	0,32	0,1024	
$\omega_4 =$	0,25	0,0625	

Найти 2 точки пересечения механической характеристики вентилятора с 2 механическими характеристиками электродвигателя. Записать координаты этих точек (угловую скорость ω_{2c} , ω_{3c} и моменты M_{2c} , M_{3c}) в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Данные к расчету потребляемой мощности вентилятора на 3 скоростях вращения

Угловая скорость трехскоростного электродвигателя при работе с вентилятором ω , рад/с	M_{2i} , Н·м	P_{2i} , кВт	$K_{нар}$, о.е.	η_i , о.е.	P_{1i} , кВт
Высшая $\omega_n =$	$M_{с.н} =$	$P_n =$	1		$P_{1n} =$
Средняя $\omega_{2c} =$	$M_{2c} =$				
Низшая $\omega_{3c} =$	$M_{3c} =$				

Вычислить для точек пересечения характеристик (табл. 14.4) значения мощности (кВт) на валу вентилятора по формуле

$$P_{2i} = M_i \omega_i 10^{-3}. \quad (14.2)$$

Вычислить коэффициент нагрузки электродвигателя для точек пересечения характеристик по формуле

$$K_{\text{наг}} = P_{2i} / P_{\text{н}i}, \quad (14.3)$$

где $P_{\text{н}i}$ – номинальная мощность электродвигателя на i -й характеристике, кВт. Трехскоростной электродвигатель имеет три номинальных значения мощности.

Вычислить КПД электродвигателя, работающего при высшей, средней и низшей скоростях вращения (табл. 14.4), по формуле

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) \cdot \frac{(\alpha / K_{\text{наг}}) + K_{\text{наг}}}{1 + \alpha}}, \quad (14.4)$$

где $\eta_{\text{н}}$ – номинальный КПД электродвигателя, соответствует $K_{\text{наг}} = 1$ на каждой характеристике; трехскоростной электродвигатель имеет три номинальных значения КПД;

α – коэффициент потерь; $\alpha \approx 0,5-0,7$; принять $\alpha = 0,6$;

$K_{\text{наг}}$ – коэффициент нагрузки электродвигателя.

Вычислить потребляемую из сети мощность для трех скоростей вращения (табл. 14.4) по формуле

$$P_{1i} = \frac{P_{2i}}{\eta_i}. \quad (14.5)$$

• **к пункту 4 плана занятия.** Пользуясь рис. 14.1 и кривой Б, определить время работы T_i^* на каждой из 3 ранее определенных скоростей вращения, записанных в табл. 14.4 (в относительных единицах). Время работы T_i^* записать по форме табл. 14.5.

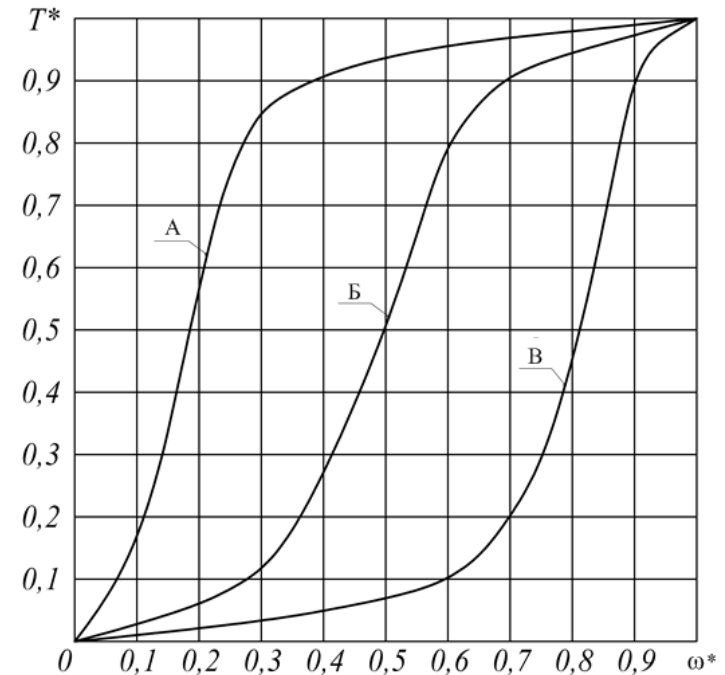


Рис. 14.1. Распределение времени работы рабочей машины в интервале регулирования скорости вращения:
 А – с преобладанием времени на низших скоростях вращения;
 Б – со средним временем работы на нижних и высоких скоростях вращения;
 В – с преобладанием времени работы на высоких скоростях вращения

Таблица 14.5

Определение времени работы установки на каждой ступени угловой скорости вращения

Угловая скорость ω , рад/с	Угловая скорость ω^* , о. е.	Время T_i^* , о. е.	Время T , ч
$\omega_{\text{н}} =$	1	1	
$\omega_{2\text{с}} =$			
$\omega_{3\text{с}} =$			
$\sum T_i^* =$			$\sum T = 4000$ ч

Определить $\sum T^*$ как сумму времени работы T_i^* на каждом участке и найти удельное время

$$T_{\text{уд}} = \frac{4000}{\sum T^*}. \quad (14.6)$$

В числителе уравнения (14.6) записано общее время работы $T_{\text{раб}}$ установки в году (4000 ч).

В табл. 14.5 относительные значения угловой скорости найти по уравнениям $\omega_{2c}^* = \omega_{2c} / \omega_n$, $\omega_{3c}^* = \omega_{3c} / \omega_n$.

Время работы на любой скорости определяется следующим образом:

$$T_i = T_{\text{уд}} T_i^*. \quad (14.7)$$

Например, при угловой скорости ω_n $\omega_n^* = 1,0$ (табл. 14.5). При этой угловой скорости $T_n^* = 1$ (рис. 14.1), значит, $T_n = T_{\text{уд}} \cdot 1$. Для угловой скорости $\omega^* = \omega_{2c}^*$ (табл. 14.5) по рис. 14.1 найти значение T_{2c}^* . Следовательно, $T_{2c} = T_{\text{уд}} T_{2c}^*$ и т. д.

После определения времени работы на каждой скорости и потребляемой мощности на каждой скорости по формуле (14.2) найти расход электроэнергии

$$W_{\omega} = P_{1н} T_1 + P_{12с} T_{2с} + P_{13с} T_{3с} P_1 \quad (14.8)$$

где $P_{1н}, P_{12с}, P_{13с}$ – потребляемая мощность соответственно на высшей (первой), средней (второй) и низшей (третьей) скоростях вращения, кВт;

$T_1, T_{2с}, T_{3с}$ – время работы электродвигателя соответственно на высшей (первой), средней (второй) и низшей (третьей) скоростях вращения, ч.

• **к пункту 5 плана занятия.** На рис. 14.2 показано потребление мощности в относительных единицах при изменении подачи в относительных единицах, если регулировать подачу задвижкой на трубопроводе при односкоростном электродвигателе. Принять

$Q_1^* = 1$, что соответствует Q_n на высшей скорости ω_1^* . Другие подачи соответствуют скоростям $Q_2^* = \omega_{2с}^*$ и $Q_3^* = \omega_{3с}^*$.

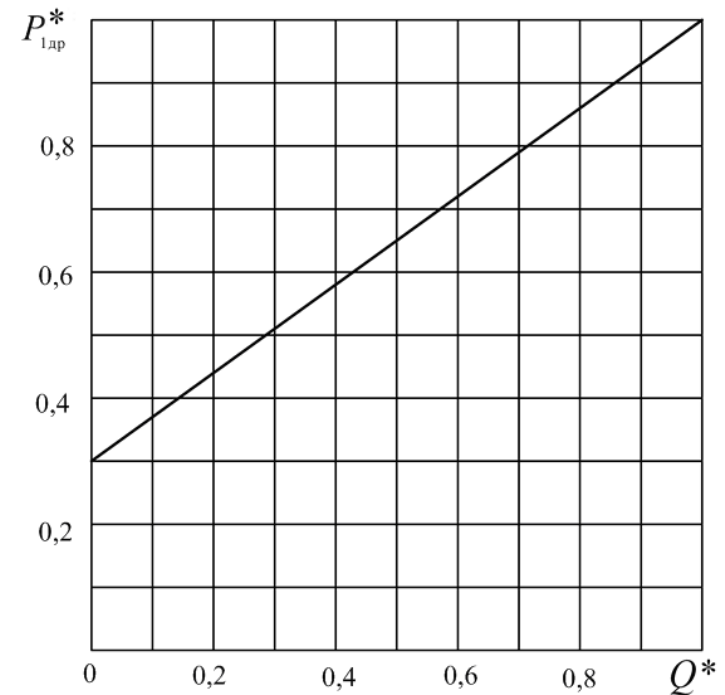


Рис. 14.2. Изменение потребляемой мощности от производительности вентилятора при регулировании подачи задвижкой на трубопроводе

Перевод относительных единиц мощности в именованные выполнить по следующим формулам:

$$\begin{aligned} P_{1др1} &= P_{1др1}^* P_{1н}; \\ P_{1др2} &= P_{1др2}^* P_{1н}; \\ P_{1др3} &= P_{1др3}^* P_{1н}, \end{aligned} \quad (14.9)$$

где $P_{1н}$ – потребляемая мощность на высшей скорости (подаче), кВт. Результаты вычислений записать в табл. 14.6.

Таблица 14.6

Данные к расчету потребляемой мощности вентилятора при регулировании подачи задвижкой на трубопроводе

Подача воздуха при дросселировании задвижкой	Потребляемая мощность (по рис. 14.2) $P_{1др i}^*$, о.е.	Потребляемая мощность $P_{1др i}$, кВт
Высшая $Q_1^* = 1$	1	$P_{1др1}$
Средняя $Q_2^* = \omega_{2с}^* =$		
Низшая $Q_3^* = \omega_{3с}^* =$		

• к пункту 6 плана занятия. Определить потребляемую энергию $W_{др}$ при регулировании подачи вентилятора задвижкой на трубопроводе по формуле

$$W_{др} = P_{1др1} T_1 + P_{1др2} T_{2с} + P_{1др3} T_{3с}, \quad (14.10)$$

где $P_{1др1}, P_{1др2}, P_{1др3}$ – потребляемая мощность соответственно на высшей (первой), средней (второй) и низшей (третьей) подачах, кВт;

$T_1, T_{2с}, T_{3с}$ – время работы электродвигателя соответственно на высшей (первой), средней (второй) и низшей (третьей) подачах, ч.

• к пункту 7 плана занятия. Экономия электроэнергии, кВт ч:

$$\Delta W = W_{др} - W_{\omega}. \quad (14.11)$$

Экономия электроэнергии, %:

$$\Delta W \% = \frac{\Delta W}{W_{др}} \cdot 100 \%. \quad (14.12)$$

Контрольные вопросы:

1. Как изменяется номинальная мощность и момент двухскоростного электродвигателя при переключении числа полюсов?
2. Какие схемы соединения обмоток встречаются в двухскоростном электродвигателе?
3. Сколько электромагнитных пускателей нужно для реализации схемы переключения обмоток трехскоростного электродвигателя?

Практическое занятие № 15

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТЕРА

Цель занятия: освоить методику определения экономии электроэнергии от регулирования скорости транспортеров в сравнении с нерегулируемым приводом.

Задача. Для электродвигателя своего варианта определить экономию электроэнергии от регулирования скорости транспортеров в сравнении с нерегулируемым приводом. В регулируемом приводе используется преобразователь частоты.

Вопросы для самоподготовки:

1. Какие транспортеры имеют механическую характеристику с постоянным моментом сопротивления от скорости?
2. От чего зависит эффект энергосбережения для транспортеров?

Литература:

1. Фоменков, А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий : учебник / А. П. Фоменков. – Москва : Колос, 1984. – 288 с.
2. Энергосберегающие технологии электроснабжения народного хозяйства : практическое пособие. В 5 кн. / под ред. В. А. Веникова. Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожановский, А. О. Горнов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 127 с.

План занятия:

1. Записать исходные данные по вариантам из табл. 15.1.
2. Определить момент холостого хода транспортера в относительных единицах.
3. Построить зависимости $P_1^* = f_1(Q)$ для нерегулируемого и регулируемого приводов транспортера.

4. Определить потребляемые мощности при всех заданных производительностях для регулируемого и нерегулируемого электроприводов.

5. Определить время работы транспортера на каждой производительности. Принять средний закон распределения скорости в диапазоне регулирования.

6. Определить экономию электроэнергии при регулировании скорости транспортера в сравнении с нерегулируемым приводом.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Записать исходные данные по вариантам из табл. 15.1.

Таблица 15.1

Исходные данные							
Вариант	Номинальная мощность электродвигателя P_n , кВт	Номинальный КПД электродвигателя $\eta_{дв}$, %	Усилие транспортера при холостом ходе $F_{х.х}/F_{ном}$, о.е.	Номинальный КПД редуктора $\eta_{р.н}$, о.е.	Снижение производительности транспортера по отношению к номинальной производительности на величину подачи		
					ΔQ_2^*	ΔQ_3^*	ΔQ_4^*
1	2	3	4	5	6	7	8
1	11	87	0,20	0,9	0,1	0,2	0,5
2	15	88	0,25	0,9	0,1	0,2	0,6
3	18,5	88,5	0,30	0,9	0,1	0,2	0,7
4	22	88,5	0,35	0,9	0,1	0,3	0,5
5	30	90,5	0,40	0,9	0,1	0,3	0,6
6	37	90	0,45	0,9	0,1	0,3	0,7
7	45	91	0,5	0,9	0,1	0,2	0,5
8	55	91	0,55	0,9	0,1	0,4	0,5
9	75	91	0,6	0,9	0,1	0,4	0,6
10	90	92	0,20	0,9	0,1	0,4	0,7
11	11	87,5	0,25	0,85	0,2	0,3	0,4
12	15	88,5	0,30	0,85	0,2	0,3	0,5
13	18,5	89,5	0,35	0,85	0,2	0,3	0,6
14	22	90	0,40	0,85	0,2	0,3	0,7
15	30	91	0,45	0,85	0,2	0,4	0,5
16	37	91	0,5	0,85	0,2	0,4	0,6
17	45	92	0,55	0,85	0,2	0,4	0,7
18	55	92,5	0,6	0,85	0,2	0,3	0,5
19	75	93	0,20	0,85	0,2	0,3	0,5
20	90	93	0,25	0,85	0,2	0,3	0,5

Окончание табл. 15.1

1	2	3	4	5	6	7	8
21	11	86	0,30	0,8	0,3	0,4	0,5
22	15	87,5	0,35	0,8	0,3	0,4	0,6
23	18,5	88	0,40	0,8	0,3	0,4	0,7
24	22	90	0,45	0,8	0,3	0,5	0,6
25	30	90,5	0,5	0,8	0,3	0,5	0,7
26	37	91	0,55	0,8	0,3	0,6	0,7
27	45	91,5	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6
28	55	91,5	0,20	0,8	0,1	0,3	0,5
29	75	92	0,25	0,8	0,3	0,5	0,7
30	90	93	0,30	0,8	0,1	0,3	0,6

Данные электродвигателя (по варианту) записать по форме табл. 15.2.

Таблица 15.2

Исходные данные по варианту							
Вариант	Мощность электродвигателя P_n , кВт	Номинальный КПД электродвигателя $\eta_{дв}$, %	Усилие транспортера при холостом ходе $F_{х.х}/F_{ном}$, о.е.	Номинальный КПД редуктора $\eta_{р.н}$, о.е.	Снижение производительности транспортера по отношению к номинальной производительности на величину подачи		
					ΔQ_2^*	ΔQ_3^*	ΔQ_4^*

• к пункту 2 плана занятия. Момент холостого хода транспортера при постоянной скорости транспортера в относительных единицах определяется по формуле

$$M_{х.х}^* = \frac{F_{х.х}}{F_{ном}} \cdot \frac{\eta_{р.н}}{\eta_{р.х.х}}, \quad (15.1)$$

где $\eta_{р.х.х}$ – КПД редуктора при холостом ходе; определяется по рис. 15.1 при моменте на валу $\frac{M_{пол}}{M_{пол.н}} \equiv \frac{F_{х.х}}{F_{ном}}$ и кривой, соответствующей $\eta_{р.н}$. Например, если $F_{х.х}/F_{ном} = 0,2$ и $\eta_{р.н} = 0,9$, то на линии $\eta_{р.н} = 0,9$ находим $\eta_{р.х.х} = 0,68$. Тогда $M_{х.х}^* = 0,2 \frac{0,9}{0,68} = 0,264$.

• к пункту 3 плана занятия. Построить зависимости мощности на валу от производительности транспортера $P^* = f_1(Q)$, как показано на рис. 15.2 (масштаб: 1 см = 0,1 о.е.).

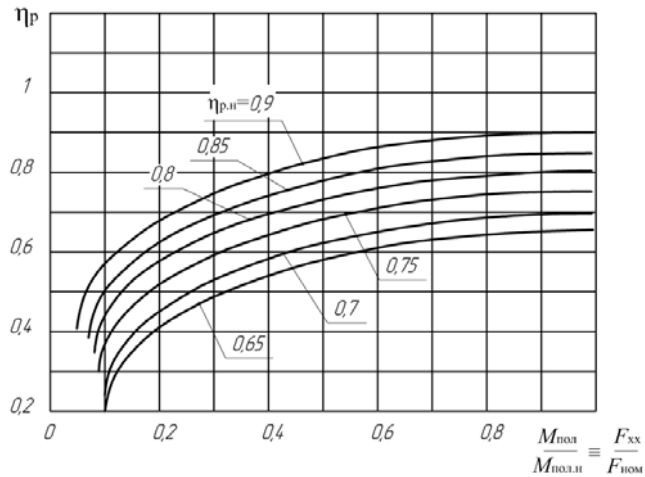


Рис. 15.1. Изменение КПД редукторов с зубчатыми передачами от нагрузки

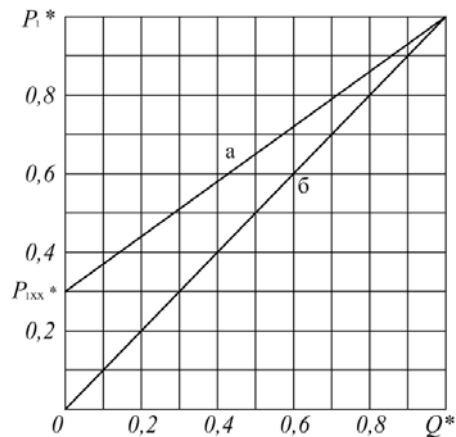


Рис. 15.2. Зависимость мощности на валу транспортера от производительности при нерегулируемом (а) и регулируемом (б) приводах

Зависимость $P^* = f_1(Q^*)$ для нерегулируемого привода строится по двум точкам: 1-я точка: $Q^* = 1$ при $P^* = 1$; 2-я точка: $P^* = P_{х.х}^*$ при $Q^* = 0$.

Зависимость $P^* = f_2(Q^*)$ для регулируемого привода строится по точкам: 1-я точка: $Q^* = 1$ и $P^* = 1$; 2-я точка: $P^* = 0$ и $Q^* = 0$.

• к пункту 4 плана занятия. Скорость транспортера при регулировании (в относительных единицах) пропорциональна производительности транспортера. Найти производительности, для которых требуется определить мощность на валу транспортера, по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \omega_1^* &= Q_1^* = 1; \\ \omega_2^* &= Q_2^* = 1 - \Delta Q_2^*; \\ \omega_3^* &= Q_3^* = 1 - \Delta Q_3^*; \\ \omega_4^* &= Q_4^* = 1 - \Delta Q_4^*. \end{aligned} \quad (15.4)$$

• к пункту 5 плана занятия. Пользуясь построенной зависимостью $P^* = f(Q)$, рис. 15.2 (линия б), определить мощность на валу регулируемого электропривода транспортера (в относительных единицах, $P_{\omega 2}^*$, $P_{\omega 3}^*$, $P_{\omega 4}^*$, $P_{\omega 1}^*$, $P_{\omega 2}^*$, $P_{\omega 3}^*$, $P_{\omega 4}^*$) для значений производительности, найденных по формуле (15.4). Результаты поиска записать по форме табл. 15.3.

Таблица 15.3

Данные к расчету потребляемой мощности электродвигателя регулируемого транспортера

Производительность транспортера	Мощность на валу транспортера при регулировании скорости вращения $P_{\omega i}^*$, о. е.	Мощность на валу транспортера при регулировании скорости вращения $P_{\omega i}$, кВт	Потребляемая мощность при регулировании скорости вращения $P_{1\omega i}$, кВт
$Q_1^* = 1$	$P_{\omega 1}^* = 1$	$P_n =$	$P_{1n} =$
$Q_2^* =$	$P_{\omega 2}^* =$		
$Q_3^* =$	$P_{\omega 3}^* =$		
$Q_4^* =$	$P_{\omega 4}^* =$		

Перевести мощность, определенную в относительных единицах для регулируемого электропривода транспортера (табл. 15.3), в именованные единицы (кВт) по формуле

$$P_{\omega i} = P_{\omega i}^* P_n, \quad (15.5)$$

где P_n – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Потребляемая из сети мощность при регулировании скорости вращения транспортера (четвертый столбец табл. 15.3) определяется по формуле

$$P_{\text{loi}} = \frac{P_{\text{oi}}}{\eta_{\text{н}}}, \quad (15.6)$$

где $\eta_{\text{н}}$ – номинальный КПД электродвигателя, о.е. Значение КПД определить по табл. 13.1 для коэффициента нагрузки 1,00. При регулировании скорости вращения с помощью преобразователя частоты КПД электродвигателя изменяется несущественно, поэтому для всех значений производительности считать его постоянным.

Пользуясь построенной зависимостью $P^* = f(Q)$, рис. 15.2 (линия а), определить мощность на валу нерегулируемого электропривода транспортера (в относительных единицах $P_1^*, P_2^*, P_3^*, P_4^*$) для значений производительности, найденных по формуле (15.4). Результаты поиска записать по форме табл. 15.4.

Таблица 15.4

Данные к расчету потребляемой мощности электродвигателя нерегулируемого транспортера

Производительность транспортера	Мощность на валу нерегулируемого транспортера P_i^* , о.е.	P_i , кВт	$K_{\text{наг}}$, о.е.	η_i , о.е.	Потребляемая мощность нерегулируемого транспортера P_{li} , кВт
$Q_1^* = 1$	$P_1^* = 1$	$P_{\text{н}} =$	1	$\eta_{\text{н}} =$	$P_{\text{н}} =$
$Q_2^* =$	$P_2^* =$	$P_2 =$			
$Q_3^* =$	$P_3^* =$	$P_3 =$			
$Q_4^* =$	$P_4^* =$	$P_4 =$			

Вычислить коэффициент нагрузки (электродвигателя нерегулируемого транспортера) по формуле

$$K_{\text{наг}} = P_i / P_{\text{н}}, \quad (15.7)$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Вычислить КПД электродвигателя нерегулируемого транспортера мощности на валу P_2, P_3, P_4 (табл. 15.4) по формуле

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) \cdot \frac{(\alpha / K_{\text{наг}}) + K_{\text{наг}}}{1 + \alpha}}, \quad (15.8)$$

где $\eta_{\text{н}}$ – номинальный КПД электродвигателя, соответствует $K_{\text{наг}} = 1,0$;
 α – коэффициент потерь; $\alpha \approx 0,5-0,7$; принять $\alpha = 0,6$;
 $K_{\text{наг}}$ – коэффициент нагрузки электродвигателя, о. е.

Вычислить потребляемую электродвигателем из сети мощность для нагрузок на валу P_2, P_3, P_4 (табл. 15.4) по формуле

$$P_{\text{li}} = \frac{P_i}{\eta_i}. \quad (15.9)$$

• к пункту 6 плана занятия. Принять время работы транспортера в году равной 4000 ч.

Пользуясь рис. 15.3 и кривой Б, определить время работы T_i^* на каждой из 4 ранее определенных производительностей, записанных в табл. 15.3 и табл. 15.4 (в относительных единицах). Время работы T_i^* записать по форме табл. 15.5.

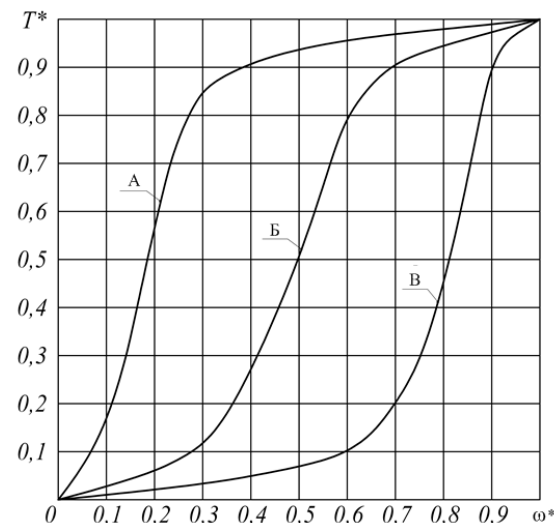


Рис. 15.3. Распределение времени работы рабочей машины в интервале регулирования скорости вращения:

А – с преобладанием времени на низших скоростях вращения;
 Б – со средним временем работы на нижних и высоких скоростях вращения;
 В – с преобладанием времени работы на высоких скоростях вращения

Таблица 15.5

Определение времени работы установки
на каждой ступени производительности транспортера

Производительность транспортера	Время T_i^* , о. е.	Время T_i , ч
$Q_1^* = 1$	1	
$Q_2^* =$		
$Q_3^* =$		
$Q_4^* =$		
	$\sum T_i^* =$	$\sum T = 4000$

$\sum T^*$ определить как сумму времени работы T_i^* на каждом участке и найти удельное время

$$T_{\text{уд}} = \frac{4000}{\sum T^*}. \quad (15.10)$$

В числителе уравнения (15.10) записано общее время работы $T_{\text{раб}}$ установки в году (4000 ч).

Время работы с любой производительностью определяется следующим образом:

$$T_i = T_{\text{уд}} T_i^*. \quad (15.11)$$

• к пункту 7 плана занятия

Расход энергии в нерегулируемом электроприводе транспортера:

$$W_{\text{нр}} = P_{1н} T_1 + P_{12} T_2 + P_{13} T_3 + P_{14} T_4. \quad (15.12)$$

Расход энергии в регулируемом электроприводе транспортера:

$$W_{\omega} = P_{1н} T_1 + P_{1\omega 2} T_2 + P_{1\omega 3} T_3 + P_{1\omega 4} T_4. \quad (15.13)$$

Экономия электроэнергии, кВт·ч:

$$\Delta W = W_{\text{нр}} - W_{\omega}. \quad (15.14)$$

Экономия электроэнергии, %:

$$\Delta W = \frac{\Delta W}{W_{\text{нр}}} \cdot 100 \%. \quad (15.15)$$

Контрольные вопросы:

1. Как изменяется КПД редуктора и электродвигателя от нагрузки на валу? Постройте кривые изменения этих величин.

2. Постройте графические зависимости, показывающие изменение потребляемой мощности регулируемого и нерегулируемого электроприводов от производительности транспортера.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Цель занятия: освоить методику расчета потерь при переходных процессах в электроприводе с возможностью энергосбережения.

Задачи:

1. Для односкоростного электродвигателя определить энерго-сберегающий способ торможения при следующих условиях:

– разбег и торможение противовключением электродвигателя осуществляются вхолостую, без нагрузки на валу;

– приведенный момент инерции на валу электродвигателя составляет $4J_{р.д.}$;

– динамическое торможение осуществляется постоянным током, превышающим номинальный ток электродвигателя в 2 раза.

2. Для трехскоростного электродвигателя определить энергосберегающие условия пуска при следующих условиях:

– разбег осуществляется вхолостую, без нагрузки на валу;

– приведенный момент инерции на валу электродвигателя составляет $4J_{р.д.}$

Вопросы для самоподготовки:

1. Что понимают под переходными процессами в электроприводе?

2. Какие виды электрического торможения вам известны?

Литература:

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

2. Энергосберегающие технологии электроснабжения народного хозяйства : практическое пособие. В 5 кн. / под ред. В. А. Веникова. Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский,

Ю. В. Рожановский, А. О. Горнов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 127 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные по своему варианту из табл. 16.1.

2. Определить потери энергии при пуске асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при отсутствии нагрузки на валу.

3. Определить потери энергии при торможении противовключением асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

4. Определить потери энергии при динамическом торможении асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

5. Выписать из табл. 14.1 параметры трехскоростного электродвигателя по своему варианту.

6. Определить потери энергии при прямом пуске трехскоростного электродвигателя на высшую скорость.

7. Определить потери энергии при ступенчатом пуске трехскоростного электродвигателя на высшую скорость.

8. Определить эффект энергосбережения при ступенчатом пуске трехскоростного электродвигателя на высшую скорость.

Методические указания:

• **к пункту 1 плана занятия.** Выписать параметры электродвигателя из табл. 16.1 в табл. 16.2.

Таблица 16.1

Исходные данные

Вариант	Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{н.}$, кВт	Момент инерции ротора электродвигателя $J_{р.д.}$, кг·м ²	Приведенное сопротивление фазы обмотки, о.е.		Приведенное главное индуктивное сопротивление X_{μ}^* , о.е.	Приведенное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора X_2^* , о.е.
				статора R_1^*	ротора R_2^*		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4A132M2Y3	11	0,023	0,040	0,025	4,2	0,12
2	4A160S2Y3	15	0,048	0,052	0,022	4,0	0,12
3	4A160M2Y3	18,5	0,053	0,049	0,022	4,5	0,12
4	4A180S2Y3	22	0,070	0,039	0,020	3,6	0,11
5	4A180M2Y3	30	0,085	0,030	0,018	3,8	0,11
6	4A200M2Y3	37	0,150	0,029	0,021	4,1	0,12
7	4A200L2Y3	45	0,170	0,027	0,002	4,9	0,13
8	4A225M2Y3	55	0,250	0,026	0,019	5,6	0,12

Окончание табл. 16.1

1	2	3	4	5	6	7	8
9	4A250S2Y3	75	0,470	0,021	0,015	4,8	0,13
10	4A250M2Y3	90	0,520	0,020	0,016	5,2	0,13
11	4AB2M4Y3	11	0,040	0,043	0,032	3,2	0,13
12	4A160S4Y3	15	0,100	0,047	0,025	4,0	0,13
13	4A160M4Y3	18,5	0,130	0,042	0,024	4,3	0,13
14	4A180S4Y3	22	0,190	0,041	0,021	4,0	0,12
15	4A180M4Y3	30	0,230	0,034	0,018	3,9	0,12
16	4A200M4Y3	37	0,370	0,039	0,018	4,4	0,14
17	4A200L4Y3	45	0,450	0,034	0,017	4,6	0,14
18	4A225M4Y3	55	0,640	0,027	0,015	4,2	0,14
19	4A250S4Y3	75	1,000	0,025	0,014	4,4	0,11
20	4A250M4Y3	90	1,200	0,024	0,014	5,0	0,12
21	4A160S6Y3	11	0,140	0,073	0,030	3,0	0,15
22	4A160M6Y3	15	0,180	0,062	0,028	3,0	0,16
23	4A180M6Y3	18,5	0,220	0,056	0,026	2,9	0,13
24	4A200M6Y3	22	0,400	0,050	0,024	4,1	0,14
25	4A200L6Y3	30	0,450	0,046	0,022	3,7	0,13
26	4A225M6Y3	37	0,740	0,042	0,019	3,7	0,13
27	4A250S6Y3	45	1,200	0,037	0,015	3,8	0,14
28	4A250M6Y3	55	1,300	0,034	0,014	3,4	0,13
29	4A280S6Y3	75	2,900	0,032	0,021	3,7	0,13
30	4A280M6Y3	90	3,4	0,030	0,019	3,5	0,12

Таблица 16.2

Исходные данные по варианту

Вариант	Типоразмер электродвигателя	P_n , кВт	$J_{р.д.}$, кг·м ²	R_1^{r*} , о. е.	R_2^{r*} , о. е.	X_{μ}^{r*} , о. е.	X_2^{r*} , о. е.

• к пункту 2 плана занятия. Потери энергии при пуске асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при отсутствии момента сопротивления на валу электродвигателя (пуск вхолостую) определяются выражением, Дж:

$$\Delta W_{\pi} = \frac{J_{\text{пр}} \omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{R_1^{r*}}{R_2^{r*}} \right), \quad (16.1)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный момент инерции, кг·м²; $J_{\text{пр}} = 4J_{р.д.}$;

ω_0 – угловая синхронная скорость электромагнитного поля, рад/с; при 2 полюсах $\omega_0 = 314$ рад/с; при 4 полюсах $\omega_0 = 157$ рад/с; при 6 полюсах $\omega_0 = 104,66$ рад/с;

R_1^{r*}, R_2^{r*} – приведенные сопротивления фазы обмотки статора и ротора, о.е. (табл. 16.1).

• к пункту 3 плана занятия. Потери энергии при торможении противовключением:

$$\Delta W_{\text{т.пр}} = 3\Delta W_{\pi}. \quad (16.2)$$

• к пункту 4 плана занятия. Потери энергии при динамическом торможении:

$$\Delta W_{\text{д.т}} = \Delta W_c + \Delta W_k, \quad (16.3)$$

где ΔW_c – потери энергии в обмотке статора при протекании постоянного тока возбуждения, Дж;

ΔW_k – кинетическая энергия вращающегося ротора, Дж:

$$\Delta W_k = \frac{J_{\text{пр}} \omega_0^2}{2}. \quad (16.4)$$

Потери энергии в обмотке статора при протекании постоянного тока возбуждения по двум обмоткам статора определяются выражением

$$\Delta W_c = I_B^2 2R_1 t_{\text{д.т}}, \quad (16.5)$$

где I_B – постоянный ток при динамическом торможении, А; принять

$I_B = 2I_{1н}$, где $I_{1н}$ – номинальный ток электродвигателя, А;

R_1 – сопротивление обмотки статора электродвигателя, Ом; значение сопротивления обмотки статора R_1^{r*} (о. е.) (табл. 16.1), пересчитать по формуле (16.11) в именованные единицы (Ом);

$t_{\text{д.т}}$ – время динамического торможения электродвигателя, с.

Время динамического торможения определить по формуле

$$t_{\text{д.т}} = T_m \left(1,5S_{\text{к.д.т}} + \frac{1}{4S_{\text{к.д.т}}} \right), \quad (16.6)$$

где T_m – электромеханическая постоянная времени электродвигателя, с;

$S_{к.д.т}$ – критическое скольжение при динамическом торможении, о.е.

Электромеханическая постоянная времени электродвигателя T_m определяется по формуле

$$T_m = \frac{J_{пр} \omega_0}{M_{к.т}}, \quad (16.7)$$

где $M_{к.т}$ – критический момент при динамическом торможении, Н·м:

$$M_{к.т} = \frac{3I_{э.кв}^2 x_{\mu}^{\prime*2} U_{1\phi}}{2\omega_0 (x_{\mu}^{\prime*} + x_2^{\prime*}) I_{1н}}, \quad (16.8)$$

где $x_{\mu}^{\prime*}$, $x_2^{\prime*}$ – приведенное индуктивное сопротивление намагничивающей цепи и приведенное сопротивление обмотки ротора, о. е. (табл. 16.1);

$I_{э.кв}$ – переменный ток, эквивалентный постоянному I_b по величине создаваемого магнитного поля, А; $I_{э.кв} = 0,816I_b$ при схеме обмоток «звезда» и подключении постоянного тока к двум фазам;

$U_{1\phi}$ – номинальное фазное напряжение, В; $U_{1\phi} = 220$ В;

$I_{1н}$ – номинальный ток электродвигателя, А:

$$I_{1н} = \frac{1000P_n}{3U_{1\phi} \cos \varphi_n \eta_n}, \quad (16.9)$$

где $\cos \varphi_n$ и η_n – номинальный коэффициент мощности и номинальный КПД электродвигателя, о. е.

Критическое скольжение при динамическом торможении:

$$S_{к.д.т} = \frac{R_2^{\prime*}}{x_{\mu}^{\prime*} + x_2^{\prime*}}, \quad (16.10)$$

где $R_2^{\prime*}$ – приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора, о. е. (по табл. 16.1).

Сопротивление обмотки 1 фазы, Ом:

$$R_1 = R_1^{\prime*} \frac{U_{1\phi}}{I_{1н}}. \quad (16.11)$$

Сравнить потери энергии при торможении противовключением с потерей энергии при динамическом торможении и выбрать наиболее экономичный вариант.

• **к пункту 5 плана занятия.** Выписать из табл. 14.1 по своему варианту параметры трехскоростного электродвигателя в табл. 16.3.

Таблица 16.3

Данные трехскоростного электродвигателя

Вариант	Тип электродвигателя	Число полюсов	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi$, о.е.	S_n , %	Сопротивление		Момент инерции ротора $J_{р.л.з}$ кг·м ²
							$R_1^{\prime*}$, о.е.	$R_2^{\prime*}$, о.е.	

• **к пункту 6 плана занятия.** При прямом пуске трехскоростного электродвигателя сразу на высшую скорость потери энергии составят, Дж:

$$\Delta W_{\text{прям}} = J_{пр} \frac{\omega_{03}^2}{2} \left(1 + \frac{R_{1.03}^{\prime*}}{R_{2.03}^{\prime*}} \right), \quad (16.12)$$

где ω_{03} – синхронная скорость электромагнитного поля при наименьшем числе полюсов, рад/с. Индекс «03» означает третью, высшую скорость. Значения $R_{1.03}^{\prime*}$, $R_{2.03}^{\prime*}$ взять из табл. 16.3.

• **к пункту 7 плана занятия.** При ступенчатом пуске электродвигателя сначала на низшую скорость, потом на среднюю и, наконец, на высшую скорость потери энергии составят:

$$\Delta W_{\text{ступ}} = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3, \quad (16.13)$$

где ΔW_1 , ΔW_2 , ΔW_3 – потери энергии на каждой ступени пуска, Дж.

На первой ступени пуска потери энергии составят:

$$\Delta W_1 = J_{\text{пр}} \frac{\omega_{01}^2}{2} \left(1 + \frac{R'_{1,01}}{R'_{2,01}} \right). \quad (16.14)$$

На второй ступени пуска начальная скорость – ω_{01} , а конечная – ω_{02} . Изменение скорости $\Delta\omega_{02}$ составит:

$$\Delta\omega_{02} = \omega_{02} - \omega_{01}. \quad (16.15)$$

Тогда

$$\Delta W_2 = J_{\text{пр}} \frac{\Delta\omega_{02}^2}{2} \left(1 + \frac{R'_{1,02}}{R'_{2,02}} \right). \quad (16.16)$$

На третьей ступени скорости начальная угловая скорость есть ω_{02} , а конечная – ω_{03} . Изменение скорости составит:

$$\Delta\omega_{03} = \omega_{03} - \omega_{02}. \quad (16.17)$$

Тогда

$$\Delta W_3 = J_{\text{пр}} \frac{\Delta\omega_{03}^2}{2} \left(1 + \frac{R'_{1,03}}{R'_{2,03}} \right). \quad (16.18)$$

• **к пункту 8 плана занятия.** Сравнить потери энергии при прямом и при ступенчатом пусках электродвигателя. Определить, во сколько раз потери энергии при прямом пуске больше, чем потери энергии при ступенчатом пуске электродвигателя.

Контрольные вопросы:

1. Назовите виды электрического торможения. Каковы характерные особенности каждого вида? Как они реализуются в приводе с асинхронным электродвигателем?
2. Постройте графики механических характеристик асинхронного электродвигателя для всех видов торможения.

НАГРЕВ И ОХЛАЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМАХ РАБОТЫ S1, S2, S3

Цель занятия: научиться рассчитывать температуру обмотки электродвигателя в различных режимах работы электропривода.

Задача. Для заданных нагрузочных диаграмм, характеризующихся режимами работы S1, S2, S3 асинхронного электропривода, рассчитать и построить кривую нагрева и охлаждения электродвигателя за время работы. Определить по графику максимальную температуру нагрева обмотки и установить, пригоден ли электродвигатель по нагреву для указанных режимов работы.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое постоянная времени нагрева? Как она обозначается и в каких единицах измеряется?
2. Какие классы изоляционных материалов по нагревостойкости применяют в электродвигателях?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выписать из табл. 17.1 технические данные заданного электродвигателя.
2. Определить постоянные времени нагрева и охлаждения электродвигателя.
3. Построить нагрузочную диаграмму режима S1 по данным табл. 17.2.
4. Рассчитать и построить кривую нагрева электродвигателя за время работы в режиме S1. Определить по графику максимальную температуру нагрева обмотки.

1	2	3	4	5	6
20	АИР63А6	0,19	56	4,65	В
21	АИР63В6	0,25	59	5,6	В
22	АИР71А6	0,37	65	7,8	В
23	АИР71В6	0,55	68,5	8,6	В
24	АИР80А6	0,75	70	11,6	В
25	АИР80В6	1,1	74	13,4	В
26	АИР90Л6	1,5	76	16,9	В
27	АИР100Л6	2,2	81	22,8	В
28	АИР112МА6	3	81	35	В
29	АИР112МВ6	4	82	40,4	В
30	АИР132S6	5,5	85	57	В

5. Построить нагрузочную диаграмму режима S2 по данным табл. 17.2. Рассчитать и построить кривую нагрева электродвигателя за время работы в режиме S2. Определить по графику максимальную температуру нагрева обмотки.

6. Построить нагрузочную диаграмму режима S3 по данным табл. 17.2. Рассчитать и построить кривую нагрева электродвигателя за время работы в режиме S3. Определить по графику максимальную температуру нагрева обмотки.

Методические указания

• к пункту 1 плана занятия. Выписать из табл. 17.1 технические данные электродвигателя по своему варианту.

Таблица 17.1

Исходные данные

Вариант	Типоразмер	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальный КПД η_n , %	Масса m , кг	Класс нагревостойкости
1	2	3	4	5	6
1	АИР50А4	0,06	53	2,6	В
2	АИР50В4	0,09	57	2,9	В
3	АИР56А4	0,12	63	3,35	В
4	АИР56В4	0,18	64	3,9	В
5	АИР63А4	0,25	68	4,7	В
6	АИР63В4	0,37	68	5,6	В
7	АИР71А4	0,55	70,5	7,8	В
8	АИР71В4	0,75	73	8,8	В
9	АИР80А4	1,1	75	9,9	В
10	АИР80В4	1,5	78	12,1	В
11	АИР90Л4	2,2	81	17	В
12	АИР100S4	3,0	82	21,6	В
13	АИР100Л4	4,0	85	27,3	В
14	АИР112М4	5,5	85,5	41	В
15	АИР132S4	7,5	87,5	58	В
16	АИР132М4	11	87,5	70	В
17	АИР160S4	15	90	100	F
18	АИР160М4	18,5	90,5	110	F
19	АИР180S4	22,0	90,5	170	F

• к пункту 2 плана занятия. Постоянную времени нагрева электродвигателя определить по формуле

$$T_n = \frac{C}{A} = \frac{C_{уд} m}{\Delta P_{ном} / \tau_{доп.ном}}, \quad (17.1)$$

где $C_{уд}$ – удельная теплоемкость, Дж/(кг·град), $C_{уд} = 420$ Дж/(кг·град);
масса электродвигателя, кг;

m – номинальное превышение температуры электродвигателя;

$\tau_{доп.ном}$ – для класса нагревостойкости В – 80 °С; для F – 100 °С;

$\Delta P_{ном}$ – потери при номинальной нагрузке, Вт:

$$\Delta P_{ном} = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right), \quad (17.2)$$

где η_n – КПД электродвигателя при номинальной нагрузке, о.е.;

P_n – номинальная мощность электродвигателя, Вт.

Постоянная времени охлаждения для самовентилируемых электродвигателей:

$$T_o = \frac{T_n}{\beta_o} = \frac{T_n}{0,5} = 2T_n, \quad (17.3)$$

где β_o – коэффициент ухудшения теплоотдачи в неподвижном состоянии; $\beta_o = 0,5$.

• к пункту 3 плана занятия. Построить нагрузочную диаграмму режима S1 по данным табл. 17.2.

Таблица 17.2

Нагрузочные диаграммы режимов S1, S2, S3, приведенные к валу электродвигателя

Вариант	Режим S1, рис. 17.1				Режим S2, рис. 17.2				Режим S3, рис. 17.3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	P_1 , кВт	P_2 , кВт	t_1 , мин	t_2 , мин	P_1 , кВт	P_2 , кВт	t_1 , мин	t_2 , мин	$P_1, P_3, P_5, P_7, P_9, P_{11}$, кВт	$P_2, P_4, P_6, P_8, P_{10}, P_{12}$, кВт	$t_1, t_3, t_5, t_7, t_9, t_{11}$, мин	$t_2, t_4, t_6, t_8, t_{10}, t_{12}$, мин
1	0,07	0,04	20	25	0,07	0	20	200	0,07	0	6	4
2	0,10	0,06	30	30	0,1	0	30	300	0,10	0	7	3
3	0,13	0,08	25	25	0,13	0	25	250	0,13	0	8	2
4	0,20	0,10	25	30	0,20	0	25	250	0,20	0	6	4
5	0,30	0,15	30	25	0,30	0	30	300	0,30	0	7	3
6	0,40	0,25	25	30	0,40	0	25	250	0,40	0	8	2
7	0,60	0,30	20	25	0,60	0	20	200	0,60	0	5	5
8	0,80	0,40	25	30	0,80	0	25	250	0,80	0	6	4
9	1,2	0,80	30	30	1,2	0	30	300	1,2	0	7	3
10	1,7	0,90	35	30	1,7	0	35	350	1,7	0	8	2
11	2,5	1,3	35	35	2,5	0	35	350	2,5	0	5	4
12	3,5	1,75	35	35	3,5	0	35	350	3,5	0	6	3
13	4,5	2,2	35	35	4,5	0	35	350	4,5	0	7	2
14	5,8	3,0	35	40	5,8	0	35	350	5,8	0	8	1
15	8,0	4,0	40	35	8,0	0	40	400	8,0	0	4	5
16	12	8	20	40	12	0	20	200	12,0	0	5	4
17	18	9	30	30	18	0	30	300	18,0	0	6	3
18	20	10	30	30	20	0	30	300	20,0	0	7	2
19	25	13	30	35	25	0	30	300	25,0	0	8	1
20	0,2	0,15	20	25	0,2	0	20	200	0,2	0	5	4
21	0,30	0,15	25	25	0,3	0	25	250	0,3	0	8	5
22	0,39	0,2	25	30	0,39	0	25	250	0,39	0	6	4
23	0,60	0,30	30	25	0,60	0	30	300	0,60	0	7	3
24	0,80	0,40	30	30	0,80	0	30	300	0,80	0	8	2
25	1,2	0,6	30	30	1,2	0	30	300	1,2	0	9	1
26	1,8	0,9	35	35	1,8	0	35	350	1,8	0	5	5
27	2,5	1,2	35	35	2,5	0	35	350	2,5	0	6	4
28	3,3	1,8	37	37	3,3	0	37	370	3,3	0	7	3
29	4,8	2,5	35	40	4,8	0	35	350	4,8	0	8	2
30	6,0	3,0	40	40	6,0	0	40	400	6,0	0	9	1

Нагрузочную диаграмму построить по образцу, приведенному на рис. 17.1.

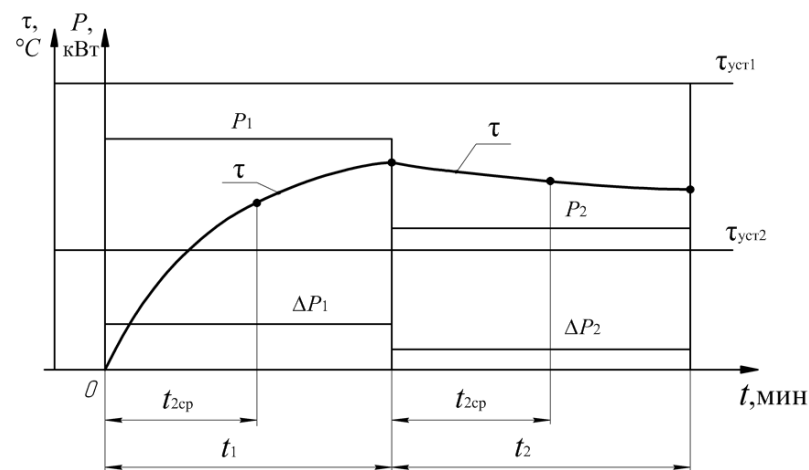


Рис. 17.1. Нагрузочная диаграмма и кривая нагрева электродвигателя в режиме S1

На вертикальной оси отложить мощности P_1 , P_2 и потери мощности ΔP_1 и ΔP_2 (в одном масштабе). Рядом отложить ось превышения температуры τ . Размер рисунка – 100×150 мм.

Потери мощности найти с использованием следующих формул:

$$\Delta P_1 = P_1 \left(\frac{1 - \eta_1}{\eta_1} \right); \quad (17.4)$$

$$\Delta P_2 = P_2 \left(\frac{1 - \eta_2}{\eta_2} \right); \quad (17.5)$$

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \cdot \left(\frac{\frac{\alpha}{x_1} + x_1}{\alpha + 1} \right)}; \quad (17.6)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \cdot \left(\frac{\frac{\alpha}{x_2} + x_2}{\alpha + 1} \right)}, \quad (17.7)$$

где α – коэффициент потерь, равный отношению постоянных потерь к переменным; принять $\alpha = 0,6$.

Коэффициент загрузки электродвигателя:

$$x_1 = \frac{P_1}{P_H}; \quad (17.8)$$

$$x_2 = \frac{P_2}{P_H}. \quad (17.9)$$

Установившееся превышение температуры электродвигателя на каждом участке нагрузочной диаграммы:

$$\tau_{y1} = \frac{\Delta P_1}{A} = \frac{\Delta P_1}{\frac{\Delta P_{\text{НОМ}}}{\tau_{\text{доп.НОМ}}}}; \quad (17.10)$$

$$\tau_{y2} = \frac{\Delta P_2}{A} = \frac{\Delta P_2}{\frac{\Delta P_{\text{НОМ}}}{\tau_{\text{доп.НОМ}}}}. \quad (17.11)$$

Отложить $\Delta P_1, \Delta P_2, \tau_{y1}, \tau_{y2}$ на графике (см. образец на рис. 17.1).

• **к пункту 4 плана занятия.** Расчет температуры превышения выполнить по уравнению

$$\tau_i = \tau_{oi} + (\tau_{yi} - \tau_{oi}) \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right), \quad (17.12)$$

где τ_{oi} – установившееся превышение температуры электродвигателя, которое бы наступило при неограниченно длительной его работе с нагрузкой i -го участка, °C;

t – текущее значение времени по участкам, мин;

T_H – постоянная времени нагрева электродвигателя, мин.

При расчете кривой $\tau = f(t)$ необходимо для каждой нагрузки значения текущего времени брать в начале, в конце и в середине выбранного участка нагрузочной диаграммы. В этом случае кривая нагревания будет строиться по трем точкам, расположенным в начале, в конце и в середине участка.

На первом участке $\tau_0 = 0$, в конце первого участка $\tau_{\text{кон.1}} = \tau_{\text{нач.2}}$. Чтобы определить, нагрев или охлаждение будет на втором участке, необходимо сравнить начальное превышение температуры на данном участке, т. е. $\tau_{\text{нач.2}}$ с установившимся значением τ_{y2} . Если $\tau_{\text{нач.2}} < \tau_{y2}$, то будет происходить нагрев электродвигателя, если $\tau_{\text{нач.2}} > \tau_{y2}$, то будет происходить охлаждение.

Через время $t_{1\text{cp}}$ температура составит:

$$\tau_{1\text{cp}} = 0 + (\tau_{y1} - 0) \left(1 - e^{-\frac{t_{1\text{cp}}}{T_H}} \right) = \tau_{y1} \left(1 - e^{-\frac{t_{1\text{cp}}}{T_H}} \right). \quad (17.13)$$

Через время t_1 :

$$\tau_{\text{кон.1}} = \tau_{y1} \left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_H}} \right). \quad (17.14)$$

Через время $t_{2\text{cp}}$:

$$\tau_{2\text{cp}} = \tau_{\text{нач.2}} + (\tau_{y2} - \tau_{\text{нач.2}}) \left(1 - e^{-\frac{t_{2\text{cp}}}{T_H}} \right), \quad (17.15)$$

где $\tau_{\text{нач.2}} = \tau_{\text{кон.1}}$.

Через время t_2 :

$$\tau_{\text{кон.2}} = \tau_{\text{нач.2}} + (\tau_{y2} - \tau_{\text{нач.2}}) \left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_H}} \right). \quad (17.16)$$

Определить по данным построенного графика максимальную температуру нагрева обмотки.

• к пункту 5 плана занятия. Построить нагрузочную диаграмму S2 в масштабе так, чтобы по оси времени можно было отложить полное время $t_1 + t_2$.

Поскольку нагрузка P_1 аналогична режиму S1, а время работы t_1 одно и то же (см. табл. 17.2), то ΔP_1 , τ_{y1} , τ_{1cp} , $\tau_{2кон}$, T_n соответствуют режиму S1 и расчетам пункта 2 плана занятия, а кривая нагрева может быть взята из рис. 17.1.

Температура электродвигателя при охлаждении вычисляется по формуле

$$\tau_o = \tau_{кон.1} \cdot e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (17.17)$$

Рекомендуется разбить время t_2 на 5 участков и подставлять их значения в формулу (17.17).

По результатам расчетов построить кривую нагрева и охлаждения электродвигателя, как показано на рис. 17.2.

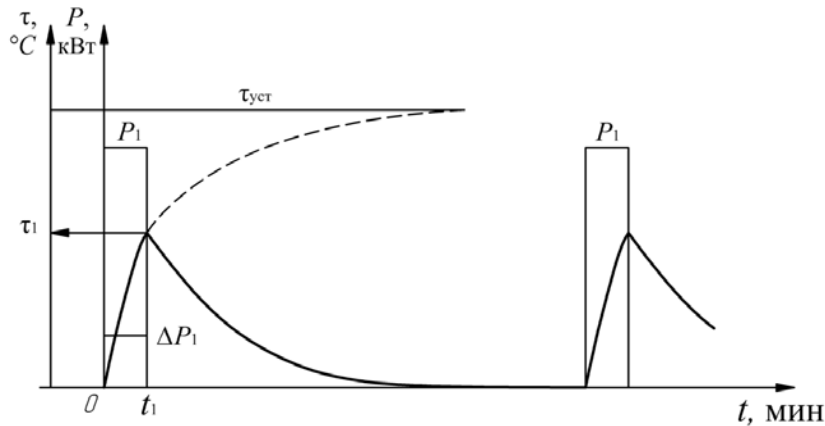


Рис. 17.2. Образец кривой нагрева электродвигателя в режиме S2

Определить по данным построенного графика максимальную температуру нагрева обмотки.

• к пункту 6 плана занятия. Построить нагрузочную диаграмму режима S3 в масштабе так, чтобы 60 минут соответствовало 120 мм (рис. 17.3).

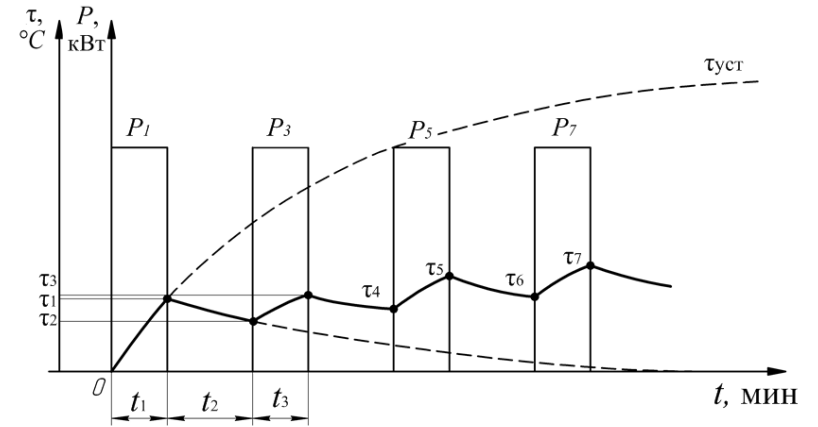


Рис. 17.3. Образец кривой нагрева и охлаждения электродвигателя в режиме S3

Поскольку P_1 режима S3 соответствует P_1 режима S1, то τ_{y1} , T_n , T_0 соответствует расчетам пунктов 2 и 3 плана занятий, т. е. $\tau_y = \tau_{y1}$.

$$\tau_1 = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_n}} \right); \quad (17.18)$$

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot e^{-\frac{t_2}{T_0}}; \quad (17.19)$$

$$\tau_3 = \tau_2 + (\tau_y - \tau_2) \left(1 - e^{-\frac{t_3}{T_n}} \right); \quad (17.20)$$

$$\tau_4 = \tau_3 \cdot e^{-\frac{t_4}{T_0}}; \quad (17.21)$$

$$\tau_5 = \tau_4 + (\tau_y - \tau_4) \left(1 - e^{-\frac{t_5}{T_n}} \right) \quad (17.22)$$

$$\tau_6 = \tau_5 \cdot e^{-\frac{t_6}{T_0}} \text{ и т. д., до } \tau_{11}.$$

По данным расчетов построить зависимость $\tau = f(t)$, как показано на рис. 17.3.

Определить по данным построенного графика максимальную температуру нагрева обмотки.

Контрольные вопросы:

1. Почему постоянные времени нагревания и охлаждения одного и того же электродвигателя имеют различные значения?
2. Как определить количество тепла, выделенного электродвигателем при его работе?
3. Напишите уравнение теплового баланса для электродвигателя.
4. Постройте кривые изменения температуры электродвигателя в режимах S1, S2, S3.

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ S1

Цель занятия: освоить методику выбора по мощности асинхронного электродвигателя для работы в режиме S1.

Задача. Для заданной нагрузочной диаграммы рабочей машины выбрать четырехполюсный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Рабочий вал машины связан с валом электродвигателя через ременную передачу.

Вопросы для самоподготовки:

1. Чем характеризуется режим работы S1?
2. Какое время работы электродвигателя характерно для режима работы S1 (по сравнению с постоянной времени нагрева)?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные по своему варианту.
2. Построить нагрузочную диаграмму рабочей машины.
3. Определить среднюю мощность нагрузки, приведенную к валу электродвигателя.
4. Определить мощность электродвигателя по методу средних потерь.
5. Проверить выбранный электродвигатель по условиям пуска.
6. Проверить выбранный электродвигатель по условиям преодоления максимального приведенного момента сопротивления рабочей машины.

Методические указания:

Таблица 18.2

• к пункту 1 плана занятия. Исходные данные по своему варианту из табл. 18.1 записать по форме табл. 18.2.

Таблица 18.1

Исходные данные

Вариант	Мощность (кВт) на валу рабочей машины по периодам						Продолжительность (мин) работы по периодам					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	0,05	0,07	0,1	0,06	0,05	0,04	15	10	5	10	15	25
2	0,1	0,15	0,2	0,15	0,1	0,05	14	9	4	9	14	24
3	0,15	0,20	0,3	0,20	0,15	0,10	12	8	2	8	12	20
4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	15	10	5	10	15	25
5	0,25	0,35	0,5	0,35	0,25	0,1	14	9	4	9	14	24
6	0,3	0,4	0,6	0,4	0,3	0,2	12	8	2	8	12	20
7	0,4	0,5	0,7	0,5	0,4	0,2	10	20	6	20	15	10
8	0,4	0,6	0,8	0,6	0,4	0,2	12	8	7	12	14	10
9	0,45	0,6	0,9	0,6	0,4	0,2	15	10	5	10	15	25
10	0,5	0,75	1,0	0,7	0,6	0,3	10	15	5	15	10	25
11	0,6	0,7	1,1	0,8	0,6	0,3	15	10	5	25	10	15
12	0,6	0,85	1,2	0,85	0,7	0,4	15	10	5	25	10	15
13	0,65	0,90	1,3	0,90	0,8	0,5	15	10	5	25	10	15
14	0,7	1,0	1,4	1,0	0,7	0,5	13	12	6	12	13	10
15	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	0,5	13	12	6	12	13	10
16	1,5	2,0	3,0	2,0	1,5	1,0	13	12	6	12	13	10
17	2,0	3,0	4,0	3,0	2,0	1,0	10	20	4	20	10	5
18	2,5	4,5	5,0	3,5	3,0	1,0	10	20	4	20	5	10
19	3,0	5,0	6,0	4,0	3,0	2,0	20	10	4	5	20	10
20	3,5	5,5	7,0	6,0	5,5	3,0	15	10	5	10	15	10
21	4,0	6,0	8,0	6,0	4,0	3,0	15	10	5	10	15	10
22	5,0	7,5	10,0	8,0	5,0	3,0	10	15	5	15	10	5
23	7,5	11,0	15,0	12,0	7,0	3,0	10	15	5	15	5	10
24	10	15	20	15	10	5,0	10	20	5	20	10	5
25	12,5	18	25	18	15	5,0	10	20	4	20	10	5
26	15	20	30	20	15	10	10	15	4	20	20	5
27	15	25	35	25	15	10	10	15	4	15	10	5
28	20	30	40	30	20	10	10	10	10	10	10	10
29	25	35	45	35	25	15	10	10	8	10	10	10
30	25	40	50	45	30	15	15	15	4	15	15	15

Исходные данные по варианту

Вариант	Мощность на валу рабочей машины по периодам, кВт						Продолжительность работы по периодам, мин					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

• к пункту 2 плана занятия. По данным табл. 18.2 построить нагрузочную диаграмму в масштабе, как показано на рис. 18.1.

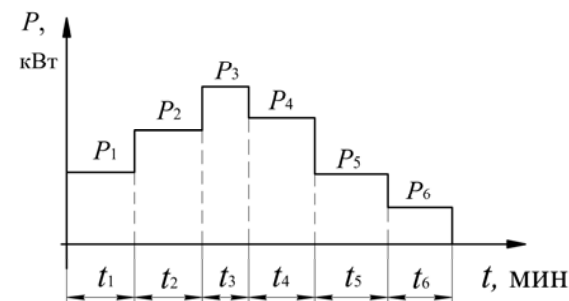


Рис. 18.1. Примерный вид нагрузочной диаграммы

• к пункту 3 плана занятия. Определить среднюю мощность нагрузочной диаграммы по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5 + P_6 t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}. \quad (18.1)$$

Определить приведенную к валу электродвигателя среднюю мощность за цикл работы по формуле

$$P'_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{ср}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (18.2)$$

где $\eta_{\text{пер}}$ – КПД ременной передачи; принять $\eta_{\text{пер}} = 0,95$.

• к пункту 4 плана занятия. Определить мощность электродвигателя по методу средних потерь, используя следующую методику. Из табл. 18.3 выбрать ближайший больший по мощности асинхронный электродвигатель по условию

$$P_H \geq P'_{cp} \quad (18.3)$$

Таблица 18.4

Таблица 18.3

Технические данные асинхронных электродвигателей

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_H , кВт	КПД η_H , %	$\cos\varphi_H$, о.е.	$\mu_{пуск}$, о.е.	$\mu_{мин}$, о.е.	μ_K , о.е.	Скольжение	
							S_H , %	S_K , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AA50A4	0,06	50	0,6	2,0	1,7	2,2	8,1	58,5
4AA50B4	0,09	55	0,6	2,0	1,7	2,2	8,6	59,0
4AA56A4	0,12	63	0,66	2,1	1,5	2,2	8,2	49,0
4AA56B4	0,18	64	0,64	2,1	1,5	2,2	8,9	50,5
4AA63A4	0,25	68	0,65	2,0	1,5	2,2	8,0	48,0
4AA63B493	0,37	68	0,69	2,0	1,5	2,2	9,0	48,0
4A71A4	0,55	70,5	0,70	2,0	1,8	2,2	7,3	39,0
4A71B4	0,75	72	0,73	2,0	1,8	2,2	7,5	40,0
4A80A4	1,1	75	0,81	2,0	1,6	2,2	5,4	34,0
4A80B4	1,5	7,7	0,83	2,0	1,6	2,2	5,8	34,5
4A90L4	2,2	80	0,83	2,1	1,6	2,4	5,1	33,0
4A100S4	3,0	82	0,83	2,0	1,6	2,4	4,4	31,
4A100L4	4,0	84,0	0,84	2,0	1,6	2,4	4,6	31,5
4A112M4	5,5	85,5	0,85	2,0	1,6	2,2	3,6	25,0
4A132S4	7,5	87,5	0,86	2,2	1,7	3,0	2,9	19,5
4A132M4	11,0	87,5	0,87	2,2	1,7	3,0	2,8	19,5
4A160S4	15,0	88,5	0,88	1,4	1,0	2,3	2,3	16,0
4A160M4	18,5	89,5	0,88	1,4	1,0	2,3	2,2	16,0
4A180S4	22,0	90	0,9	1,4	1,0	2,3	2,2	14,0
4A180M4	30	91	0,89	1,4	1,0	2,3	1,9	14,0
4A200M4	37	91	0,9	1,4	1,0	2,5	1,7	10,0
4A200L4	45	92	0,9	1,4	1,0	2,5	1,6	10,0
4A225M4	55	92,5	0,9	1,3	1,0	2,5	1,4	10,0
4A250S4	75	93,0	0,9	1,2	1,0	2,3	1,2	9,5
4A250M4	90	93,0	0,9	1,2	1,0	2,3	1,3	9,5

Выписать технические данные выбранного электродвигателя по форме табл. 18.4.

Технические данные асинхронного электродвигателя

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_H , кВт	КПД η_H , %	$\cos\varphi_H$, о.е.	$\mu_{пуск}$, о.е.	$\mu_{мин}$, о.е.	μ_K , о.е.	Скольжение	
							S_H , %	S_K , %

Найти номинальные потери электродвигателя по формуле

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right), \quad (18.4)$$

где η_H – номинальный КПД электродвигателя, о.е.;

P_H – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Определить потери в электродвигателе при частных нагрузках:

$$\Delta P_1 = \frac{P_1}{\eta_{пер}} \left(\frac{1 - \eta_1}{\eta_1} \right); \quad (18.5)$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_2}{\eta_{пер}} \left(\frac{1 - \eta_2}{\eta_2} \right) \text{ и т. д.}, \quad (18.6)$$

где η_1, η_2 и т. д. – КПД электродвигателя на отдельных ступенях нагрузки, о.е.:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \left(\frac{\alpha_H + x_1}{\alpha_H + 1} \right)}; \quad (18.7)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \left(\frac{\alpha_H + x_2}{\alpha_H + 1} \right)} \text{ и т. д.} \quad (18.8)$$

где α_n – коэффициент номинальных потерь, показывает отношение постоянных потерь к переменным, о.е.; принять $\alpha_n = 0,6$;
 x – кратность нагрузки, о.е.:

$$x_1 = \frac{P_1}{P_n \eta_{пер}}; \quad x_2 = \frac{P_2}{P_n \eta_{пер}} \text{ и т. д.} \quad (18.9)$$

Определить средние потери по формуле

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3 + \Delta P_4 t_4 + \Delta P_5 t_5 + \Delta P_6 t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}. \quad (18.10)$$

Сравнить потери номинальные и средние. Если электродвигатель выбран правильно, то должно выполняться условие

$$\Delta P_n \geq \Delta P_{cp}. \quad (18.11)$$

Если условие (18.11) не выполняется, то необходимо выбрать на ступень больший электродвигатель.

• **к пункту 5 плана занятия.** Проверка по условиям пуска с учетом пониженного напряжения ($U = 0,9$) производится по уравнению:

$$\left. \begin{aligned} M_{пуск} U^2 &\geq 1,2 M_{тр} \\ M_{мин} U^2 &\geq 1,1 M_1 \end{aligned} \right\} \quad (18.12)$$

где $M_{пуск}$ – пусковой момент выбранного электродвигателя, Н·м;

$M_{тр}$ – момент трогания рабочей машины, Н·м;

$M_{мин}$ – минимальный момент при пуске, Н·м:

$$\left. \begin{aligned} 0,81 M_{пуск} &\geq 1,2 M_{тр} \\ 0,81 M_{мин} &\geq 1,1 M_1 \end{aligned} \right\}; \quad (18.13)$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}; \quad (18.14)$$

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_n); \quad (18.15)$$

$$M_{тр} = 1,2 M_1, \quad (18.16)$$

где $\omega_0 = 157$ рад/с;

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_n \eta_{пер}}. \quad (18.17)$$

• **к пункту 6 плана занятия.** Проверка на преодоление максимальной нагрузки рабочей машины производится по условию

$$M_k > 1,1 M_{макс.нагр}, \quad (18.18)$$

где M_k – критический момент электродвигателя, Н·м; $M_k = \mu M_n$; приведенный к валу электродвигателя наибольший момент $M_{макс.нагр}$ – момент нагрузки, Н·м.

Из нагрузочной диаграммы следует, что

$$M_{макс.нагр} = \frac{P_3}{\eta_{пер} \omega_n}. \quad (18.19)$$

Если условие (18.18) не выполняется, выбирают из табл. 18.3 на ступень больший по мощности электродвигатель и проверку на преодоление максимальной нагрузки рабочей машины повторяют.

Контрольные вопросы:

1. Каков порядок выбора электродвигателя по мощности для режима S1?
2. Как можно узнать КПД электродвигателя при нагрузке 50 % P_n , не пользуясь формулой (18.8)?
3. Какой режим работы электродвигателя, если он работает 20 минут, а постоянная времени нагрева электродвигателя составляет 15 минут?

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ S2

Цель занятия: освоить методику выбора электродвигателя по мощности для работы в режиме S2.

Задача. В хозяйстве для реконструкции кормораздатчика решено использовать имеющиеся асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Выбрать электродвигатель и проверить его по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

Вопросы для самоподготовки:

1. Охарактеризуйте режим работы S2.
2. Какое соотношение между временем паузы и постоянной времени охлаждения соответствует режиму S2?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные по варианту.
2. Построить нагрузочную диаграмму.
3. Определить эквивалентную мощность нагрузочной диаграммы. Предварительно выбрать электродвигатель по мощности и частоте вращения.
4. Определить для выбранного электродвигателя коэффициенты термической и механической перегрузок. Выбрать электродвигатель по мощности с учетом этих коэффициентов.
5. Проверить выбранный электродвигатель по условиям пуска и преодоления максимального момента сопротивления рабочей машины.

Методические указания:

- к пункту 1 плана занятия. Исходные данные по своему варианту из табл. 19.1 записать по форме табл. 19.2.

Таблица 19.1

Исходные данные

Вариант	Параметры приведенной к валу электродвигателя нагрузочной диаграммы				Синхронная частота вращения электромагнитного поля электродвигателя n_0 , мин ⁻¹
	Мощность, кВт		Продолжительность, мин		
	в начальный период работы P_1	в конечный период работы P_2	работы t_1	паузы t_2	
1	0,2	0,8	20	200	1500
2	0,28	1,1	21	210	1500
3	0,4	1,6	22	220	1500
4	0,55	2,2	23	230	1500
5	0,8	3,3	24	240	1500
6	1,1	4,5	25	250	1500
7	1,5	6,0	26	260	1500
8	2,0	8,0	27	270	1500
9	2,8	11,0	28	280	1500
10	4,0	16,0	29	290	1500
11	0,14	0,55	19	190	1000
12	0,21	0,81	20	200	1000
13	0,27	1,2	21	210	1000
14	0,41	1,7	22	220	1000
15	0,56	2,3	23	230	1000
16	0,81	3,4	24	240	1000
17	1,2	4,5	25	250	1000
18	1,6	6,2	26	260	1000
19	2,2	8,2	27	270	1000
20	2,8	11,2	28	280	1000
21	4,2	16,1	29	290	1000
22	0,15	0,56	19	190	750
23	0,19	0,78	20	200	750
24	0,27	1,0	21	210	750
25	0,39	1,5	22	220	750
26	0,54	2,1	23	230	750
27	0,79	3,2	24	240	750
28	1,0	4,4	25	250	750
29	1,4	6,0	26	260	750
30	1,9	7,9	27	270	750

Таблица 19.2

Исходные данные по варианту

Вариант	Параметры приведенной к валу электродвигателя нагрузочной диаграммы				Синхронная частота вращения электромагнитного поля электродвигателя n_0 , мин ⁻¹
	Мощность, кВт		Продолжительность, мин		
	в начальный период работы P_1	в конечный период работы P_2	работы t_1	паузы t_2	

• к пункту 2 плана занятия. Нагрузочную диаграмму построить таким образом, чтобы размер ее составлял не менее 100×150 мм, соблюдая масштаб построения (образец представлен на рис. 19.1).

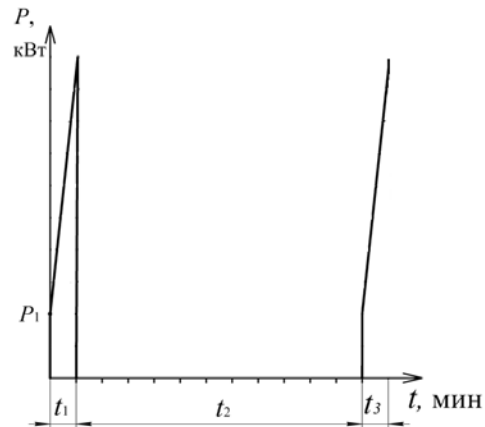


Рис. 19.1. Нагрузочная диаграмма электропривода в режиме работы S2

• к пункту 3 плана занятия. Эквивалентная мощность нагрузочной диаграммы определяется по уравнению

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_1 P_2 + P_2^2}{3}} \quad (19.1)$$

Выбрать ближайший больший по мощности электродвигатель из табл. 19.3, обращая внимание на частоту вращения.

Таблица 19.3

Технические данные электродвигателей серии АИР

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	КПД η_n , %	Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹	Скольжение S_n , %	$\mu_{пуск}$	μ_k	$\mu_{мин}$	Масса m , кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АИР63А4	0,25	68	1500	12	2,3	2,2	1,8	4,7
АИР63В4	0,37	68	1500	12	2,3	2,2	1,8	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	1500	9,5	2,3	2,2	1,8	7,8
АИР71В4	0,75	73	1500	10	2,2	2,2	1,6	8,8
АИР80А4	1,1	75	1500	7	2,2	2,2	1,6	9,9
АИР80В4	1,5	78	1500	7	2,2	2,2	1,6	12,1
АИР90L4	2,2	81	1500	7	2,1	2,2	1,6	17,0
АИР100S4	3,0	82	1500	6	2,0	2,2	1,6	21,6
АИР100L4	4,0	85	1500	6	2,0	2,2	1,6	27,3
АИР112M4	5,5	85,5	1500	4,5	2,0	2,5	1,6	41
АИР132S4	7,5	87,5	1500	4,0	2,0	2,5	1,6	58
АИР132M4	11,0	87,5	1500	3,5	2,0	2,7	1,6	70
АИР63А6	0,19	56	1000	14	2,0	2,2	1,6	4,65
АИР63В6	0,25	59	1000	14	2,0	2,2	1,6	5,6
АИР71А6	0,37	63	1000	8,5	2,0	2,2	1,6	7,8
АИР71В6	0,55	68,5	1000	8,5	2,0	2,2	1,6	8,6
АИР80А6	0,75	70	1000	8,0	2,0	2,2	1,6	11,6
АИР80В6	1,1	74	1000	8,0	2,0	2,2	1,6	13,4
АИР90L6	1,5	76	1000	7,5	2,0	2,2	1,6	16,9
АИР100L6	2,2	81	1000	5,5	2,0	2,2	1,6	22,8
АИР112МА6	3,0	81	1000	5	2,0	2,2	1,6	35
АИР112МВ6	4,0	82	1000	5	2,0	2,2	1,6	40,4
АИР132S6	5,5	85	1000	4	2,0	2,2	1,6	57
АИР132М6	7,5	84,5	1000	4	2,0	2,2	1,6	68
АИР160S6	11,0	88	1000	3	2,0	2,2	1,6	100
АИР71В8	0,25	56	750	8	1,8	1,9	1,4	7,8
АИР80А8	0,37	60	750	6,5	1,8	1,9	1,4	13,8
АИР80В8	0,55	64	750	6,5	1,8	1,9	1,4	13,5
АИР90LА8	0,75	70	750	7,0	1,6	1,7	1,2	19,7
АИР90LВ8	1,1	72	750	7,0	1,6	1,7	1,2	22,3
АИР100L8	1,5	76	750	6	1,6	1,7	1,2	31,3
АИР112МА8	2,2	76,5	750	5,5	1,8	2,2	1,6	36
АИР112МВ8	3,0	79	750	5,5	1,8	2,2	1,4	41

Окончание табл. 19.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
АИР132S8	4,0	83	750	4,5	1,8	2,2	1,4	56
АИР132M8	5,5	83	750	5,0	1,8	2,2	1,4	70
АИР160S8	7,5	87	750	3,0	1,6	2,4	1,4	100
АИР160M8	11,0	87,5	750	3,0	1,6	2,4	1,4	120

• к пункту 4 плана занятия. Постоянную времени нагрева T_n выбранного электродвигателя определить по формуле

$$T_n = \frac{C}{A} = \frac{420m}{P_n \frac{(1-\eta_n)}{\eta_n} \frac{1}{\tau_{\text{доп.ном}}}}, \quad (19.2)$$

где $\tau_{\text{доп.ном}} = 80$ °С; остальные данные взять из табл. 19.3.

Коэффициент термической перегрузки:

$$K_\tau = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_1}{T_n}}}. \quad (19.3)$$

Коэффициент механической перегрузки:

$$K_m = \sqrt{K_\tau (1 + \alpha) - \alpha}, \quad (19.4)$$

где α – отношение постоянных потерь к переменным; принять $\alpha = 0,6$.

Требуемая мощность электродвигателя с учетом коэффициента механической перегрузки:

$$P'_n = \frac{P_\Sigma}{K_m}. \quad (19.5)$$

Из табл. 19.2 выбрать электродвигатель по условию

$$P''_n \geq P'_n. \quad (19.6)$$

• к пункту 5 плана занятия. Выбранный электродвигатель проверить по условиям пуска по формулам

$$M_{\text{пуск}} (1 - \Delta U)^2 \geq 1,2 M_1, \quad (19.7)$$

$$M_{\text{мин}} (1 - \Delta U)^2 \geq 1,1 M_1, \quad (19.8)$$

где ΔU – снижение напряжения на зажимах электродвигателя при пуске, о.е.; $\Delta U = 0,1$;

M_1 – момент сопротивления от нагрузки P_1 , Н·м;

$M_{\text{пуск}}$ – пусковой момент электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{мин}}$ – минимальный момент электродвигателя при пуске, Н·м.

Момент сопротивления от нагрузки P_1 :

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_1}. \quad (19.9)$$

Пусковой момент электродвигателя:

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} M_n. \quad (19.10)$$

Минимальный момент электродвигателя при пуске:

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_n. \quad (19.11)$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (19.12)$$

Номинальная угловая скорость ротора:

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_n). \quad (19.13)$$

Синхронная угловая скорость электромагнитного поля статора:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = 0,1045 n_0. \quad (19.14)$$

Выбранный электродвигатель проверить на преодоление максимальной нагрузки на валу

$$M_k > 1,1 M_2. \quad (19.15)$$

Максимальная нагрузка на валу P_2 характеризуется моментом M_2 :

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_n}. \quad (19.16)$$

Критический момент электродвигателя:

$$M_k = \mu_k M_n. \quad (19.17)$$

Если по условиям пуска или преодоления максимальной нагрузки электродвигатель подходит, то расчет считают законченным.

Если эти условия не выполняются, то выбирается ближайший больший по шкале электродвигатель и расчеты по формулам (19.7)–(19.17) повторяют.

Контрольные вопросы:

1. Опишите методику выбора электродвигателя по мощности для режиме S2.
2. Как изменяется коэффициент термической перегрузки K_T от отношения t_1/T_n ?
3. Как изменяется коэффициент механической перегрузки K_m от отношения t_1/T_n ?
4. По каким параметрам, кроме мощности, выбирается электродвигатель?

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ S3

Цель занятия: освоить методику выбора специального электродвигателя режима S3 для работы в режиме S3.

Задача. В хозяйстве для малой механизации строительных работ решили использовать подъемную лебедку. Наиболее вероятный режим ее работы – S3. Выбрать электродвигатель по мощности для лебедки.

Вопросы для самоподготовки:

1. Охарактеризуйте режим работы S3.
2. Постройте кривую изменения температуры электродвигателя, работающего в режиме S3.

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выпишите исходные данные по варианту.
2. Постройте нагрузочную диаграмму и определите ее параметры.
3. Определите требуемую мощность электродвигателя и выберите его тип.
4. Проверьте электродвигатель на преодоление максимальной нагрузки.
5. Определите допустимое число пусков электропривода и сравните его с фактическим числом пусков.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Исходные данные по варианту из табл. 20.1 выписать по форме табл. 20.2.

Таблица 20.1

Исходные данные

Вариант	Параметры приведенной нагрузочной диаграммы (рис. 20.1)								
	P_1 , кВт	P_2 , кВт	P_3 , кВт	P_4 , кВт	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	n_0 , мин ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,62	0	0,45	0	0,5	0,5	0,5	3,5	1500
2	2,16	0	0,6	0	0,4	0,4	0,4	3,2	1500
3	3,5	0	0,98	0	0,3	0,3	0,3	2,4	1500
4	4,5	0	1,28	0	0,5	0,5	0,5	3,5	1500
5	6,4	0	1,8	0	0,6	0,6	0,6	4,2	1500
6	8,6	0	2,4	0	0,7	0,7	0,7	4,9	1500
7	11,4	0	3,18	0	0,3	0,3	0,3	2,4	1500
8	15,1	0	4,2	0	0,4	0,4	0,4	2,8	1500
9	22,9	0	6,3	0	0,5	0,5	0,5	3,5	1500
10	1,0	0	0,3	0	0,6	0,6	0,6	4,2	1000
11	1,7	0	0,47	0	0,7	0,7	0,7	4,9	1000
12	2,1	0	0,6	0	0,3	0,5	0,3	2,0	1000
13	3,2	0	0,9	0	0,4	0,5	0,4	2,7	1000
14	4,59	0	1,25	0	0,5	0,5	0,5	3,5	1000
15	7,0	0	1,95	0	0,6	0,5	0,6	4,3	1000
16	8,6	0	2,4	0	0,7	0,5	0,7	5,1	1000
17	11,3	0	3,15	0	0,3	0,5	0,3	1,9	1000
18	17,0	0	4,7	0	0,4	0,4	0,4	2,8	1000
19	22,9	0	6,35	0	0,5	0,5	0,5	3,5	1000
20	0,8	0	0,22	0	0,6	0,5	0,6	4,3	750
21	1,2	0	0,33	0	0,7	0,5	0,7	5,1	750
22	1,6	0	0,45	0	0,2	0,4	0,2	1,6	750
23	2,1	0	0,6	0	0,2	0,3	0,2	1,3	750
24	3,2	0	0,9	0	0,3	0,3	0,3	2,2	750
25	4,3	0	1,2	0	0,3	0,4	0,3	2,0	750
26	5,9	0	1,65	0	0,4	0,4	0,4	2,9	750

Окончание табл. 20.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27	8,6	0	2,4	0	0,5	0,4	0,5	3,6	750
28	12,1	0	3,3	0	0,5	0,5	0,5	3,5	750
29	16,2	0	4,5	0	0,6	0,5	0,6	4,3	750
30	24,3	0	6,75	0	0,7	0,7	0,7	4,9	750

Таблица 20.2

Исходные данные по варианту

Вариант	Параметры приведенной нагрузочной диаграммы (рис. 20.1)								
	P_1 , кВт	P_2 , кВт	P_3 , кВт	P_4 , кВт	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	n_0 , мин ⁻¹

• к пункту 2 плана занятия. Нагрузочную диаграмму построить таким образом, чтобы размер ее составлял не менее 100×150 мм (образец представлен на рис. 20.1).



Рис. 20.1. Нагрузочная диаграмма подъемной лебедки

Определить параметры нагрузочной диаграммы:

1. Общее время работы $t_p = t_1 + t_3$.
2. Общее время паузы $t_0 = t_2 + t_4$.
3. Время цикла $t_{ц} = t_p + t_0$.

• к пункту 3 плана занятия. Эквивалентная мощность за время работы:

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_3}}. \quad (20.1)$$

Фактическая продолжительность включения:

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_p}{t_p + t_0}. \quad (20.2)$$

Требуемая мощность электродвигателя:

$$P_{н0,4} \geq P_3 \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{0,4(1+\alpha') - \alpha'\varepsilon_{\phi}}}, \quad (20.3)$$

где α' – коэффициент потерь; принять $\alpha' = 0,5$.

Выбрать ближайший больший электродвигатель из табл. 20.3 с учетом требуемой частоты вращения.

Таблица 20.3

Технические данные электродвигателей серии 4А
с повышенным скольжением при ПВ = 40 %

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{н0,4}$ (при ПВ = 40 %), кВт	Номинальное скольжение $S_{н\%}$, %	КПД η_n , %	μ_n о.е.	$\mu_{мин}$ о.е.	μ_k о.е.	Критическое скольжение S_k , %	$J_{р.л.2}$ кг·м ²
1	2	3	5	6	7	8	9	10
4AC71A4	0,6	8,2	68	2,0	1,6	2,2	39,6	0,0013
4AC71B4	0,8	8,7	68,5	2,0	1,6	2,2	40,1	0,0014
4AC80A4	1,3	5,6	68,5	2,0	1,6	2,2	33,8	0,0032
4AC80B4	1,7	5,5	70	2,0	1,6	2,2	35,0	0,0033
4AC90L4	2,4	5,8	76	2,0	1,6	2,2	33,1	0,0056
4AC100S4	3,2	4,2	76,5	2,0	1,6	2,2	32,7	0,0087
4AC100L4	4,25	4,1	78	2,0	1,6	2,2	32,0	0,011

1	2	3	5	6	7	8	9	10
4AC112M4	5,6	5,6	79	2,0	1,6	2,2	45,3	0,017
4AC132S4	8,5	6,9	82,5	2,0	1,6	2,8	49,4	0,028
4AC132M4	11,8	6,1	84,0	2,0	1,6	2,2	50,3	0,040
4AC160 S4	17,0	6,1	84,5	2,0	1,6	2,2	45,0	0,100
4AC71A6	0,4	10,4	62,5	2,0	1,6	2,1	48,6	0,0017
4AC71B6	0,63	10,2	65	2,0	1,6	2,1	49,6	0,0020
4AC80A6	0,8	7,0	61	2,0	1,6	2,1	38,3	0,0025
4AC80B6	1,2	7,8	66,5	2,0	1,6	2,1	38,4	0,0035
4AC90L6	1,7	6,2	71	1,9	1,6	2,1	32,9	0,0073
4AC100L6	2,6	5,3	75	1,9	1,6	2,1	32,0	0,013
4AC112MA6	3,2	7,3	72	1,9	1,6	2,1	68,2	0,017
4AC112MB6	4,2	8,5	75	1,9	1,6	2,1	66,3	0,021
4AC132S6	6,3	6,4	79	1,9	1,5	2,1	47,0	0,04
4AC132M6	8,5	5,8	80	1,9	1,5	2,1	48,0	0,058
4AC160 S6	12,0	7,7	82,5	1,9	1,5	2,1	59,2	0,140
4AC160 M6	16,0	7,8	84,0	1,9	1,5	2,1	54,6	0,180
4AC71B8	0,3	10	50	1,9	1,6	2,0	46,3	0,0019
4AC80A8	0,45	7,4	53,5	1,9	1,6	2,0	34,2	0,0034
4AC80B8	0,6	8,3	58	1,9	1,6	2,0	34,6	0,0041
4AC90LA8	0,8	6,7	61	1,8	1,6	2,0	32,0	0,0067
4AC90LB8	1,2	6,5	85	1,8	1,6	2,0	32,0	0,0086
4AC100L8	1,6	5,4	69	1,8	1,6	2,0	32,0	0,013
4AC112MA8	2,2	9,5	68	1,8	1,6	2,0	62,3	0,018
4AC112MB8	3,2	11,0	72	1,8	1,6	2,0	62,1	0,024
4AC132S8	4,5	8,1	76	1,8	1,6	2,0	46,0	0,042
4AC132M8	6	7,4	77	1,8	1,6	2,0	46,5	0,058
4AC160S8	9	9,6	81,5	1,8	1,5	2,0	42,7	0,14
4AC160M8	12,5	9,0	82,5	1,8	1,5	2,0	44,3	0,18
4AC180M8	15,0	7,8	83,5	1,8	1,5	2,0	40,6	0,25

• к пункту 4 плана занятия. Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки заключается в определении коэффициента допустимой перегрузки электродвигателя и сравнение его с допустимой кратностью критического момента по формуле

$$K_{\text{доп. п}} = \frac{P_1}{P_{н.0,4}} < 0,9\mu_k. \quad (20.4)$$

В формуле (20.4) коэффициент 0,9 учитывает снижение момента при пониженном (на 5 %) напряжении сети.

Если условие (20.4) не выполняется, выбирают больший по мощности электродвигатель.

• **к пункту 5 плана занятия.** Определить допустимое число включений электродвигателя в час по формуле

$$Z_{\text{доп}} \leq 3600 \frac{(\Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\varepsilon}) \varepsilon_{\phi} + \Delta P_{\text{н}} \beta (1 - \varepsilon_{\phi})}{0,97 \Delta A_{\text{п}}}, \quad (20.5)$$

где $\Delta P_{\text{н}}$, ΔP_{ε} – потери мощности в номинальном режиме и при эффективной мощности на валу, Вт;

β – коэффициент ухудшения теплоотдачи электродвигателя при неподвижном роторе; $\beta = 0,5$;

$\Delta A_{\text{п}}$ – потери энергии при пуске, Дж.

Потери мощности в номинальном режиме:

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н},0,4} \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right). \quad (20.6)$$

Данные $P_{\text{н},0,4}$ и $\eta_{\text{н}}$ взять из табл. 20.3.

Потери мощности при эффективной мощности на валу:

$$\Delta P_{\varepsilon} = P_{\varepsilon} \left(\frac{1 - \eta_{\varepsilon}}{\eta_{\varepsilon}} \right). \quad (20.7)$$

КПД при эффективной мощности на валу:

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) \left(\frac{\alpha_{\text{н}} + x_{\varepsilon}}{x_{\varepsilon}} \right) \left(\frac{x_{\varepsilon}}{\alpha_{\text{н}} + 1} \right)}, \quad (20.8)$$

где $\alpha_{\text{н}} = 0,5$; $x_{\varepsilon} = P_{\varepsilon} / P_{\text{н},0,4}$.

Потери энергии при пуске, пренебрегая сопротивлением обмотки статора:

$$A_{\text{п}} = 3 J_{\text{р.д}} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (20.9)$$

где $J_{\text{р.д}}$ – из табл. 20.3.

ω_0 – угловая синхронная скорость электромагнитного поля, рад/с; при 2 полюсах $\omega_0 = 314$ рад/с; при 4 полюсах $\omega_0 = 157$ рад/с; при 6 полюсах $\omega_0 = 104,66$ рад/с; при 8 полюсах $\omega_0 = 78,5$ рад/с. Число полюсов указано цифрами 2, 4, 6, 8 в обозначении электродвигателя.

Фактическое число включений в час:

$$Z_{\phi} = \frac{60}{t_{\text{ц}}}. \quad (20.10)$$

Должно соблюдаться условие

$$Z_{\phi} < Z_{\text{доп}}. \quad (20.11)$$

Контрольные вопросы:

1. Почему для режима S3 применяют специальные электродвигатели повышенного скольжения? В чем их отличие от электродвигателей общепромышленной серии?
2. Какую мощность (большую или меньшую) обеспечивает электродвигатель режима S3 при работе в режиме S1?
3. Как выбирают электродвигатель по мощности для режима работы S3?

ВЫБОР АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ РЕЖИМА S1 ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ S3

Цель занятия: освоить методику выбора асинхронного электродвигателя режима S1 для работы в режиме S3.

Задача. Для заданной нагрузочной диаграммы подъемной лебедки выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором режима S1.

Вопросы для самоподготовки:

1. Объясните, чем отличается режим работы S4 электропривода от режима работы S3?
2. Объясните, чем отличается режим работы S5 электропривода от режима работы S3?
3. Какое стандартное значение продолжительности включения имеют асинхронные электродвигатели серии АИР?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные по варианту из табл. 21.1. Построить нагрузочную диаграмму рабочей машины.
2. Найти эквивалентную мощность за цикл работы с учетом паузы. Предварительно выбрать электродвигатель режима S1.
3. Определить постоянную времени нагрева электродвигателя.
4. Определить коэффициенты термической и механической перегрузок и требуемую мощность электродвигателя режима S1.
5. Проверить выбранный асинхронный электродвигатель на преодоление максимальной нагрузки.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Исходные данные по варианту из табл. 21.1 выписать по форме табл. 21.2.

Таблица 21.1

Исходные данные

Вариант	Мощность по периодам, кВт				Время по периодам, мин				Синхронная частота вращения электродвигателя n_0 , мин ⁻¹
	1	2	3	4	1	2	3	4	
	P_1	P_2	P_3	P_4	t_1	t_2	t_3	t_4	
1	0,47	0	0,15	0	0,5	1	0,5	1	1500
2	0,7	0	0,23	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
3	1,0	0	0,33	0	0,4	0,8	0,4	0,8	
4	1,4	0	0,47	0	0,5	1	0,5	1	
5	2,0	0	0,7	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
6	2,85	0	0,95	0	0,5	1	0,5	1	
7	4,1	0	1,3	0	0,4	0,8	0,4	0,8	
8	5,6	0	1,9	0	0,5	1	0,5	1	1500
9	7,6	0	2,5	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
10	10	0	3,4	0	0,4	0,8	0,4	0,8	
11	1,4	0	4,6	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
12	0,7	0	0,22	0	0,5	1	0,5	1	1000
13	1,0	0	0,32	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
14	1,3	0	0,5	0	0,4	0,8	0,4	0,8	
15	1,9	0	0,8	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
16	2,8	0	0,9	0	0,5	1	0,5	1	
17	4,0	0	1,2	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
18	5,5	0	2,0	0	0,4	0,8	0,4	0,8	
19	7,7	0	2,3	0	0,5	1	0,5	1	
20	10,1	0	3,3	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
21	13,8	0	4,5	0	0,4	0,8	0,4	0,8	750
22	0,65	0	0,2	0	0,5	1	0,5	1	
23	0,9	0	0,25	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
24	1,3	0	0,4	0	0,4	0,8	0,4	0,8	750
25	1,8	0	0,6	0	0,5	1	0,5	1	
26	2,5	0	0,8	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
27	3,5	0	1,2	0	0,4	0,8	0,4	0,8	
28	5,0	0	1,6	0	0,5	1	0,5	1	
29	7,1	0	2,1	0	0,45	0,9	0,45	0,9	
30	9,0	0	3,0	0	0,4	0,8	0,4	0,8	

Таблица 21.2

Исходные данные по варианту

Вариант	Мощность по периодам, кВт				Время по периодам, мин				Синхронная частота вращения электродвигателя n_0 , мин ⁻¹
	1	2	3	4	1	2	3	4	
	P_1	P_2	P_3	P_4	t_1	t_2	t_3	t_4	

Построить нагрузочную диаграмму $P = f(t)$ таким образом, чтобы получить чертеж 100×150 мм (образец представлен на рис. 21.1).

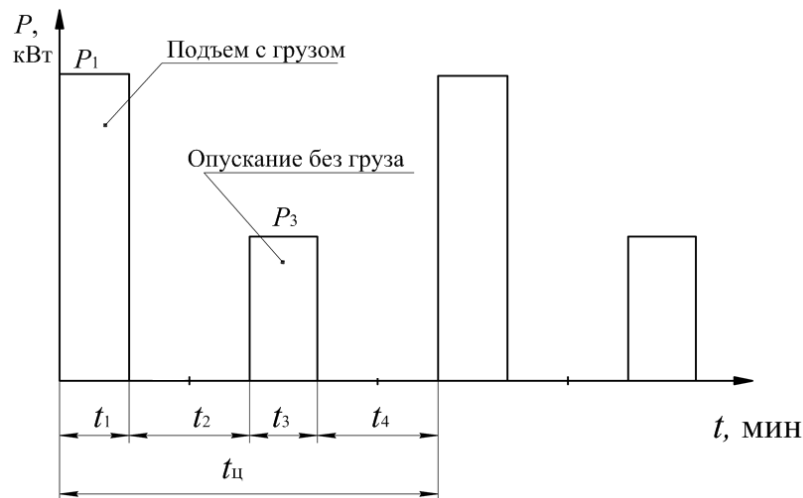


Рис. 21.1. Нагрузочная диаграмма подъемной лебедки, приведенная к валу электродвигателя

Параметры нагрузочной диаграммы:

время работы $t_p = t_1 + t_3$;

продолжительность включения $\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_n \beta_0}$;

время паузы $t_n = t_2 + t_4$.

• к пункту 2 плана занятия. Эквивалентная мощность нагрузочной диаграммы с учетом паузы:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_3 + \beta_0 (t_2 + t_4)}}, \quad (21.1)$$

где β_0 – коэффициент ухудшения теплоотдачи электродвигателя в неподвижном состоянии; принять $\beta_0 = 0,5$.

По табл. 21.3 выбрать электродвигатель с учетом частоты вращения по условию

$$P'_н \geq P_э. \quad (21.2)$$

Таблица 21.3

Технические данные асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	КПД η_n , %	Скольжение S_n , %	μ_n , о.е.	μ_k , о.е.	$\mu_{мин}$, о.е.	Масса m , кг	Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АИР56В4	0,18	64	10	2,3	2,2	1,8	3,9	1500
АИР63А4	0,25	68	12	2,3	2,2	1,8	4,7	
АИР63В4	0,37	68	12	2,3	2,2	1,8	5,6	
АИР71А4	0,55	70,5	9,5	2,3	2,2	1,8	7,8	
АИР71В4	0,75	73	10	2,2	2,2	1,6	8,8	
АИР80А4	1,1	75	7	2,2	2,2	1,6	9,9	
АИР80В4	1,5	78	7	2,2	2,2	1,6	12,1	
АИР90L4	2,2	81	7	2,1	2,2	1,6	17,0	
АИР100S4	3,0	82	6	2,0	2,2	1,6	21,6	
АИР100L4	4,0	85	6	2,0	2,2	1,6	27,3	
АИР112M4	5,5	85,5	4,5	2,0	2,5	1,6	41	1000
АИР132S4	7,5	87,5	4,0	2,0	2,5	1,6	58	
АИР63А6	0,19	56	14	2,0	2,2	1,6	4,65	
АИР63В6	0,25	59	14	2,0	2,2	1,6	5,6	
АИР71А6	0,37	65	8,5	2,0	2,2	1,6	7,8	
АИР71В6	0,55	68,5	8,5	2,0	2,2	1,6	8,6	
АИР80А6	0,75	70	8	2,0	2,2	1,6	11,6	
АИР80В6	1,1	74	8	2,0	2,2	1,6	13,4	
АИР90L6	1,5	76	7,5	2,0	2,2	1,6	16,9	
АИР100L6	2,2	81	5,5	2,0	2,2	1,6	22,8	
АИР112МА6	3,0	81	5	2,0	2,2	1,6	35	

Окончание табл. 21.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
АИР112МВ6	4,0	82	5	2,0	2,2	1,6	40,4	1000
АИР132S6	5,5	85	4	2,0	2,2	1,6	57	
АИР132М6	7,5	85,5	4	2,0	2,2	1,6	68	
АИР71В8	0,25	56	8	1,8	1,9	1,4	7,8	750
АИР80А8	0,37	60	6,5	1,8	1,9	1,4	13,8	
АИР80В8	0,55	64	6,5	1,8	1,9	1,4	13,5	
АИР90LА8	0,75	70	7	1,6	1,7	1,2	19,7	
АИР90LВ8	1,1	72	7	1,6	1,7	1,2	22,3	
АИР100L8	1,5	76	6	1,6	1,7	1,2	31,3	
АИР112МА8	2,2	76,5	5,5	1,8	2,2	1,4	36	
АИР112МВ8	3,0	79	5,5	1,8	2,2	1,4	41	
АИР132S8	4,0	83	4,5	1,8	2,2	1,4	56	
АИР132М8	5,5	83	5	1,8	2,2	1,4	70	

• к пункту 3 плана занятия. Постоянную времени нагрева T_H электродвигателя определить по формуле

$$T_H = \frac{C}{A} = \frac{420m}{P_H \frac{(1-\eta_H)}{\eta_H} \frac{1}{\tau_{\text{доп.ном}}}}, \quad (21.3)$$

где $\tau_{\text{доп.ном}} = 80^\circ\text{C}$; остальные данные взять из табл. 21.3.

• к пункту 4 плана занятия. Коэффициент термической перегрузки электродвигателя определить по формуле

$$K_\tau = \frac{1 - e^{-\frac{t_p}{T_H \varepsilon}}}{1 - e^{-\frac{t_p}{T_H}}}. \quad (21.4)$$

Коэффициент механической перегрузки:

$$K_M = \sqrt{K_\tau (1 + \alpha)} - \alpha, \quad (21.5)$$

где α – отношение постоянных потерь к переменным; принять $\alpha = 0,6$.

Требуемая мощность электродвигателя с учетом коэффициента механической перегрузки определяется по уравнению

$$P_H > \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{K_M} = \frac{P_1}{K_M}. \quad (21.6)$$

Из табл. 21.3 выбрать электродвигатель по условию (21.6) и записать по форме табл. 21.4.

Таблица 21.4

Технические данные асинхронного электродвигателя

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_H , кВт	КПД η_H , %	Скольжение S_H , %	μ_H , о.е.	μ_K , о.е.	$\mu_{\text{мин}}$, о.е.	Масса m , кг	Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹

• к пункту 5 плана занятия. Проверку на преодоление максимальной нагрузки произвести по следующим формулам:

$$M_K > 1,1M_1; \quad (21.8)$$

$$M_K = \mu_K M_H; \quad (21.9)$$

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_H}; \quad (21.10)$$

$$\omega_H = \omega_0 (1 - S_H). \quad (21.11)$$

Контрольные вопросы:

1. Опишите методику выбора электродвигателя режима S1 для работы в режиме S3.

2. Чему равны номинальные потери электродвигателя, имеющего номинальную мощность 0,75 кВт и номинальное значение КПД 75 %?

3. Коэффициент тепловой перегрузки $K_\tau = 2$. Чему будет равен коэффициент механической перегрузки, если пренебречь постоянными потерями мощности?

ВЫБОР АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ И МАХОВИКА ДЛЯ РАБОТЫ В ПЕРЕМЕЖАЮЩЕМСЯ РЕЖИМЕ С УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ НА ВАЛУ

Цель занятия: освоить методику выбора электродвигателя по мощности и маховика для перемежающегося режима работы с ударной нагрузкой на валу.

Задача. В хозяйстве решено спроектировать сеносооломопресс. Выбрать электродвигатель и маховик для работы с упрощенной нагрузочной диаграммой сеносооломопресса.

Вопросы для самоподготовки:

1. Какой режим работы называется перемежающимся? Каковы его стандартные параметры?
2. Какую нагрузку на валу называют ударной?

Литература:

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Электротехнический справочник : справочник / под ред. П. Г. Грудинского [и др.]. – Т. 3. – 5-е изд. – Москва : Энергия, 1976. – 568 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные своего варианта задания.
2. Построить нагрузочную диаграмму и определить ее параметры.
3. Определить средний момент нагрузки. Предварительно выбрать электродвигатель и определить его параметры.

4. Найти коэффициенты по графикам.
5. Определить требуемый момент инерции маховика, приведенный к валу электродвигателя.

Методические указания:

- к пункту 1 плана занятия. Выписать исходные данные по варианту из табл. 22.1 по форме табл. 22.2.

Таблица 22.1

Исходные данные

Вариант	Момент на участках, Н·м		Время на участках, с		Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹
	M_1	M_2	t_1	t_2	
1	30	3,0	0,4	1,6	1000
2	45	4,5	0,4	2,15	
3	66	6	0,4	1,2	
4	90	9	0,4	1,6	
5	120	12	0,4	2,15	
6	165	16,5	0,4	1,2	
7	300	30	0,5	2,0	
8	330	33	0,5	2,83	
9	450	45	0,5	1,5	
10	555	55	0,5	2,0	
11	660	66	0,5	2,83	
12	900	90	0,5	2,0	
13	1100	110	0,3	1,2	
14	1350	135	0,3	1,7	
15	1650	165	0,3	1,7	
16	40	4	0,3	1,2	750
17	60	6	0,3	1,7	
18	85	8,5	0,3	0,9	
19	120	12	0,4	1,6	
20	150	15	0,4	2,15	
21	260	26	0,4	1,2	
22	300	30	0,4	1,6	
23	400	40	0,4	2,15	
24	500	50	0,4	1,2	
25	700	70	0,5	2,0	
26	800	80	0,5	2,83	
27	1000	100	0,5	1,5	
28	1400	140	0,5	2,0	
29	1600	160	0,5	2,83	
30	1800	180	0,5	2,0	

Таблица 22.2

Исходные данные по варианту

Вариант	Момент на участках, Н·м		Время на участках, с		Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹
	M_1	M_2	t_1	t_2	

• к пункту 2 плана занятия. Построить нагрузочную диаграмму. Размер рисунка – 100×150 мм. Вид нагрузочной диаграммы приведен на рис. 22.1.

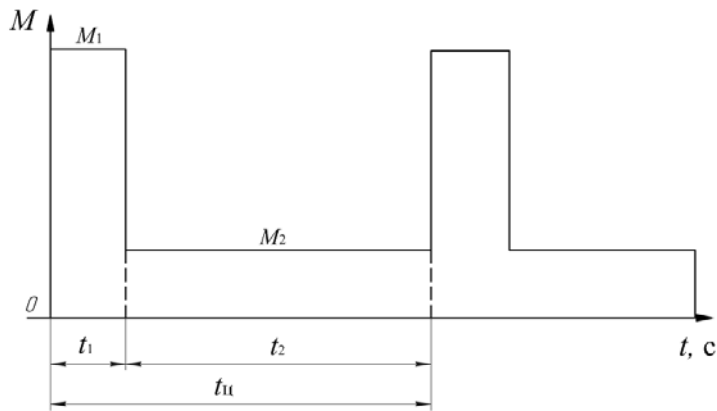


Рис. 22.1. Нагрузочная диаграмма рабочей машины, приведенная к валу электродвигателя

Определить параметры нагрузочной диаграммы. Относительное время рабочего хода:

$$k = \frac{t_1}{t_1 + t_2}. \quad (22.1)$$

Относительный момент холостого хода:

$$a = \frac{M_2}{M_1}. \quad (22.2)$$

• к пункту 3 плана занятия. Предварительно выбрать электродвигатель с номинальным моментом:

$$M_{н.пр} \geq 1,2M_1 [k + a(1 - k)]. \quad (22.3)$$

Номинальная мощность электродвигателя, Вт:

$$P_n \geq M_{н.пр} 0,1045n_0, \quad (22.4)$$

где n_0 – из табл. 22.1.

Выбирать электродвигатель из табл. 22.3 по условию (22.4) с учетом частоты вращения.

Таблица 22.3

Технические данные асинхронного электродвигателя

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	Скольжение S_n , %	Момент инерции ротора $J_{р.дв.}$, кг·м ²	Кратность критического момента μ_k , о.е.	Синхронная частота n_0 , мин ⁻¹
1	2	3	4	5	6
АИР80В6	1,1	8,0	0,0046	2,2	1000
АИР90L6	1,5	7,5	0,0073	2,2	
АИР100L6	2,2	5,5	0,013	2,2	
АИР112МА6	3,0	5,0	0,017	2,2	
АИР112МВ6	4,0	5,0	0,021	2,2	
АИР132S6	5,5	4,0	0,04	2,2	
АИР132М6	7,5	4,0	0,058	2,2	
АИР160S6	11	3,0	0,12	2,7	
АИР160М6	15	3,0	0,15	2,7	
АИР180М6	18,5	2,0	0,2	2,4	
АИР200М6	22	2,0	0,36	2,4	
АИР200L6	30	2,5	0,4	2,4	
АИР225М6	37	2,0	0,61	2,3	
АИР250S6	45	2,0	1,0	2,3	
АИР250М6	50	2,0	1,1	2,3	
АИР90LВ8	1,1	7,0	0,0086	1,7	750
АИР100L8	1,5	6,0	0,013	1,7	
АИР112МА8	2,2	5,5	0,017	2,2	
АИР112МВ8	3,0	5,5	0,025	2,2	
АИР132S8	4,0	4,5	0,042	2,2	
АИР132М8	5,5	5,0	0,057	2,2	
АИР160S8	7,5	3,0	0,12	2,4	750
АИР160М8	11	3,0	0,15	2,4	
АИР180М8	15	2,5	0,23	2,2	
АИР200М8	18,5	2,5	0,36	2,3	

Окончание табл. 22.3

1	2	3	4	5	6
АИР200L8	22	2,5	0,40	2,3	750
АИР225M8	30	2,5	0,61	2,3	
АИР250S8	37	2,0	1,1	2,3	
АИР250M8	45	2,0	1,2	2,2	
АИР280S8	55	3,0	3,2	2,2	

Записать технические данные электродвигателя из табл. 22.3 по форме табл. 22.4.

Таблица 22.4

Технические данные асинхронного электродвигателя

Электродвигатель	P_n , кВт	S_n , %	$J_{р.лв}$, кг·м ²	μ_k , о.е.	n_0 , мин ⁻¹

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (22.5)$$

Номинальная угловая скорость ротора:

$$\omega_n = \omega_0(1 - S_n). \quad (22.6)$$

Синхронная угловая скорость электромагнитного поля статора:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = 0,1045n_0. \quad (22.7)$$

Максимальный допустимый момент электродвигателя:

$$M_{\max} = 0,85\mu_k M_n. \quad (22.8)$$

• к пункту 4 плана занятия. Определить коэффициенты:

$$A = \frac{M_{\max}}{M_1}; \quad (22.9)$$

$$B = \frac{M_n}{M_1}; \quad (22.10)$$

$$a_0 = \frac{A - a}{1 - a}; \quad (22.11)$$

$$b_0 = \frac{1}{1 - a} \sqrt{B^2 - a^2 - 2ak(1 - a)}. \quad (22.12)$$

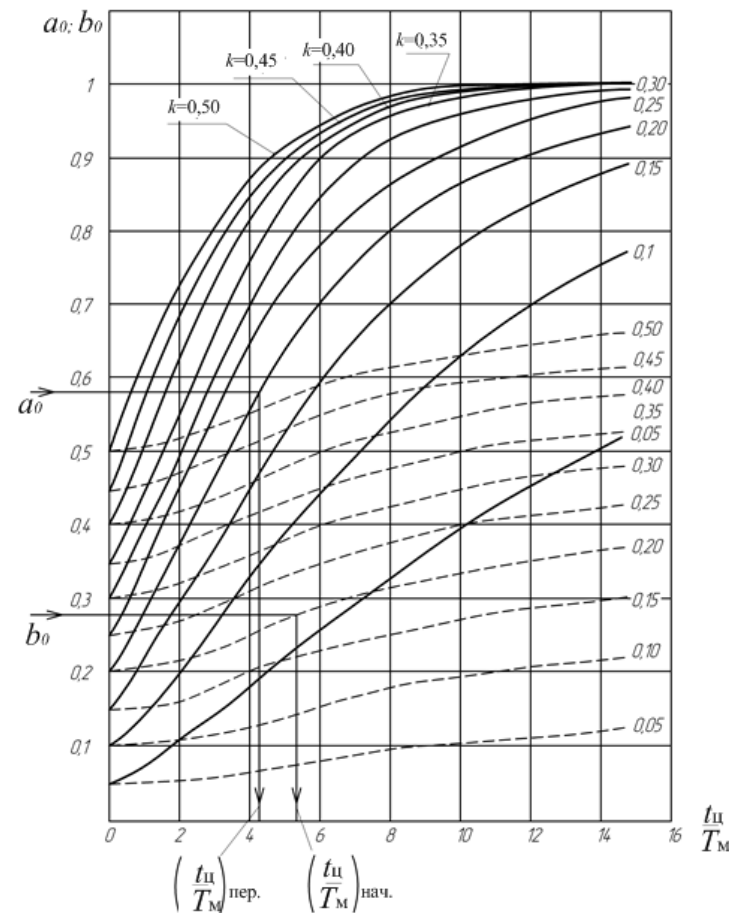


Рис. 22.2. Кривые к выбору коэффициента $\frac{t_{ц}}{T_M}$

По найденным коэффициентам a_0 и b_0 на кривых рис. 22.2 [6] (сплошные линии для a_0 и пунктирные для b_0) находятся два значения коэффициентов $\frac{t_{ц}}{T_M}$: по a_0 находится коэффициент по допустимой перегрузке $\left(\frac{t_{ц}}{T_M}\right)_{пер}$; по b_0 находится коэффициент по нагреву (рис. 22.2).

Для дальнейших расчетов выбирается меньшее значение из коэффициентов $\left(\frac{t_{ц}}{T_M}\right)_{пер}$ и $\left(\frac{t_{ц}}{T_M}\right)_{нагр}$, которое обозначим $\left(\frac{t_{ц}}{T_M}\right)_{мин}$. Записать его значение.

• **к пункту 5 плана занятия.** Приведенный к валу электродвигателя момент инерции привода должен составлять величину, определенную по уравнению

$$J_{прив} = \frac{M_{н} t_{ц}}{\left(\frac{t_{ц}}{T_M}\right)_{мин} \omega_0 S_{н}}. \quad (22.13)$$

Требуемый момент инерции маховика определяется по уравнению

$$J_{махов} = J_{прив} - J_{р.дв}. \quad (22.14)$$

Контрольные вопросы:

1. Какую роль играет маховик в период сброса и набора нагрузки?
2. Опишите методику выбора электродвигателя и маховика для перемежающегося режима работы с ударной нагрузкой.
3. Какая нагрузка на валу называется циклической пульсирующей?

ВЫБОР АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ S8

Цель занятия: освоить методику выбора асинхронного электродвигателя по мощности для работы в режиме S8.

Задача. На обкаточном стенде, используемом в мастерской по ремонту сельскохозяйственной техники, решили использовать асинхронный электродвигатель и преобразователь частоты.

Выбрать электродвигатель по мощности для работы в режиме S8.

Вопросы для самоподготовки:

1. Какой режим работы называется S8?
2. Как изменяется охлаждение асинхронного самовентилируемого электродвигателя при уменьшении скорости вращения?

Литература. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

План занятия:

1. Выписать данные по своему варианту.
2. Построить нагрузочные диаграммы момента и скорости.
3. Вычислить эффективный момент с учетом коэффициентов ухудшения теплоотдачи при скоростях вращения ниже номинальной.
4. Определить мощность и выбрать электродвигатель.

Методические указания:

• **к пункту 1 плана занятия.** Выписать данные по своему варианту из табл. 23.1 по форме табл. 23.2.

Таблица 23.1

Исходные данные											
Вариант	Момент (Н·м) на участках					Угловая скорость (рад/с) на участках					Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,7	2,4	2,2	2,0	1,8	88,5	177	295	206,5	118	3000
2	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5	87,9	175,8	293	205,1	117,2	
3	5,0	4,8	4,3	3,8	3,4	89,4	178,8	298	208,6	119,2	
4	7,5	6,7	6,2	5,6	5,0	89,4	178,8	298	208,6	119,2	3000
5	10,0	9,4	8,5	7,5	6,8	89,4	178,8	298	208,6	119,2	
6	13,0	12	11	10	9	89,4	178,8	298	208,6	119,2	
7	19	17,5	15	14,5	13	89,4	178,8	298	208,6	119,2	3000
8	26	23,5	21	19,5	17	89,4	181,8	303	212,1	121,2	
9	38	34	31	24	28	90,9	182,7	304,5	213,1	121,8	
10	51	47	43	38,5	34	91,3	182,7	304,5	213,1	121,8	1500
11	5,5	5,0	4	3,5	3	91,3	84,7	141,3	98	56	
12	7,0	6,5	6	5,5	5	42	87	146	102	58	
13	10,5	10	9	8	7,2	43	87	146	102	58	1500
14	15,5	14,5	13	11,5	10,4	43	87	146	102	58	
15	21,0	19,5	17,5	16	14	44	88	147,5	103	59	
16	28	25,5	23,5	21	19	44	88	147,5	103	59	1500
17	38,5	35	32	29	25,5	45	89	149,9	104	60	
18	50	47	43	38	35	46	90	150,7	105	61	
19	75	70	63	56	50	47	91	151,5	106	62	1500
20	103	94	85	78	66	48	92	152,3	107	63	
21	8,0	7,5	6,5	6,0	5	28	57	96,1	67	38	
22	12,5	10,5	10	8,5	7,5	28	57	96,1	67	38	1000
23	16	15	13	12	11	29	58	96,8	68	39	
24	22	20,5	19	17	15	30	59	98,9	69	40	
25	31	29	26	24	21	29,8	59,6	99,4	69,5	39,7	1000
26	41	38	35	31	28	29,5	59,5	99,4	69,5	39,5	
27	57	52	48	43	38	30	60	100,4	70	40	

Окончание табл. 23.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	77	71	65	58	52	30	60	100,4	70	40	
29	113	100	95	85	75	30	61	101,5	71	41	
30	155	142	130	115	103	31	61	101,5	71	41	

Таблица 23.2

Исходные данные по варианту

Вариант	Момент (Н·м) на участках					Угловая скорость (рад/с) на участках					Синхронная частота вращения n_0 , мин ⁻¹
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	

• к пункту 2 плана занятия. Построить нагрузочные диаграммы момента и скорости, как показано на рис. 23.1, соблюдая масштаб построения.

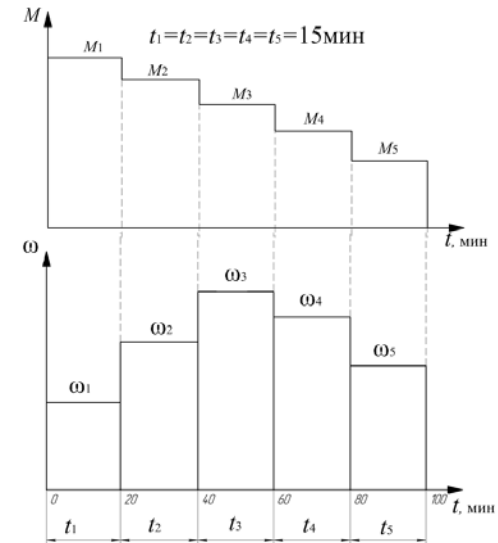


Рис. 23.1. Нагрузочная диаграмма обкаточного стенда

• к пункту 3 плана занятия. Регулирование угловой скорости электродвигателя с помощью преобразователя частоты обеспечивается при постоянном магнитном потоке, поэтому воспользуемся формулой эквивалентного момента:

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + M_4^2 t_4 + M_5^2 t_5}{t_1 \beta_1 + t_2 \beta_2 + t_3 \beta_3 + t_4 \beta_4 + t_5 \beta_5}}, \quad (23.1)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – коэффициенты ухудшения теплоотдачи электродвигателя при скорости вращения, отличающейся от номинальной скорости, о.е.

При наибольшей скорости вращения, т. е. при ω_3 , имеем $\beta_3 = 1$.

Изменение коэффициента ухудшения изоляции самовентилируемых асинхронных электродвигателей описывается уравнением

$$\beta = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^\alpha, \quad (23.2)$$

где $\beta_0 = 0,5$; $\omega_n = \omega_3$; $\alpha = 0,7-1,0$; примем $\alpha = 1,0$.

Например:

$$\beta_1 = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^1; \quad (23.3)$$

$$\beta_2 = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left(\frac{\omega_2}{\omega_3} \right)^1; \quad (23.4)$$

$$\beta_4 = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left(\frac{\omega_4}{\omega_3} \right)^1; \quad (23.5)$$

$$\beta_5 = \beta_0 + (1 - \beta_0) \left(\frac{\omega_5}{\omega_3} \right)^1. \quad (23.6)$$

• к пункту 3 плана занятия. Требуемая мощность электродвигателя определяется по формуле

$$P_n \geq M_3 \omega_3. \quad (23.7)$$

Выбрать из табл. 23.3 электродвигатель с учетом синхронной частоты вращения, заданной в табл. 23.1.

Таблица 23.3

Технические данные асинхронных электродвигателей

Типоразмер электродвигателя	Мощность P_n , кВт	Скольжение S_n , %	Типоразмер электродвигателя	Мощность P_n , кВт	Скольжение S_n , %
АИР71А2	0,75	6,0	АИР100L4	4,0	6,0
АИР71В2	1,1	6,5	АИР112М4	5,5	4,5
АИР80А2	1,5	5,0	АИР132S4	7,5	4,0
АИР80В2	2,2	5,0	АИР132М4	11,0	3,5
АИР90L2	3,0	5,0	АИР100S4	15,0	3,0
АИР100S2	4,0	5,0	АИР80А6	0,75	8,0
АИР100L2	5,5	5,0	АИР80В6	1,1	8,0
АИР112М2	7,5	3,5	АИР90L6	1,5	7,5
АИР132М2	11,0	3,0	АИР100L6	2,2	5,5
АИР160S2	15,0	3,0	АИР112МА6	3,0	5,0
АИР71В4	0,75	10,0	АИР112МВ6	4,0	5,0
АИР80А4	1,1	7,0	АИР132S6	5,5	4,0
АИР80В4	1,5	7,0	АИР132М6	7,5	4,0
АИР90L4	2,2	7,0	АИР160S6	11,0	3,0
АИР100S4	3,0	6,0	АИР160S6	15,0	3,0

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается расчет мощности электродвигателя по методу эквивалентных величин для режимов работы S1 и S8?

2. Если преобразователь частоты используется не с самовентилируемым закрытым электродвигателем, как в условиях задачи практического занятия №23, и электродвигатель имеет внешний вентилятор (наездник) для охлаждения, то как изменятся расчеты, произведенные по формуле (23.1)?

ВЫБОР АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА СКРЕПЕРНОГО ТРАНСПОРТЕРА УС-Ф-170

Цель занятия: освоить методику выбора электродвигателя для привода скреперной установки возвратно-поступательного движения в двух открытых каналах.

Задача. Выбрать электродвигатель для скреперной установки. В хозяйстве на ферме КРС решено использовать скреперные установки в двух открытых каналах промышленного типа УС-Ф-170. Длину транспортеров определили по месту их применения. На выходном валу редуктора находится литая звездочка для круглозвенной цепи, шаг цепи $b = 0,23$ м. Состав транспортера УС-Ф-170 представлен рис. 24.1 [7].

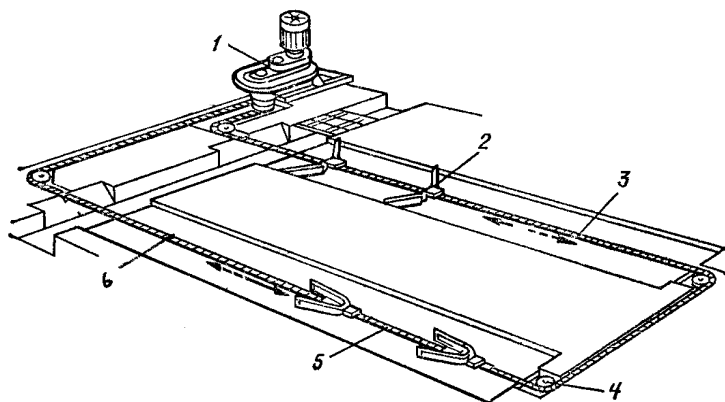


Рис. 24.1. Промышленная скреперная установка типа УС-Ф-170:
1 – привод; 2 – скрепер; 3 – рабочий контур; 4 – поворотное устройство;
5 – промежуточная штанга; 6 – круглозвенная цепь

Тяговый орган – круглозвенная цепь 6. Она находится на участке между первыми скребками каналов, захватывая приводную звездочку, и передними скребками каналов, захватывая поворотные звездочки. Между скреперами находятся промежуточные штанги 5.

Складывающийся скрепер представлен на рис. 24.2 в рабочем положении при движении в направлении сплошной стрелки. Он складывается, если движется в направлении пунктирной стрелки (рис. 24.2).

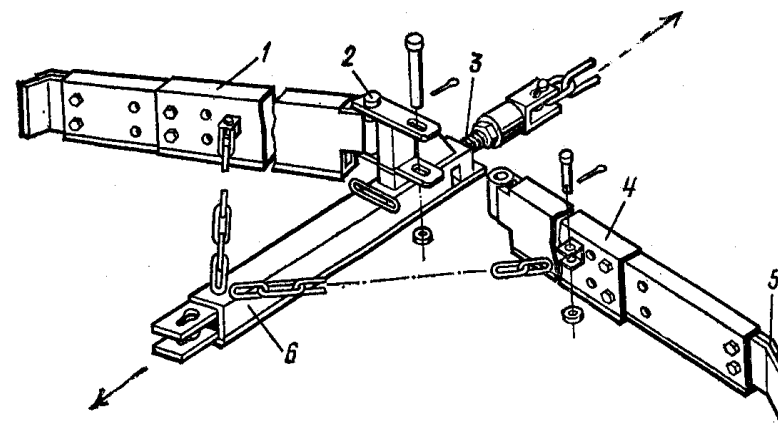


Рис. 24.2. Складывающийся скрепер установки УС-Ф-170:
1, 4 – скребки; 2 – шарнир; 3 – натяжное устройство;
5 – резиновый чистик; 6 – ползун

Скреперная установка совершает столько ходов, сколько имеет скреперов. Количество циклов (вперед-назад) равно количеству скреперов в одном канале. Скреперы перемещаются на расстояние $L_{\text{хода}}$. Оно больше расстояния между скреперами на 3 метра.

Технологическая схема работы скреперной установки с двумя рабочими каналами и двумя скреперами в канале приведена на рис. 24.3.

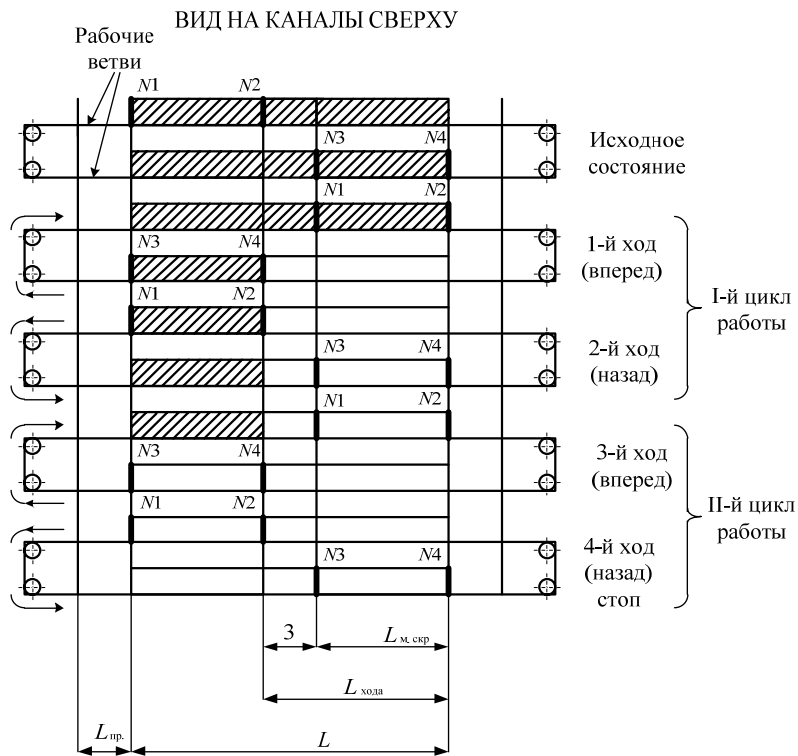


Рис. 24.3. Технологическая схема работы скреперной установки с двумя рабочими каналами

Вопросы для самоподготовки:

1. Объясните принцип действия скреперных установок.
2. Постройте график механической характеристики скреперной установки.

Литература. Фоменков, А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий : учебник / А. П. Фоменков. – Москва : Колос, 1984. – 288 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные по своему варианту .
2. Выполнить расчеты для построения нагрузочной диаграммы и построить ее.

3. Выбрать электродвигатель.
4. Записать результаты расчетов по форме табл. 24.3.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Записать исходные данные из табл. 24.1 по форме табл. 24.2 .

Таблица 24.1

Исходные данные

Вариант	Длина канала L , м	Скорость движения скрепера v , м/с	Количество уборок в сутки Z	Угловая скорость приводной звездочки ω , рад/с
1	2	3	4	5
1	100	0,15	1	0,37
2	104	0,2	1	0,50
3	108	0,25	1	0,62
4	112	0,15	1	0,37
5	116	0,2	1	0,50
6	120	0,25	1	0,62
7	124	0,15	1	0,37
8	130	0,2	1	0,50
9	135	0,25	1	0,62
10	140	0,15	2	0,32
11	145	0,2	2	0,42
12	150	0,25	2	0,53
13	155	0,15	2	0,32
14	160	0,2	2	0,42
15	165	0,25	2	0,53
16	170	0,15	2	0,32
17	175	0,2	2	0,42
18	180	0,25	2	0,53
19	185	0,15	2	0,32
20	190	0,2	3	0,36
21	195	0,25	3	0,46
22	200	0,15	3	0,27
23	205	0,2	3	0,36
24	210	0,25	3	0,46
25	215	0,15	3	0,27
26	220	0,2	3	0,36

Окончание табл. 24.1

1	2	3	4	5
27	225	0,25	3	0,46
28	230	0,15	3	0,27
29	235	0,2	3	0,36
30	240	0,25	3	0,46

Таблица 24.2

Исходные данные и результаты расчетов

Вариант	Исходные данные				Результаты расчетов						
	Длина канала L , м	Скорость движения скрепера v , м/с	Количество уборок в сутки Z	Угловая скорость звездочки $\omega_{р.м}$, рад/с	Максимальная мощность при первом ходе P_1 , Вт	Время работы установки $t_{общ}$, с	Эквивалентная мощность $P_{эв}$, Вт по (24.23)	Мощность предварительно выбранного электродвигателя по (24.25)	Окончательно выбранная мощность электродвигателя $P_{ис}$, кВт	Условие (24.39) в цифрах	Условие (24.34) в цифрах

• **к пункту 2 плана занятия.** Нагрузочную диаграмму построить на период одной уборки. Сначала определить параметры технологической схемы и нагрузочной диаграммы.

Расстояние между скреперами:

$$L_{скр} = \frac{L - 3}{Z_{скр}}, \quad (24.1)$$

где L – длина навозного канала, м;

$Z_{скр}$ – количество скреперов в канале; $Z_{скр} = 2$.

Длина хода скреперов:

$$L_{хода} = L - L_{скр} (Z_{скр} - 1). \quad (24.2)$$

Время одного хода скреперов (вперед или назад):

$$t_{1ход} = \frac{L_{хода}}{v},$$

где v – скорость скреперов, м/с.

Из практики известно, что при скорости $v = 0,2$ м/с удельная мощность на валу транспортера составляет 65 Вт/м при одной уборке в сутки.

Удельная мощность находится в обратной зависимости от числа уборок в сутки и в прямо пропорциональной зависимости от скорости перемещения скребков:

$$P_{уд} = \frac{65v}{0,2Z_{уб}}. \quad (24.3)$$

Максимальная мощность при первом ходе, приведенная к валу электродвигателя:

$$P_1 = P_{уд} L_{хода} \frac{1}{\eta_{пер.общ}}, \quad (24.4)$$

где $\eta_{пер.общ}$ – общий КПД передачи, о.е.

Общее КПД передачи зависит от числа и вида применяемых передач. Общее передаточное отношение передач:

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{р.м}}, \quad (24.5)$$

где $\omega_{дв}$ и $\omega_{р.м}$ – угловая скорость электродвигателя и рабочей машины, рад/с.

Примем $\omega_{дв} \approx 100$ рад/с (6-полюсный асинхронный электродвигатель).

Если $i > 100$, то применяют 2-ступенчатую механическую передачу; если $i > 400$, то выбирают трехступенчатую механическую передачу. КПД одной ступени механической передачи $\eta = 0,98$. Общий КПД механической передачи:

$$\eta_{пер.общ} = \eta^n, \quad (24.6)$$

где n – количество ступеней механической передачи.

Для построения нагрузочной диаграммы определить нагрузки при всех циклах работы (см. рис. 24.3).

1-й ход (вперед). Скреперы $N1$ и $N2$ складываются и перемещаются через навоз вправо, а скреперы $N3$ и $N4$ перемещают навоз по длине $L_{хода}$ влево в навозоуборочный канал.

Примем, что движение 2 скреперов через навоз требует 30 % мощности P_1 , вычисленной по формуле (24.4). Тогда общая нагрузка при 1-м ходе равна

$$P_{1\text{ход}} = 1,3P_1. \quad (24.7)$$

По данным, приведенным в [8], известно, что перемещение скреперов сначала вызывает скопление и сжатие навоза. Длина пути кареток до полного сжатия составляет $0,55L_{\text{хода}}$, а разгрузка навоза скрепером происходит на участке пути, составляющем $0,15L_{\text{хода}}$. Изменение мощности при первом ходе имеет вид рис. 24.4.

Параметры первого хода:

$$P_{1\text{нач}} = 0,1P_{1\text{ход}}; \quad (24.8)$$

$$P_{1\text{кон}} = 0,5P_{1\text{ход}}; \quad (24.9)$$

$$t_{1\text{ход}} = \frac{L_{\text{хода}}}{v}; \quad (24.10)$$

$$t_1 = 0,55t_{1\text{ход}}; \quad (24.11)$$

$$t_3 = 0,15t_{1\text{ход}}; \quad (24.12)$$

$$t_2 = t_{1\text{ход}} - (t_1 + t_3). \quad (24.13)$$

2-й ход (назад). Скреперы *N1* и *N2* движутся влево, сгребая навоз, а скрепер *N4* – вправо, вхолостую. Скрепер *N3* – сначала перемещается в навозе в сложенном виде. Следовательно, на 2-м участке мощность составляет:

$$P_{2\text{ход}} = 1,15P_1. \quad (24.14)$$

Параметры 2-го хода:

$$P_{2\text{нач}} = 0,1P_{2\text{ход}}; \quad (24.15)$$

$$P_{2\text{кон}} = 0,5P_{2\text{ход}}. \quad (24.16)$$

Отдельные участки времени 2-го хода аналогичны участкам времени 1-го хода (рис. 24.4). Между 1-м и 2-м ходами принять время остановки $t_{\text{ост}}$ и пуска $t_{\text{п}}$:

$$t_{\text{ост}} + t_{\text{п}} = 2c.$$

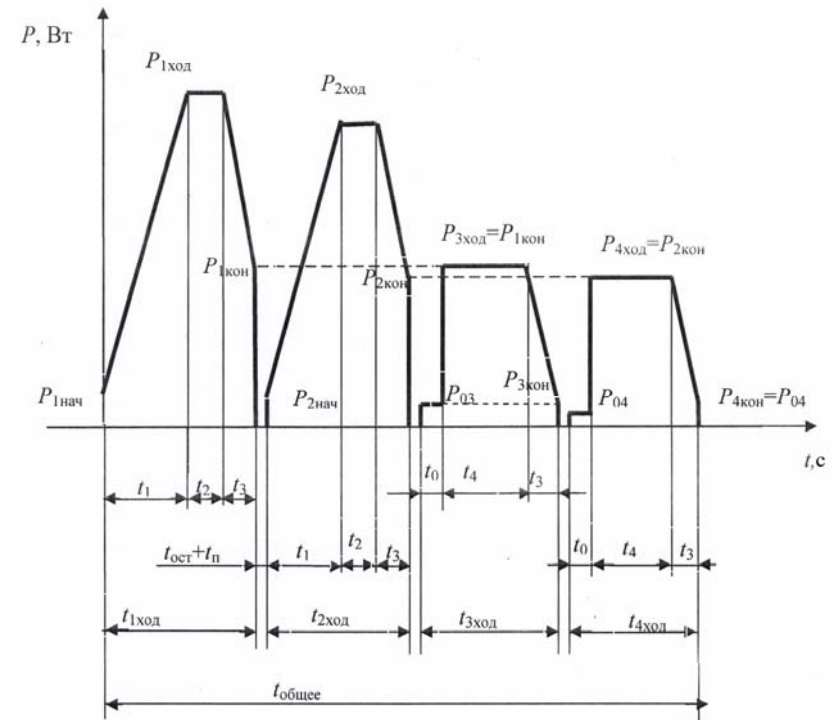


Рис. 24.4. Нагрузочная диаграмма электродвигателя скреперной установки с двумя рабочими каналами

3-й ход (вперед). В конце 2-го хода оставшийся навоз сжат. Скреперы *N3* и *N4* движутся влево. Первые 3 метра они движутся вхолостую. Это время составляет:

$$t_0 = \frac{3}{v}. \quad (24.17)$$

Мощность холостого хода составляет:

$$P_{03} = 0,5P_{1\text{нач}}. \quad (24.18)$$

Время перемещения сжатого навоза составляет:

$$t_4 = t_{3\text{ход}} - (t_0 + t_3), \quad (24.19)$$

где $t_{3\text{ход}} = t_{2\text{ход}} = t_{1\text{ход}}$.

Мощность на перемещение сжатого навоза:

$$P_{3\text{ход}} = P_{1\text{кон}} \cdot \quad (24.20)$$

В конце третьего хода мощность равна

$$P_{3\text{кон}} = P_{03} \cdot \quad (24.21)$$

4-й ход (назад) аналогичен третьему:

$$P_{04} = 0,5P_{2\text{нач}}; \quad P_{4\text{ход}} = P_{2\text{кон}} \cdot \quad (24.22)$$

• к пункту 3 плана занятия. Найти эквивалентную мощность за время работы по формуле

$$P_{\text{эkv}} = \sqrt{\frac{(P_{1\text{нач}}^2 + P_{1\text{нач}}P_{1\text{ход}} + P_{1\text{ход}}^2) \frac{t_1}{3} + P_{1\text{ход}}^2 t_2 + (P_{1\text{ход}}^2 + P_{1\text{ход}}P_{1\text{кон}} + P_{1\text{кон}}^2) \frac{t_3}{3} + t_{1\text{ход}} + (P_{2\text{нач}}^2 + P_{2\text{нач}}P_{2\text{ход}} + P_{2\text{ход}}^2) \frac{t_1}{3} + P_{2\text{ход}}^2 t_2 + (P_{2\text{ход}}^2 + P_{2\text{ход}}P_{2\text{кон}} + P_{2\text{кон}}^2) \frac{t_3}{3} + t_{2\text{ход}} + P_{03}^2 t_0 + P_{3\text{ход}}^2 t_4 + (P_{3\text{ход}}^2 + P_{3\text{ход}}P_{3\text{кон}} + P_{3\text{кон}}^2) \frac{t_3}{3} + P_{04}^2 t_0 + P_{4\text{ход}}^2 t_4 + (P_{4\text{ход}}^2 + P_{4\text{ход}}P_{4\text{кон}} + P_{4\text{кон}}^2) \frac{t_3}{3} + t_{3\text{ход}} + (P_{4\text{ход}}^2 + P_{4\text{ход}}P_{4\text{кон}} + P_{4\text{кон}}^2) \frac{t_3}{3} + t_{4\text{ход}}}{t_{\text{раб}}}} \quad (24.23)$$

Время работы установки:

$$t_{\text{раб}} = t_{1\text{ход}} + t_{2\text{ход}} + t_{3\text{ход}} + t_{4\text{ход}} \cdot \quad (24.24)$$

Теперь нагрузочная диаграмма имеет вид рис. 24.5.

Общее время работы мало (минуты), а промежуток времени до включения электродвигателя для второй уборки гораздо больше (измеряется часами). Поэтому имеем режим работы электропривода S2 (кратковременный).

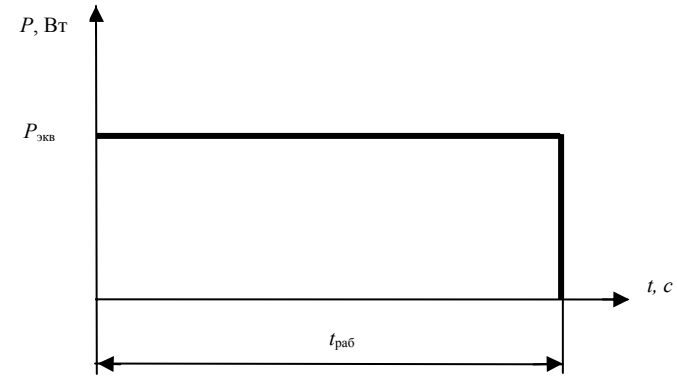


Рис. 24.5. Эквивалентная нагрузочная диаграмма электродвигателя скреперной установки с двумя рабочими каналами

Выбрать электродвигатель режима S1 для работы в режиме S2.

Из табл. 24.3 выбрать 6-полюсный асинхронный электродвигатель по условию

$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{эkv}} \cdot \quad (24.25)$$

Таблица 24.3

Технические данные 6-полюсных асинхронных электродвигателей

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{\text{н}}$, кВт	Номинальная частота вращения $n_{\text{н}}$, мин ⁻¹	Кратность момента			Коэффициент потерь мощности $\eta_{\text{п}}$, о.е.	Постоянная времени нагрева $T_{\text{н}}$, мин
			пускового $\mu_{\text{пуск}}$, о.е.	минимального $\mu_{\text{мин}}$, о.е.	критического $\mu_{\text{к}}$, о.е.		
4AA63A6	0,18	885	2,2	1,5	2,2	0,38	14,56
4AA63B6	0,25	892	2,2	1,5	2,2	0,53	15,05
4A71A6	0,37	908	2,0	1,8	2,2	0,49	23,48
4A71B6	0,55	900	2,0	1,8	2,2	0,36	20,41
4A80A6	0,75	916	2,0	1,6	2,2	0,53	21,56
4A80B6	1,1	920	2,0	1,6	2,2	0,57	20,80
4A90L6	1,5	936	2,0	1,7	2,2	0,43	21,40
4A100L6	2,2	949	2,0	1,6	2,2	0,39	26,50
4A112MA6	3,0	953	2,0	1,8	2,5	0,40	29,83
4A112MB6	4,0	967	2,0	1,8	2,5	0,39	27,60
4A132BS6	5,5	968	2,0	1,8	2,5	0,86	32,06

Предварительно выбранный электродвигатель проверить по условию нагревания. Для этого найти коэффициенты термической K_τ и механической K_m перегрузок по формулам

$$K_\tau = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{\text{раб}}}{T_n}}}, \quad (24.26)$$

$$K_m = \sqrt{K_\tau(1 + \alpha_n) - \alpha_n}, \quad (24.27)$$

где α_n – коэффициент потерь мощности, взять по табл. 24.3 для предварительно выбранного электродвигателя.

Мощность электродвигателя должна удовлетворять условию

$$P_n > \frac{P_{\text{экр}}}{K_m}. \quad (24.28)$$

Для выбранного электродвигателя рассчитать номинальный момент M_n , номинальную угловую скорость ω_n , пусковой момент $M_{\text{пуск}}$, минимальный момент при пуске $M_{\text{мин при пуске}}$, критический момент M_k по формулам

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (24.29)$$

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = 0,1045 n_n, \quad (24.30)$$

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} M_n, \quad (24.31)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_n, \quad (24.32)$$

$$M_k = \mu_k M_n. \quad (24.33)$$

Проверка на преодоление максимальной нагрузки является определяющей при выборе электродвигателя режима работы S1 для работы в режиме работы S2, поэтому ее производят первой.

Проверка на преодоление максимальной нагрузки производится по следующему условию:

$$M_k u_1^2 > 1,1 M_{\text{с. макс}}, \quad (24.34)$$

где $u_1 = 0,95$;

M_k – критический момент электродвигателя, Н·м:

$$M_{\text{с. макс}} \approx \frac{P_{\text{Iход}}}{\omega_n}. \quad (24.35)$$

Если условие (24.34) для выбранного электродвигателя не удовлетворяется, то выбирается больший по мощности электродвигатель.

Условия пуска рабочей машины определить из нагрузочной диаграммы. Наибольший момент сопротивления при пуске соответствует нагрузке $P_{\text{Iнач}}$. Эта нагрузка создается моментом сопротивления:

$$M_{\text{с0}} = \frac{P_{\text{Iнач}}}{\omega_n}. \quad (24.36)$$

Момент трогания транспортера:

$$M_{\text{с. трог}} = 1,2 M_{\text{с0}}. \quad (24.37)$$

Проверка по условиям пуска:

$$M_{\text{пуск}} u_1^2 > 1,1 M_{\text{с. трог}}, \quad (24.38)$$

$$M_{\text{мин}} u_1^2 > 1,1 M_{\text{с0}}, \quad (24.39)$$

где $u_1 = 0,9$ (падение напряжения при пуске; принято 10 %).

Если по условиям пуска или преодоления максимальной нагрузки электродвигатель подходит, то расчет считают законченным.

Если условия (24.38) и (24.39) для выбранного электродвигателя не удовлетворяются, то выбирается больший по мощности электродвигатель.

Асинхронные электродвигатели для транспортеров должны быть выбраны сельскохозяйственные (с буквой С), климатического исполнения У, категории применения 1. Они должны иметь степень защиты IP54 или IP44.

Записать тип выбранного электродвигателя с учетом этих требований, в частности дополнить типоразмер электродвигателя (табл. 24.2) климатическим исполнением и категорией размещения.

• **к пункту 4 плана занятия.** Записать в табл. 24.2 данные расчетов и выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какая связь существует между количеством скреперов и количеством его ходов?

2. Нарисуйте в виде эскиза нагрузочную диаграмму электродвигателя скреперной установки при первом рабочем ходе.

ВЫБОР АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА КРУГОВОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель занятия: освоить методику выбора электродвигателя для привода горизонтального транспортера кругового движения.

Задача. В хозяйстве решили использовать скребковые транспортеры для уборки навоза. Длину транспортеров определили по месту их применения. Редукторы применили от ранее использованных транспортеров. Количество зубьев приводной звездочки горизонтального транспортера $Z_{зв} = 13$, шаг цепи $t_{ц} = 0,23$ м. Технологическая схема транспортеров приведена на рис. 25.1.

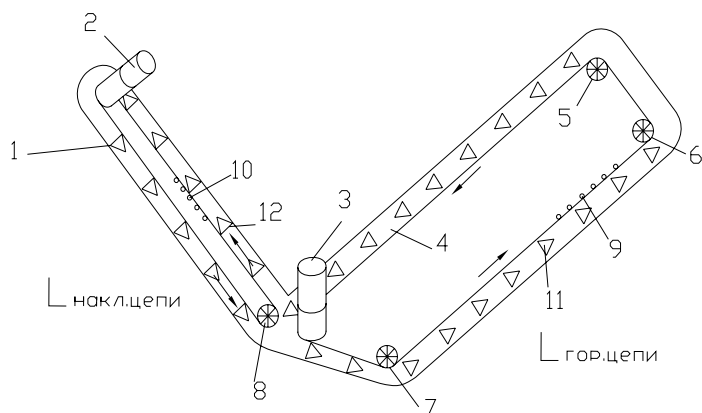


Рис. 25.1. Технологическая схема работы скребковых транспортеров:
1 – наклонный скребковый транспортер; 2 – привод наклонного транспортера;
3 – привод горизонтального транспортера; 4 – горизонтальный транспортер;
5, 6, 7, 8 – поворотные звездочки; 9, 10 – цепи; 11, 12 – скребки

Вопросы для самоподготовки:

1. Какие типы транспортеров кругового движения используются для уборки навоза?
2. В какой зависимости находится мощность и скорость движения транспортера?

Литература:

1. Энергосбережение в электрооборудовании: методические указания к практическим занятиям для студентов специальности С.03.02 «Электрификация сельского хозяйства» / сост. И. Ф. Кудрявцев. – Минск: БГАТУ, 1997. – 16 с.
2. Потапов, Г. П. Погрузочно-транспортные машины для животноводства: справочник / Г. П. Потапов. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
3. Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве: учебник / Ф. Я. Изаков [и др.]. – Москва: Колос, 1972. – 304 с.

План занятия:

1. Выписать исходные данные по своему варианту.
2. Выполнить расчеты для построения нагрузочной диаграммы и построить ее.
3. Выбрать электродвигатель.
4. Записать результаты расчетов по форме табл. 25.3.

Методические указания:

• к пункту 1 плана занятия. Записать исходные данные из табл. 25.1 по форме табл. 25.2.

Таблица 25.1

Вариант	Исходные данные		Количество уборок в сутки Z
	Горизонтальный транспортер		
	Длина цепи L, м	Скорость движения скребков v, м/с	
1	2	3	4
1	60	0,13	2
2	80	0,13	2
3	100	0,13	2
4	120	0,13	2
5	140	0,13	2

Окончание табл. 25.1

1	2	3	4
6	160	0,19	2
7	180	0,19	2
8	200	0,19	2
9	220	0,19	2
10	240	0,19	2
11	60	0,13	3
12	80	0,13	3
13	100	0,13	3
14	120	0,13	3
15	140	0,13	3
16	160	0,19	3
17	180	0,19	3
18	200	0,19	3
19	220	0,19	3
20	240	0,19	3
21	60	0,13	4
22	80	0,13	4
23	100	0,13	4
24	120	0,13	4
25	140	0,13	4
26	160	0,19	4
27	180	0,19	4
28	200	0,19	4
29	220	0,19	4
30	240	0,19	4

Таблица 25.2

Исходные данные и результаты расчета
горизонтального транспортера

Вариант	Дано			Вычислено						
	L , м	v , м/с	Z	P_1 , Вт	P_2 , Вт	i , о.е.	t_p , с	$P_{экр}$, Вт	Проверка по уравнению (25.18)	Электродвига- тель (полное обозначение)

Зарисовать технологическую схему работы скребковых транспортеров, как показано на рис. 25.1.

• **к пункту 2 плана занятия.** Для построения нагрузочной диаграммы необходимо знать мощность рабочей машины, время работы, характер изменения мощности во времени, время холостого хода и время паузы до следующего включения.

Горизонтальный транспортер начинает перемещать навоз одновременно по всему каналу. В первый момент мощность изменяется от холостого хода до максимальной нагрузки. Это происходит за короткое время:

$$t_1 = \frac{0,6l_0}{v}, \quad (25.1)$$

где v – скорость движения скребков, м/с;

l_0 – расстояние между скребками, м; $l_0 = 0,46$ м.

В этот период происходит сдавливание навоза и образование тела волочения. Мощность будет увеличиваться до максимального значения и далее, в процессе работы, будет уменьшаться, поскольку часть навоза будет убираться из канала. В конце уборки скребки будут перемещаться вхолостую.

Максимальная мощность зависит от числа уборок в сутки. Чем меньше уборок, тем труднее транспортеру перемещать навоз по каналу, так как масса навоза увеличивается.

Время холостого хода принять 5 % от времени работы.

Из практики известно [7], [8], что при скорости скребков $v = 0,19$ м/с удельная мощность на валу транспортера составляет 60 Вт/м при одной уборке в сутки.

Удельная мощность (Вт/м) находится в обратной зависимости от числа уборок в сутки и в прямо пропорциональной зависимости от скорости перемещения скребков:

$$P_{уд} = \frac{60v}{0,19Z}, \quad (25.2)$$

где v – скорость скребков горизонтального транспортера, м/с;

Z – количество уборок в сутки.

Максимальная мощность горизонтального транспортера, приведенная к валу электродвигателя:

$$P_1 = P_{уд} L \frac{1}{\eta_{перед.общ}}, \quad (25.3)$$

где $\eta_{перед.общ}$ – общее КПД передачи, о.е.; $\eta_{перед.общ} = \eta_1 \eta_2 \eta_3$ и т. д.
Общее КПД передачи зависит от вида применяемых передач.
Общее передаточное количество передач:

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{р.м}}, \quad (25.4)$$

где $\omega_{дв}$ и $\omega_{р.м}$ – угловая скорость электродвигателя и рабочей машины, рад/с.

Примем $\omega_{дв} = 150$ рад/с (4-полюсный асинхронный электродвигатель):

$$\omega_{р.м} = \frac{v}{R}, \quad (25.5)$$

где R – радиус приводной звездочки, м:

$$R = \frac{Z_{зв} t_{ц}}{2\pi}, \quad (25.6)$$

где $Z_{зв}$ и $t_{ц}$ заданы в условиях задачи.

Если по формуле (25.4) i больше 100, но меньше 400, то применяется двухступенчатый механический редуктор; если $i > 400$, то применяется трехступенчатый механический редуктор.

КПД одной ступени механического редуктора $\eta_1 = 0,98$.

Мощность холостого хода:

$$P_2 = 0,2P_1. \quad (25.7)$$

Время работы горизонтального транспортера:

$$t_p = \frac{L}{v}. \quad (25.8)$$

Время холостого хода:

$$t_{х.х} = 0,05t_p. \quad (25.9)$$

Время пауз, с:

$$t_0 = \frac{24 \cdot 3600}{Z} - (t_p + t_{х.х}). \quad (25.10)$$

По результатам этих расчетов строим нагрузочную диаграмму, как показано на рис. 25.2.

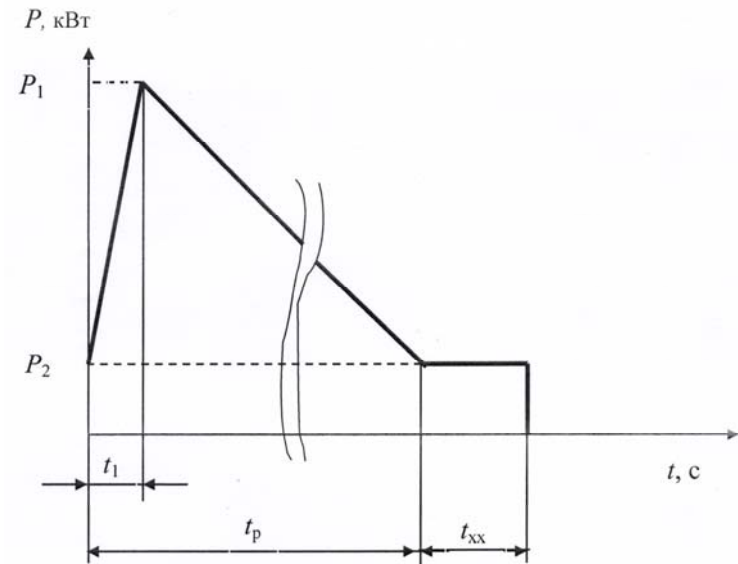


Рис. 25.2. Нагрузочная диаграмма горизонтального транспортера

• к пункту 2 плана занятия. Поскольку $t_0 \gg t_p + t_{х.х}$, то работа электродвигателя происходит в режиме S2.

Для работы в кратковременном режиме S2 выбрать асинхронный электродвигатель режима S1. Эквивалентная мощность за время работы:

$$P_{экр.1,2} = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_1 P_2 + P_2^2}{3}}, \quad (25.11)$$

$$P_{экр} = \sqrt{\frac{P_{экр.1,2}^2 t_p + P_2^2 t_{х.х}}{t_p + t_{х.х}}}. \quad (25.12)$$

Выбрать ближайший меньший к мощности $P_{экр}$ электродвигатель мощностью P_n из табл. 25.3.

Таблица 25.3

Технические данные 4-полюсных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (от 0,55 до 11 кВт)

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{\text{н}}$, кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о.е.			Кратность пускового тока K_t , о.е.	Момент инерции $I_{\text{р.лб}}$, кг·м ²	Масса m , кг
		η , %	$\cos \phi_{\text{н}}$, о.е.	скольжение $S_{\text{н}}$, %	пускового $\mu_{\text{пуск}}$	критического $\mu_{\text{макс}}$	минимального $\mu_{\text{мин}}$			
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0014	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17
АИР100S4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6
АИР100L4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	0,011	27,3
АИР112М4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	0,017	41
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4	2	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132М4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	0,04	70

Определить постоянную времени нагрева электродвигателя:

$$T_{\text{н}} = \frac{C}{A} = \frac{480m}{\frac{\Delta P_{\text{н}}}{\tau_{\text{доп}}}}, \quad (25.13)$$

где m – масса электродвигателя, кг (табл. 25.3);

$\Delta P_{\text{н}}$ – номинальные потери в электродвигателе, Вт;

$\tau_{\text{доп}} = 80$ °С.

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \frac{(1 - \eta_{\text{н}})}{\eta_{\text{н}}}, \quad (25.14)$$

где $P_{\text{н}}$ – мощность выбранного электродвигателя, Вт;

$\eta_{\text{н}}$ – по табл. 25.3.

Определить коэффициенты термической и механической перегрузок для выбранного электродвигателя:

$$K_{\tau} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{\text{п}} + t_{\text{х.х}}}{T_{\text{н}}}}}, \quad (25.15)$$

$$K_{\text{м}} = \sqrt{K_{\tau}(1 + \alpha_{\text{н}}) - \alpha_{\text{н}}}, \quad (25.16)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент потерь мощности, взять по табл. 25.4 для электродвигателя мощностью $P_{\text{н}}$.

Таблица 25.4

Номинальный коэффициент потерь $\alpha_{\text{н}}$
4-полюсных асинхронный электродвигатель
с короткозамкнутым ротором (синхронная частота $n_0 = 1500$ мин⁻¹)

Типоразмер электродвигателя	Номинальная мощность $P_{\text{н}}$, кВт	Коэффициент потерь $\alpha_{\text{н}}$, о.е.
АИР63В4	0,37	0,57
АИР71А4	0,55	0,56
АИР71В4	0,75	0,34
АИР80А4	1,1	0,39
АИР80В4	1,5	0,30
АИР90L4	2,2	0,26
АИР100S4	3	0,36
АИР100L4	4	0,35
АИР112М4	5,5	0,36
АИР132S4	7,5	0,69
АИР132М4	11	0,44

Поскольку пуск электродвигателя производится практически вхолостую, то определяющим для электродвигателя будет его нагрев и проверка на преодоление максимальной нагрузки P_1 .

Уточненная мощность электродвигателя определяется по выражению

$$P_{\text{н}}' \geq \frac{P_1}{K_{\text{м}}}. \quad (25.17)$$

Выбрать типоразмер электродвигателя по табл. 25.3.

Проверить выбранный электродвигатель на преодоление максимальной нагрузки по следующим условиям:

$$M_{\kappa} u_2^2 > 1,1 M_{\text{макс.нагр}} ; \quad (25.18)$$

$$M_{\kappa} = \mu_{\kappa} M_{\text{н}} ; \quad (25.19)$$

$$M_{\text{макс.нагр}} \approx \frac{P_1}{\omega_{\text{н}}} , \quad (25.20)$$

где μ_{κ} – по табл. 25.3; $u_2 = 0,95$.

Если электродвигатель не проходит по условию (25.18), то выбирают больший по мощности электродвигатель и повторяют расчеты.

Для навозоборочных транспортеров выбирают электродвигатели сельскохозяйственного исполнения (в обозначении есть буква С), климатического исполнения У, категории размещения 1, например, 4А100Л4СУ1.

• к пункту 5 плана занятия. Данные расчетов записать в табл. 25.2.

Контрольные вопросы:

1. Опишите методику выбора электродвигателя для горизонтального транспортера.
2. Из каких составляющих складывается усилие, которое должен преодолеть электродвигатель при работе транспортера?
3. В какой период работы электродвигателя горизонтального транспортера потребляется наибольшая и наименьшая мощность?
4. Какой режим работы характерен для транспортеров уборки навоза?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электропривод : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. В. Гурин, Е. В. Бабаева. – Минск : БГАТУ, 2006. – 314 с.
2. Кузнецов, Б. В. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления : справочное пособие / Б. В. Кузнецов, М. Ф. Сацукевич. – Минск : Беларусь, 1982. – 222 с.
3. Энергосбережение в электрооборудовании : методические указания / сост. И. Ф. Кудрявцев. – Минск : БГАТУ, 1997. – 16 с.
4. Энергосберегающие технологии электроснабжения народного хозяйства : практическое пособие. В 5 кн. / под ред. В. А. Веникова. Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожановский, А. О. Горнов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 127 с.
5. Регулируемые асинхронные электродвигатели в сельскохозяйственном производстве / под ред. Д. Н. Быстрицкого. – Москва : Энергия, 1975. – 399 с.
6. Электротехнический справочник : справочник / под ред. П. Г. Грудинского [и др.]. – Т. 3. – Изд. 5-е. – Москва : Энергия, 1976. – 568 с.
7. Потапов, Г. П. Погрузочно-транспортные машины для животноводства : справочник / Г. П. Потапов. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 239 с.
8. Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве : учебник / Ф. Я. Изаков [и др.]. – Москва : Колос, 1972. – 304 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Практикум

Составители:

Гурин Владимир Владимирович,
Бабаева Елена Владимировна

Ответственный за выпуск В. А. Дайнеко
Редактор Ю. П. Каминская
Компьютерная верстка Ю. П. Каминской

Подписано в печать 22.04.2011 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 11,62. Уч.-изд. л. 9,09. Тираж 150 экз. Заказ 418.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.