

2. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

2.1. Выбор электродвигателя

Для выбора электродвигателя определяют требуемую его мощность и частоту вращения.

Потребляемую мощность ($P_{\text{вых}}$, кВт) привода (мощность на выходе) задают в бланке задания на курсовой проект. Если $P_{\text{вых}}$ не задана, то ее можно определить, используя другие исходные данные по формулам:

$$P_{\text{вых}} = \frac{F_t \cdot v}{10^3}, \text{ кВт},$$

где F_t , Н – окружная сила на барабане ленточного и звездочке цепного конвейера;
 v , м/с – скорость движения ленты или цепи конвейера;

$$P_{\text{вых}} = \frac{T_{\text{вых}} \cdot \omega_{\text{вых}}}{10^3}, \text{ кВт},$$

где $T_{\text{вых}}$, Н·м – вращающий момент на выходном валу привода;
 $\omega_{\text{вых}}$ – угловая скорость на выходном валу привода, с⁻¹.
 Требуемая мощность электродвигателя:

$$P_{\text{э.пр}} = \frac{P_{\text{вых}}}{\eta_{\text{общ}}},$$

где $\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots \eta_n$ – КПД отдельных передач кинематической цепи с учетом потерь в подшипниках (см. табл. 2.1).

Таблица 2.1

Значения коэффициентов полезного действия

Тип передачи	η
Зубчатая (с опорами, закрытая): цилиндрическая коническая	0,96...0,98 0,95...0,97
Планетарная (закрытая): одноступенчатая двухступенчатая	0,9...0,95 0,85...0,9
Червячная (закрытая) при передаточном числе: св. 30 св. 14 до 30 св. 8 до 14	0,7...0,8 0,75...0,85 0,8...0,9
Ременная (все типы)	0,94...0,96
Цепная	0,92...0,95
Муфта соединительная	0,98
Подшипники качения (одна пара)	0,99

Если на данном этапе расчета затруднительно определить передаточное число червячной передачи, то предварительно можно принять $\eta = 0,8$.

Требуемая частота вращения вала электродвигателя

$$n_{\text{э.пр}} = n_{\text{вых}} \cdot u_1 \cdot u_2 \dots u_n,$$

где u_1, u_2, \dots, u_n – передаточные числа передач привода (см. табл. 2. 2);

Кинематический расчет

$$n_{\text{вых}} = \frac{30 \cdot \omega_{\text{вых}}}{\pi} \text{ или } n_{\text{вых}} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot v}{\pi D_{\text{б}}} \text{ или } n_{\text{вых}} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot v}{\pi D_{\text{зв}}},$$

где $\omega_{\text{вых}}$ – угловая скорость на выходном валу привода, с⁻¹;

$D_{\text{б}}$ – диаметр барабана конвейера, мм;

$D_{\text{зв}}$ – делительный диаметр тяговой звездочки, мм;

v – скорость движения ленты (цепи), м/с.

Электродвигатель подбирают с мощностью P , кВт и частотой вращения n , мин⁻¹, ротора, ближайшими к $P_{\text{э.тр}}$ и $n_{\text{э.тр}}$. Значения параметров электродвигателей приведены в таблицах 2.3–2.4.

Таблица 2.2

Значения передаточных чисел

Вид передачи	Твердость зубьев HB или HRC	Передаточное число	
		$U_{\text{рек}}$	$U_{\text{пред}}$
Зубчатая цилиндрическая тихоходная ступень во всех редукторах ($U_{\text{т}}$)	≤HB 350	2,5...5	6,3
	HRC 40...56	2,5...5	6,3
	HRC 56...63	2...4	5,6
Быстроходная ступень в редукторах с развернутой схемой ($U_{\text{б}}$)	≤HB 350	3,15...5	8
	HRC 40...56	3,15...5	7,1
	HRC 56...63	2,5...4	6,3
Быстроходная ступень в соосном редукторе ($U_{\text{б}}$)	≤HB 350	4...6,3	10
	HRC 40...56	4...6,3	9
	HRC 56...63	3,15...5	8
Коническая зубчатая	≤HB 350	1...4	6,3
	≥HRC 40	1...4	5
Червячная	-	16...50	80
Цепная	-	1,5...4	10
Ременная	-	2...4	8

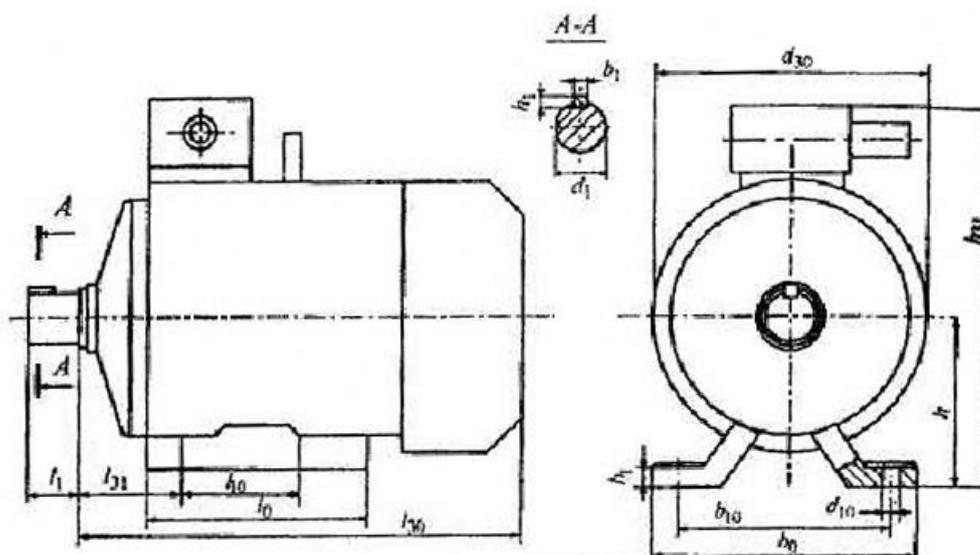
Таблица 2.3

Технические данные двигателей серии АИР (тип/асинхронная частота вращения, мин⁻¹)

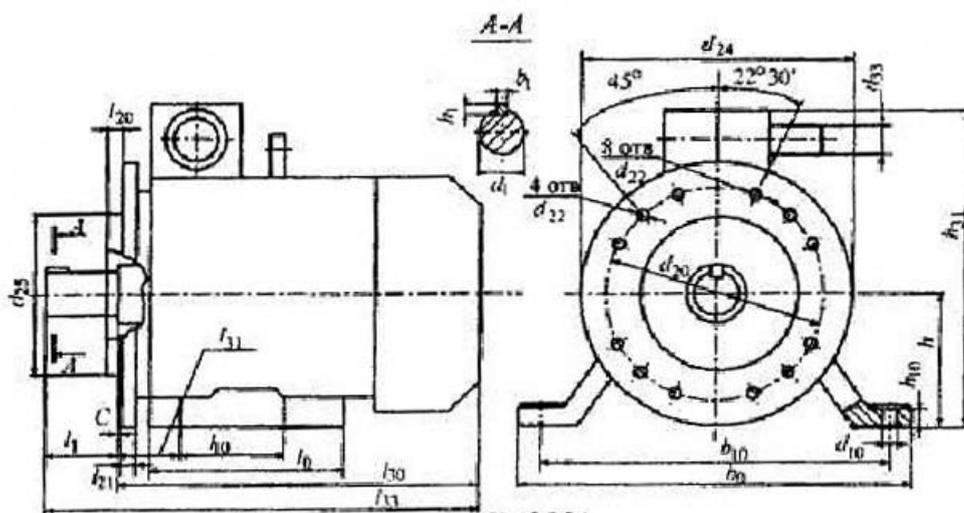
Мощность, кВт	Синхронная частота, мин ⁻¹			
	3000	1500	1000	750
0,37	-	-	71A6/915	-
0,55	-	71A4/1357	71B6/815	-
0,75	71A2/2820	71B4/1350	80A6/920	90LA8/705
1,1	71B2/2805	80A4/1395	80B6/920	90LB8/715
1,5	80A2/2850	80B4/1395	90L6/925	100L8/702
2,2	80B2/2850	90L4/1395	100L6/945	112MA8/709
3	90L2/2850	100S4/1410	112MA6/950	112MB8/709
4	100S2/2850	100L4/1410	112MB6/950	132S8/716
5,5	100L2/2850	112M4/1432	132S6/960	132M8/712
7,5	112M2/2895	132S4/1440	132M6/960	160S8/727 ³
11	132M2/2910	132M4/1447	160S6/970 ⁴	160M8/727 ³
15	160S2/2910 ¹	160S4/1455 ²	160M6/970 ⁵	180M8/731
18,5	160M2/2910 ¹	160M4/1455 ²	180M6/980 ³	-
22	180S2/2919 ¹	180S4/1462 ³	-	-
30	180M2/2925 ¹	180M4/1470 ¹	-	-

Примечание: 1. Отношение максимального вращающего момента к номинальному $T_{\text{max}}/T=2,2$; для отмеченных знаками: 1 – $T_{\text{max}}/T=2,7$; 2 – $T_{\text{max}}/T=2,9$; 3 – $T_{\text{max}}/T=2,4$; 4 – $T_{\text{max}}/T=2,5$; 5 – $T_{\text{max}}/T=2,6$. 2. Пример обозначения двигателя: «Двигатель АИР100L2 ТУ 16 – 525.564 – 84».

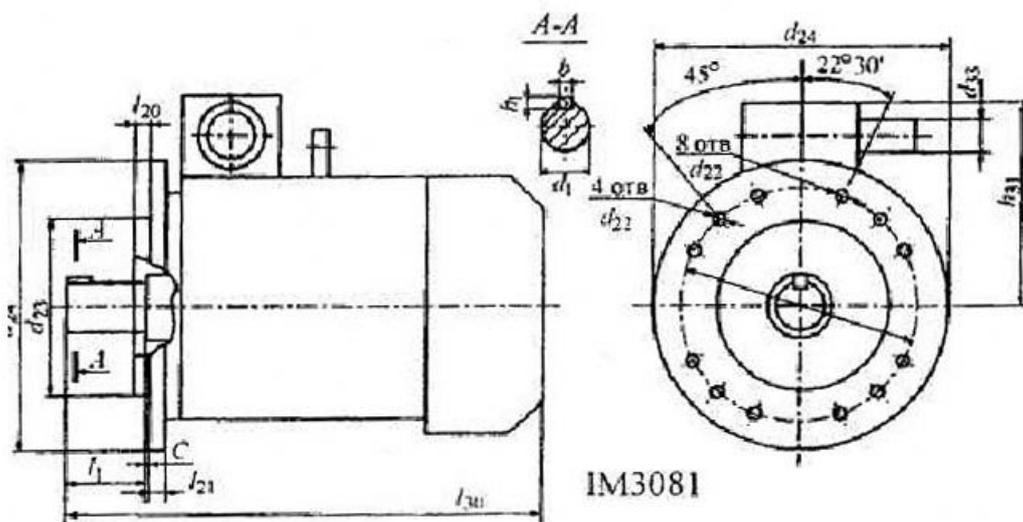
Электродвигатели серии АИР; основные размеры, мм



IM 1081



IM 2081



IM 3081

Тип двигателя	Число полюсов	Исполнение																				
		IM1081, IM2081, IM3081					IM1081	IM1081 и IM2081						IM2081 и IM3081					IM3081			
		d ₁	l ₁	l ₃₀	b ₁	h ₁	d ₃₀	l ₁₀	l ₃₁	d ₁₀	b ₁₀	h	h ₁₀	h ₃₁	l ₂₁	l ₂₁	d ₂₀	d ₂₂	d ₂₄	d ₂₅	h ₃₇	
71A,B	2,4,6,8	19	40	273	6	6	170	90	45	7	112	71	9	188	3,5	10	165	12	200	130	117	
80A		22	50	297			8	7	190	100	50	10	125	80							10	205
80B				321	135																	
90L		24	337	210	125	56	140	90	11	225	12	247	285	16	265	18	300	19	350	250	260	
100S		28	60	360	240	112	63	12	190	112												13
100L				391	147																	
112M	2,4,6,8	32	80	435	10	8	246	140	70	12	190	112	13	325	16	265	18	300	19	350	250	260
132S	4,6,8	38		460			288	89	216													
132M	2,4,6,8		498	178	108	15	254	160		18	385	18	350	19	350	250	260					
160S	2	42	630	12	9				334									178	108	15	254	160
	4,6,8	48		14		9																
160M	2	42	660	12	8	334	178	108	15	254	160	18	385	15	300	19	350	250	260			
	4,6,8	48		14																9		
180S	2	48	630	14	9	375	203	121	15	279	180	20	448	18	350	19	350	400	300	260		
	4	55		16																	10	
180M	2	48	680	14	9	375	203	121	15	279	180	20	448	18	350	19	350	400	300	260		
	4,6,8	55		16																	10	

Примечание: 1. Фланцы изготовляют с отверстиями d₂₂ гладкими или резьбовыми. Размеры фланца с резьбовыми отверстиями – см. ГОСТ 28330-89. 2. Выступающие концы валов двигателей изготовляют следующих исполнений:

- цилиндрические со шпонкой;
- цилиндрические без шпонки с резьбовым концом;
- цилиндрические со шпонкой с резьбовым концом;
- конические без шпонки с резьбовым концом;
- конические со шпонкой с резьбовым концом;
- конические со шпонкой и внутренней резьбой.

Если требуемая частота $n_{э.тр}$ окажется примерно в середине между двумя стандартными значениями, то следует сравнить размеры обоих двигателей. Обозначение двигателей (см. табл. 2.3) содержит две или три цифры, после которых приведены буквы, например: 90L, 100S, 112M. Цифрами обозначен размер h – высота центра вала от опорной поверхности лапок двигателя. Рекомендуется выбирать электродвигатель с меньшими значениями h , так как размеры и стоимость такого двигателя меньше. Если размер h у обоих двигателей одинаков, надо выбрать двигатель с меньшей частотой вращения. Масса, размеры и стоимость обоих двигателей примерно одинаковы, а передаточные числа и, следовательно, размеры передачи будут меньше.

2.2. Уточнение передаточных чисел

После выбора числа оборотов электродвигателя $n_{дв}$ определяют общее передаточное число привода:

$$u_{общ} = \frac{n_{дв}}{n_{вых}}$$

Полученное значение распределяют между редуктором и другими передачами.

Если в схеме привода отсутствуют одновременно ременная и цепная передача, то передаточное число редуктора:

$$u_{ред} = u_{общ}$$

Если в задании предусмотрен одноступенчатый редуктор и передача с гибкой связью (ременная или цепная), то

$$u_{общ} = u_{рем} \cdot u_{ред} \text{ ИЛИ } u_{общ} = u_{ред} \cdot u_{цеп}$$

где $u_{рем}$ – передаточное число ременной передачи;

$u_{цеп}$ – передаточное число цепной передачи.

Задаваясь значениями $u_{рем}$ и $u_{цеп}$ (см. табл. 2.2) находят значения $u_{ред}$:

$$u_{ред} = \frac{u_{общ}}{u_{рем}} \text{ ИЛИ } u_{ред} = \frac{u_{общ}}{u_{цеп}}$$

Полученные значения передаточных чисел согласовывают с таблицей 2.5

Таблица 2.5

Значения передаточных чисел

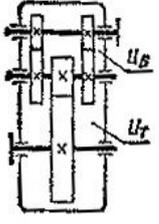
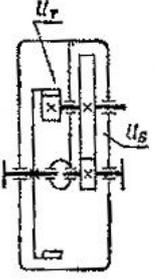
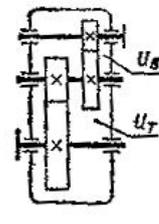
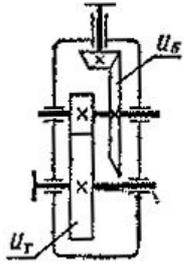
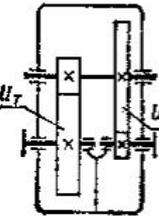
Для цилиндрических зубчатых передач по СТ СЭВ 221-75:	
1-й ряд –	1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0;
2-й ряд –	1,4; 1,8; 2,24; 2,8; 3,55; 4,5; 5,6; 7,1; 9,0;
Для конических зубчатых передач по ГОСТ 12289-76:	
	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,3
Для червячных передач по ГОСТ 2144-76:	
1-й ряд –	8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80;
2-й ряд –	9; 11,2; 14; 18; 22,4; 28; 35,5; 45; 56; 71

Окончательное значение передаточного числа гибкой связи необходимо уточнить по формулам:

$$u_{рем} = \frac{u_{общ}}{u_{ред}}, \quad u_{цеп} = \frac{u_{общ}}{u_{ред}}$$

Если в схеме привода предусмотрен двухступенчатый редуктор, то разбивку $u_{ред}$ по ступеням, то есть $u_{ред} = u_B \cdot u_T$, выполняют с использованием таблицы 2.6.

Передаточные отношения ступеней редуктора

Схема редуктора	Передаточное число		Схема редуктора	Передаточное число	
	u_B	u_T		u_B	u_T
	$\frac{u_{ред}}{u_T}$	$0,88\sqrt{u_{ред}}$		$2\sqrt[3]{u_{ред}}$	$\frac{u_{ред}}{u_B}$
				$\frac{u_{ред}}{u_T}$	$1,1\sqrt{u_{ред}}$
	$\frac{u_{ред}}{u_T}$	$0,95\sqrt{u_{ред}}$	Планетарные двухступенчатые редукторы: $u_{ред} \leq 25$ $u_{ред}$ свыше 25 До 63 $u_{ред}$ свыше 63	4 $\frac{u_{ред}}{6,3}$ 10	$\frac{u_{ред}}{4}$ 6,3 $0,1u_{ред}$

2.3. Частота вращения и угловые скорости валов

По кинематической схеме привода определяют количество валов. Первым считается вал электродвигателя с частотой вращения $n_n = n_1$ (номинальная частота по табл. 2.3).

Если в приводе есть ременная передача, то частота вращения быстроходного вала редуктора равна:

$$n_B = \frac{n_1}{u_{рем}}$$

Если в заданной схеме нет ременной передачи, то частота вращения первого (входного) вала редуктора равна частоте вращения вала электродвигателя:

$$n_B = n_1$$

Частота вращения второго (тихоходного) вала одноступенчатого редуктора:

$$n_T = n_2 = \frac{n_B}{u_{ред}}$$

Для двухступенчатых редукторов частота вращения промежуточного и тихоходного валов:

$$n_{II} = \frac{n_B}{u_B}, \quad n_T = \frac{n_{II}}{u_T}.$$

При наличии цепной передачи частота вращения выходного вала привода:

$$n_{\text{вых}} = \frac{n_T}{u_{\text{ц}}},$$

где n_T – частота вращения тихоходного (выходного) вала;

$u_{\text{ц}}$ – передаточное число цепной передачи.

Угловые скорости валов:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30}, \omega_2 = \omega_1 u_1, \omega_3 = \omega_2 u_2 \text{ и т. д.}$$

2.4. Вращающие моменты и передаваемые мощности на валах

Вращающий момент на валу электродвигателя:

$$T_1 = \frac{P_{\text{э.мп}} \cdot 10^3}{\omega_1}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где ω_1 – угловая скорость на валу двигателя.

В дальнейшем расчет ведут с учетом передаточного числа и КПД пары, передающей движение с вала на вал, то есть:

$$T_2 = T_1 \cdot u_1 \cdot \eta_1;$$

$$T_3 = T_2 \cdot u_2 \cdot \eta_2;$$

$$T_4 = T_3 \cdot u_3 \cdot \eta_3 \text{ и т.д.}$$

При определении мощностей на валах используют КПД соответствующих передач:

$$P_1 = P_{\text{э.мп}}, \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1;$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_2 \text{ и т.д.},$$

где P_1, P_2, P_3 – мощности на валах;

η_1, η_2, η_3 – КПД передач (см. табл. 2.1).

Для удобства пользования полученными кинематическими параметрами в последующих расчетах целесообразно заготовить таблицу, число строк которой равно общему числу валов (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Кинематические параметры валов

N валов	n, мин ⁻¹	ω, с ⁻¹	T, Н·м	P, кВт
1				
2				
3				
4				
5				