

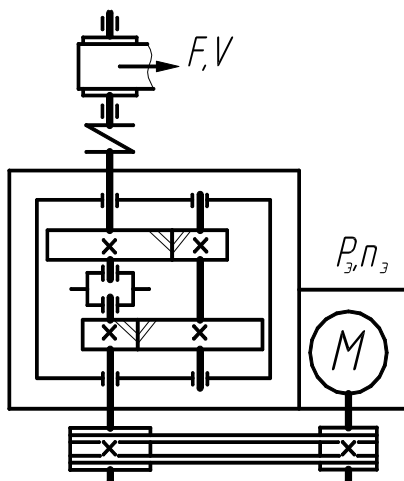
Министерство образования и науки Российской Федерации

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова

И.М. Ковалев

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Методические указания по выполнению расчетных заданий и
курсовых проектов по деталям машин и механике



УДК 621.81

Ковалев И.М. Кинематический расчет электромеханического привода. Методические указания по выполнению расчетных заданий и курсовых проектов по деталям машин и механике/ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 28 с.

Приведена методика выполнения кинематических расчетов приводов, в состав которых входят электродвигатель, одно- двухступенчатые редукторы, открытые передачи (зубчатые или гибкой связью), муфты. На основе сравнительного анализа вариантов расчета даны рекомендации по выбору электродвигателя, определению передаточных чисел передач, частот вращения и вращающих моментов на валах. Рассмотрена методика выполнения расчетов ручным способом и на ЭВМ по программе «ПРИВОД». Методические указания предназначены для студентов, изучающих курсы «Детали машин и основы конструирования» и «Механика» при выполнении расчетных заданий, курсовых проектов и СРС.

Введение

В качестве тем курсовых проектов по деталям машин и механике студенты получают преимущественно задания (рис. 1) на разработку электро-механических приводов различных машин (конвейеров, станков), в схему которых включают электродвигатель, редуктор (различных схем), открытые передачи (гибкой связью, зубчатые), соединительные муфты. Приступая к работе над проектом необходимо проанализировать исходные данные, выяснить особенности устройства проектируемого привода, выделить звенья кинематической цепи, типы передач, обозначить валы: вал электродвигателя (Э); валы редуктора – быстроходный (Б), промежуточный (П), тихоходный (Т); вал машины (В).

Исходные данные в заданиях – это сведения о силовых и кинематических параметрах механизма для приводного вала (вала машины): P – мощность, кВт; T – вращающий момент, Н·м; F – окружная сила, кН; V – скорость движения ленты или цепи, м/с; n – частота вращения, мин⁻¹; ω – угловая скорость, с⁻¹; D – диаметр барабана, мм; t – шаг тяговой звездочки, мм; z – число зубьев тяговой звездочки.

Проектирование привода начинается с выполнения кинематических расчетов, в результате которых выбирают электродвигатель, определяют передаточные числа передач, частоты вращения и вращающие моменты на валах. Выполнение кинематических расчетов – это многовариантный процесс и для студентов, впервые делающих такую работу, необходимо придерживаться рекомендаций, принимать решения на основе сравнительного анализа различных вариантов расчета.

1. Выбор электродвигателя

Электродвигатель выбирают из каталогов или справочных таблиц (табл. 3.1) по требуемой мощности и частоте вращения. Электродвигатель не проверяют на нагрев, потому что для проектируемых приводов вал машины во время эксплуатации нагружен мало изменяющейся нагрузкой.

1.1. Определение требуемой мощности

Требуемая мощность электродвигателя

$$P_{э.т.} = P_B / \eta_{общ} , \quad (1)$$

где P_B – потребляемая мощность привода, т.е. на выходе для приводного вала; $\eta_{общ}$ – общий коэффициент полезного действия (КПД) привода.

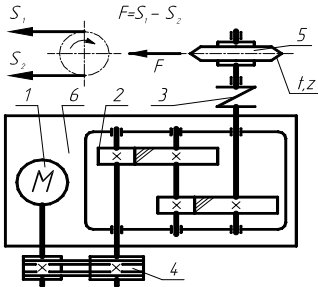
1) Величину P_B (кВт) определяют в соответствии с исходными данными задания по одной из формул:

$$\text{А) } P_B = P; \quad \text{Б) } P_B = F \cdot V; \quad \text{В) } P_B = T \cdot \omega \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН № 12

Спроектировать привод цепного конвейера

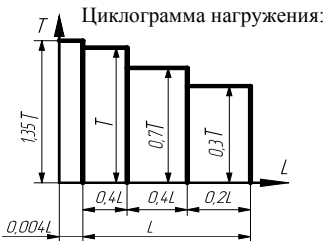
Кинематическая схема привода:



- 1 – электродвигатель;
- 2 – редуктор;
- 3 – муфта упругая;
- 4 – клиноременная передача;
- 5 – вал машины;
- 6 – рама (плита).

Исходные данные:

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Окружная сила на тяговых звездочках F , кН	4,0	14,5	6,0	15,5	6,0	18,5	7,0	19,5	8,0	10,0
Скорость движения цепи V , м/с	0,75	0,40	0,80	0,75	0,65	0,50	0,80	0,40	0,75	0,30
Шаг тяговой цепи t , мм	100	100	100	100	100	125	125	125	125	125
Число зубьев звездочки z	8	8	12	7	6	6	8	7	8	7



Объем производства Q , шт/г

Вариант		
А	Б	В
5	200	80

Срок службы $L = 5$ лет.
 Коэффициенты использования:
 $K_s = 0,8$ – суточный;
 $K_z = 0,3$ – годовой.

Разработать и представить:

Расчетно-пояснительную записку и графическую часть проекта: 1. Сборочные чертежи: а) вида общего привода; б) редуктора цилиндрического двухступенчатого; в) сборочной единицы привода (рамы, вала машины); 2. Рабочие чертежи деталей редуктора: а) вала; б) колеса зубчатого; в) корпусной детали.

Срок защиты проекта _____ 20...г.

Имя	Лист	№ докум	Подп.	Дата	<p>КП 47.12 - 03.0.</p> <p>Техническое задание</p>	Лист	Лист	Листов
Разраб.	Родичов					у		
Проб.	Ковалеб							
Исполн								
Утв.								
						<p>АлтГТУ гр. ТАП-94</p>		

Рис. 1. Техническое задание на проектирование

2) Величину $\eta_{\text{общ}}$ определяют в зависимости от КПД (η) звеньев кинематической цепи привода от вала электродвигателя до приводного вала машины. В общем виде для приводов, в которых используются различные звенья

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{М.Б.}} \cdot \eta_{\text{РЕМ}} \cdot \eta_{\text{Ц.Б.}} \cdot \eta_{\text{К.Б.}} \cdot \eta_{\text{Ч.Б.}} \cdot \eta_{\text{Ц.Т.}} \cdot \eta_{\text{Ч.Т.}} \cdot \eta_{\text{М.Т.}} \cdot \eta_{\text{ЦЕП}} \cdot \eta_{\text{ЗВБ}} \cdot \eta_{\text{ОП}}, \quad (3)$$

где $\eta_{\text{М.Б.}}$, $\eta_{\text{М.Т.}}$ – КПД муфт, соединяющих валы редуктора с валом электродвигателя (муфта быстрогохода вала) и валом машины (муфта тихоходного вала); $\eta_{\text{РЕМ}}$, $\eta_{\text{ЦЕП}}$, $\eta_{\text{ЗВБ}}$ – КПД открытых передач: ременной, цепной, зубчатой; $\eta_{\text{Ц.Б.}}$, $\eta_{\text{К.Б.}}$, $\eta_{\text{Ч.Б.}}$ – КПД быстрогоходной передачи редуктора: цилиндрической, конической, червячной; $\eta_{\text{Ц.Т.}}$, $\eta_{\text{Ч.Т.}}$ – КПД тихоходной передачи редуктора: цилиндрической, червячной; $\eta_{\text{ОП}}$ – КПД опор приводного вала машины.

В уравнении (3) выделены (подчеркнуты) несколько групп η , которые учитывают потери в звеньях привода до редуктора ($\eta_{\text{М.Б.}}$, $\eta_{\text{РЕМ}}$), в передачах редуктора (быстроходной - $\eta_{\text{Ц.Б.}}$, $\eta_{\text{К.Б.}}$, $\eta_{\text{Ч.Б.}}$, тихоходной - $\eta_{\text{Ц.Т.}}$, $\eta_{\text{Ч.Т.}}$), в звеньях после редуктора ($\eta_{\text{М.Т.}}$, $\eta_{\text{ЦЕП}}$, $\eta_{\text{ЗВБ}}$, $\eta_{\text{ОП}}$). При определении $\eta_{\text{общ}}$ для проектируемого привода составляют уравнение (3) используя из каждой группы только КПД (η) звеньев, которые входят в кинематическую схему этого привода.

Например, общий КПД по (3) для привода, показанного на рис. 1:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{РЕМ}} \cdot \eta_{\text{Ц.Б.}} \cdot \eta_{\text{Ц.Т.}} \cdot \eta_{\text{М.Т.}} \cdot \eta_{\text{ОП}}.$$

В схеме привода электродвигатель и редуктор соединяются ременной передачей ($\eta_{\text{РЕМ}}$), в редукторе быстроходная и тихоходная передачи цилиндрические ($\eta_{\text{Ц.Б.}}$, $\eta_{\text{Ц.Т.}}$), редуктор и приводной вал машины соединяются муфтой ($\eta_{\text{М.Т.}}$, $\eta_{\text{ОП}}$).

Для приводов с одноступенчатыми редукторами, в схему которых входит только быстроходная передача (цилиндрическая или коническая, или червячная) из уравнения (3) следует исключить группу КПД ($\eta_{\text{Ц.Т.}}$, $\eta_{\text{Ч.Т.}}$) для тихоходной передачи.

Для расчета $\eta_{\text{общ}}$ необходимо выбрать значения η отдельных звеньев по табл. 1 [2, 4].

Таблица 1

КПД звеньев привода

Звено	$\eta_{\text{М.Б.}}$	$\eta_{\text{М.Т.}}$	$\eta_{\text{РЕМ}}$	$\eta_{\text{ЦЕП}}$	$\eta_{\text{Ц.Б.}} = \eta_{\text{Ц.Т.}}$	$\eta_{\text{К.Б.}}$	$\eta_{\text{Ч.Б.}} = \eta_{\text{Ч.Т.}}$	$\eta_{\text{ЗВБ}}$	$\eta_{\text{ОП}}$
Значения	0.98...1.0	0.98...0.99	0.94...0.96	0.92...0.95	0.96...0.98	0.95...0.97	0.7...0.9	0.92...0.94	0,99
η	0,99	0,98	0,95	0,93	0,97	0,96	0,75	0,94	0,99

Примечание: 1. Значения η для передач приведены с учетом потерь в подшипниках. 2. Под чертой жирным шрифтом выделены рекомендуемые значения η . 3. Для мотор-редукторов принимают $\eta_{\text{М.Б.}} = 1$.

1.2. Определение требуемой частоты вращения

Требуемая частота вращения вала электродвигателя

$$n_{э.т.} = n_B \cdot u'_{\text{ОБЩ}}, \quad (4)$$

где n_B – частота вращения приводного (выходного) вала; $u'_{\text{ОБЩ}} = (u'_{\text{ОБЩ}}^{\min} \dots u'_{\text{ОБЩ}}^{\max})$ – ожидаемое общее передаточное число привода.

1) Величину n_B (мин^{-1}) определяют в соответствии с исходными данными задания по одной из формул:

$$\text{А) } n_B = n; \quad \text{Б) } n_B = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot V}{\pi \cdot D}; \quad \text{В) } n_B = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot V}{z \cdot t}; \quad \text{Г) } n_B = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (5)$$

2) Величину $u'_{\text{ОБЩ}}$ определяют в зависимости от передаточных чисел передач, которые входят в кинематическую схему привода. В общем виде для приводов, в которых используются различные передачи:

$$u'_{\text{ОБЩ}} = u'_{\text{РЕМ}} \cdot u'_{\text{Ц.Б.}} \cdot u'_{\text{К.Б.}} \cdot u'_{\text{Ч.Б.}} \cdot u'_{\text{Ц.Т.}} \cdot u'_{\text{Ч.Т.}} \cdot u'_{\text{ЦЕП}} \cdot u'_{\text{ЗУБ}}, \quad (6)$$

где $u'_{\text{РЕМ}}$, $u'_{\text{ЦЕП}}$, $u'_{\text{ЗУБ}}$ – передаточные числа открытых передач: ременной, цепной, зубчатой; $u'_{\text{Ц.Б.}}$, $u'_{\text{К.Б.}}$, $u'_{\text{Ч.Б.}}$ – передаточные числа быстроходной передачи редуктора: цилиндрической, конической, червячной; $u'_{\text{Ц.Т.}}$, $u'_{\text{Ч.Т.}}$ – передаточные числа тихоходной передачи редуктора: цилиндрической, червячной.

В уравнении (6) выделены (подчеркнуты) несколько групп u' , которые учитывают изменение кинематических параметров в передачах привода до редуктора ($u'_{\text{РЕМ}}$), в передачах редуктора (быстроходной - $u'_{\text{Ц.Б.}}$, $u'_{\text{К.Б.}}$, $u'_{\text{Ч.Б.}}$; тихоходной - $u'_{\text{Ц.Т.}}$, $u'_{\text{Ч.Т.}}$), в передачах после редуктора ($u'_{\text{ЦЕП}}$, $u'_{\text{ЗУБ}}$). При определении $u'_{\text{ОБЩ}}$ для проектируемого привода составляют уравнение (6) используя из каждой группы только u' передач, которые входят в схему этого привода.

Например, ожидаемое передаточное число по (6) для привода, показанного на рис.1:

$$u'_{\text{ОБЩ}} = u'_{\text{РЕМ}} \cdot u'_{\text{Ц.Б.}} \cdot u'_{\text{Ц.Т.}}$$

В приводе электродвигатель и редуктор соединяются ременной передачей ($u'_{\text{РЕМ}}$), в редукторе быстроходная и тихоходная передачи цилиндрические ($u'_{\text{Ц.Б.}}$, $u'_{\text{Ц.Т.}}$), после редуктора передач нет.

Для приводов с одноступенчатыми редукторами, в схему которых входит только быстроходная передача (цилиндрическая или коническая, или червячная) из уравнения (6) следует исключить группу передаточных чисел ($u'_{\text{Ц.Т.}}$, $u'_{\text{Ч.Т.}}$) для тихоходной передачи.

Для расчета $u'_{\text{ОБЩ}}$ необходимо выбрать по табл. 2 [2, 4] минимальное и максимальные значения передаточных чисел $u' = (u'^{\min} \dots u'^{\max})$ передач привода.

Таблица 2

Передаточные числа передач привода

Передача	$u'_{ЦЕП}$	$u'_{РЕМ}$	$u'_{К.Б.}$	$u'_{Ц.Б.}$	$u'_{Ц.Т.}$	$u'_{Ч.Б.} = u'_{Ч.Т.}$	$u'_{ЗУБ}$
Значения $u' = (u'^{\min} \dots u'^{\max})$	1,5...4	2...4	1...4	2,5...6,3 1,6...3,15	2,5...5	8...40	2...5

Примечание: Под чертой (в знаменателе) приведены значения $u'_{ц.к.}$ для быстроходной ступени цилиндрико-червячного редуктора.

Ожидаемое общее передаточное число $u'_{ОБЦ}$ рекомендуют определять в интервале от $u'_{ОБЦ}^{\min}$ до $u'_{ОБЦ}^{\max}$, используя минимальные и максимальные значения передаточных чисел отдельных передач:

$$u'_{ОБЦ}^{\min} = u_1^{\min} \cdot u_2^{\min} \cdot u_3^{\min} \dots; \quad u'_{ОБЦ}^{\max} = u_1^{\max} \cdot u_2^{\max} \cdot u_3^{\max} \dots,$$

где u'_1, u'_2, u'_3 – передаточные числа передач проектируемого привода.

Требуемую частоту вращения вала электродвигателя необходимо определить по (4) также в интервале - от $n_{э.т.}^{\min}$ до $n_{э.т.}^{\max}$:

$$n_{э.т.}^{\min} = n_B \cdot u'_{ОБЦ}^{\min}; \quad n_{э.т.}^{\max} = n_B \cdot u'_{ОБЦ}^{\max}. \quad (7)$$

1.3. Выбор электродвигателя

Для проектируемых машинных агрегатов рекомендуют применять трехфазные асинхронные короткозамкнутые двигатели. Эти двигатели наиболее универсальны и надежны в эксплуатации.

Электродвигатель выбирают по табл. 3.1 с учетом условий:

$$1. P_э \geq \kappa P_{э.т.}; \quad 2. n_э = (n_{э.т.}^{\min} \dots n_{э.т.}^{\max}); \quad (8)$$

где $\kappa = (0,91 \dots 1)$ – коэффициент режима нагружения (для асинхронных двигателей допускается перегрузка до $5 \div 10\%$): $\kappa = (0,96 \dots 1)$ для приводов, работающих с постоянной нагрузкой и с переменной для тяжелых режимов нагружения; $\kappa = (0,91 \dots 0,96)$ при переменной нагрузке для средних и легких режимов нагружения.

В первую очередь в табл. 3.1 выбирают мощность $P_э$ электродвигателя. При этом значение коэффициента κ в учебном проекте рекомендуется принимать $\kappa = 0,96$.

Выбирая частоту вращения двигателя $n_э$ в табл. 3.1 с учетом диапазона $(n_{э.т.}^{\min} \dots n_{э.т.}^{\max})$ может оказаться, что подходят несколько двигателей с различными частотами вращения. Следует учитывать, что при неизменной мощности двигателя его размеры, масса, стоимость уменьшаются с увеличением частоты вращения. Однако, с увеличением частоты вращения $n_э$ двигателя растет передаточное число привода, его масса и габариты. Поэтому вопрос о выборе частоты вращения двигателя следует

Таблица 3.1

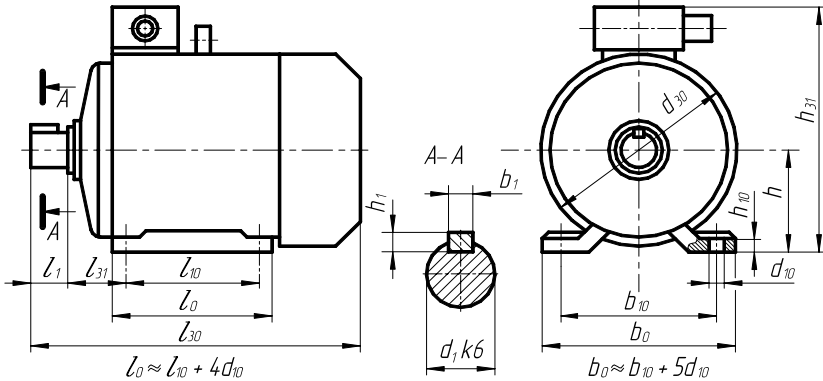
Технические данные двигателей серии АИР

Мощность P_n , кВт	(тип/асинхронная частота вращения n_s , мин ⁻¹)			
	3000	1500	1000	750
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	-

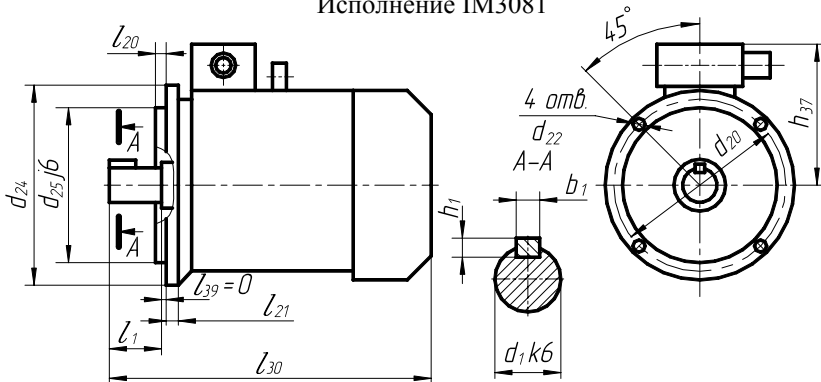
1. Отношение максимального вращающего момента к номинальному $T_{\max}/T=2,2$; для двигателей, отмеченных знаками это отношение равно: ¹-=2,7; ²-=2,9; ³-=2,4; ⁴-=2,5; ⁵-=2,6.

2. Пример обозначения двигателя: «Двигатель АИР100L2 ТУ 16 – 525.564 – 84».

Исполнение IM1081



Исполнение IM3081



Основные размеры электродвигателей серии АИР.

Таблица 3.2

Тип двигателя	Число полюсов	Исполнение																			
		ИМ1081, ИМ3081					ИМ1081					ИМ3081									
		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_{30}	l_{21}	d_{20}	d_{22}	d_{24}	d_{25}	h_{37}
71A, B		19	40	273			170	90	46	7	112	71	9	188				12			117
80A				297	6																
80B		22	50	321			190	100	50	10	125	80	10	205	3,5	10	165	M10	200	130	125
90L	2, 4, 6	24		337			210	125	56		140	90	11	225				15			135
100S				360	8	7															
100L		28	60	391			240	112	63		160	100	12	247	4	14	215		250	180	147
112M	2, 4, 6, 8	32		435			246	140	70	12	190	112		285			16	265	300	230	173
132S	4, 6, 8		80	460	10																
132M	2, 4, 6, 8	38		498		8	288		89		216	132	13	325							193
160S	2	42		630	12			178													
	4, 6, 8	48			14	9	334		108		254	160	18	385	5	15	300	19	350	250	225
160M	2	42	110	660		8		210		15											
	4, 6, 8	48			14	9															
180M	2	48		680	14	9	375	241	121		279	180	20	448				M16	400	300	260
	4, 6, 8	55			16	10															

Примечания. 1. Фланцы изготовляют с отверстиями d_{22} гладкими (числитель) или резьбовыми (знаменатель). 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.

решать исходя из характеристик двигателя и привода. Выбор оптимального типа двигателя рекомендуют [1, 2] проводить после определения передаточного числа привода и его ступеней.

Предварительно необходимо рассмотреть возможность применения двух наиболее быстроходных двигателей, которые подходят по диапазону ($n_{э.т.}^{\min} \dots n_{э.т.}^{\max}$). Из табл. 3.1, 3.2 выписывают данные по двигателям:

Тип двигателя	$P_{э}$, кВт	$n_{э}$, мин ⁻¹	T_{max}/T	d_{I_1} , мм
1.				
2.				

2. Определение передаточных чисел передач

2.1. Передаточное число привода

Общее передаточное число (уточненное) привода для выбранных электродвигателей

$$u_{ОБЩ} = n_{э} / n_{в} . \quad (9)$$

Расчетное значение $u_{ОБЩ}$ распределяют (разбивают) между редуктором (передачами, входящими в редуктор) и другими передачами привода (ременной, цепной, открытой зубчатой). Распределение передаточного числа $u_{ОБЩ}$ должно обеспечить каждой передаче привода компактность и ее соразмерность с другими элементами привода.

2.2. Передаточное число редуктора

Передаточное число редуктора для схем приводов, где отсутствуют открытые передачи:

$$u_{РЕД} = u_{ОБЩ} . \quad (10)$$

Если в схему привода входят редуктор и открытые ременная, цепная или зубчатая передачи, то передаточное число редуктора определяют по одной из формул:

$$А) u_{РЕД} = \frac{u_{ОБЩ}}{u_{РЕМ}} ; \quad Б) u_{РЕД} = \frac{u_{ОБЩ}}{u_{ЦЕП}} ; \quad В) u_{РЕД} = \frac{u_{ОБЩ}}{u_{ЗУБ}} , \quad (11)$$

где предварительно назначают значения передаточных чисел $u_{РЕМ}$ ($u_{ЦЕП}$, $u_{ЗУБ}$):

$$u_{РЕМ} = u_{ЦЕП} = 2,0; \quad u_{РЕМ} = u_{ЦЕП} = 2,5; \quad u_{РЕМ} = u_{ЦЕП} = 3,15;$$

$$u_{ЗУБ} = 2,0; \quad u_{ЗУБ} = 3,15; \quad u_{ЗУБ} = 5.$$

Результаты расчетов $u_{РЕД}$ по (11) заносят в таблицу 4.

Таблица 4

Передаточные числа редуктора

Тип двигателя	$P_{э}$, кВт	$n_{э}$, мин ⁻¹	$u_{ОБЩ}$	$u_{РЕД}$, при		
				$u_{РЕМ} = 2,0$	$u_{РЕМ} = 2,5$	$u_{РЕМ} = 3,15$
1.						
2.						

Примечание: 1. Если в схему привода вместо ременной входят цепная или открытая зубчатая передачи, то необходимо указать в таблице вместо $u_{РЕМ}$ передаточные числа $u_{ЦЕП}$ или $u_{ЗУБ}$. 2. Если $u_{ОБЩ} = u_{РЕД}$, то последние колонки таблицы не заполняют.

Расчетные значения $u_{РЕД}$ (табл. 4) необходимо сравнить (с учетом схемы проектируемого редуктора) с предельными значениями $u_{РЕД}$ для двухступенчатых редукторов по табл. 5, а для одноступенчатых редукторов по табл. 6.2 [1, 3]. Если значение $u_{РЕД}$ из табл. 4 не входит в диапазон предельных значений $u_{РЕД}$ по табл. 5 (табл. 6.2), то его необходимо исключить (зачеркнуть) в табл. 4, потому что редуктор с таким передаточным числом не рекомендуют проектировать.

Сопоставляя значения передаточных чисел редуктора в табл. 4 необходимо выбрать один наиболее оптимальный вариант расчета $u_{РЕД}$. Следует, прежде всего, выбирать значение $u_{РЕД}$, которое для двухступенчатых редукторов входит в диапазон рекомендуемых передаточных чисел $u_{РЕД}$ по табл. 5, а для одноступенчатых редукторов в значения $u_{РЕД}$ из 1-го ряда (предпочтительные) по табл. 6.2. Если этому требованию в табл. 4 удовлетворяет несколько передаточных чисел $u_{РЕД}$, то при выборе оптимального варианта необходимо: 1. отдавать предпочтение значению $u_{РЕД}$, которое получено для самого распространенного двигателя с синхронной частотой вращения 1500 мин^{-1} ; 2. исключать значения $u_{РЕД}$, которые получены для тихоходного двигателя с синхронной частотой вращения 750 мин^{-1} ; 3. по возможности не выбирать значение $u_{РЕД}$, которое получено при максимальных передаточных числах $u_{РЕМ} = u_{ЦЕП} = 3,15$ или $u_{ЗУБ} = 5$.

С учетом сопоставлений и анализа расчетных значений $u_{РЕД}$ выписывают из табл. 4 для дальнейших расчетов данные по наиболее предпочтительному варианту:

$$n_3 = \text{__} \text{ мин}^{-1}; \quad u_{ОБЩ} = \text{__}; \quad u_{РЕД} = \text{__}; \quad u_{РЕМ} = \text{__}.$$

Далее для приводов с одноступенчатым редуктором сразу уточняют передаточное число $u_{РЕМ}$ ($u_{ЦЕП}$; $u_{ЗУБ}$) см. п. 2.4, а для приводов с двухступенчатым редуктором сначала проводят разбивку (распределение) $u_{РЕД}$ между быстроходной (u_B) и тихоходной (u_T) передачами.

2.3. Передаточные числа быстроходной и тихоходной передач двухступенчатых редукторов

Разбивка передаточного числа двухступенчатого редуктора ($u_{РЕД} = u_B \times u_T$) на передаточные числа u_B быстроходной и u_T тихоходной ступеней существенно влияет на габариты и рациональность компоновки узлов редуктора, эффективность и способ смазки колес в зацеплении и т.д. [1, 4]. Существует несколько методик разбивки передаточного числа $u_{РЕД} = u_B \times u_T$: из условия получения равнопрочных по контактным напряжениям зубчатых пар; из условия получения минимальной высоты и длины редуктора

или определенного соотношения между межосевыми расстояниями тихоходной и быстроходной ступеней (рис. 2); и т.д.

В курсовом проектировании наиболее распространены две методики разбивки передаточного числа редуктора $u_{ред}$ на u_B и u_T : 1) из условия близкой контактной прочности колес передач и одинакового погружения их в масло при смазывании окунанием – табл. 5 [2, 4]; 2) по рекомендациям для редукторов, изготавливаемых серийно в соответствии с ГОСТами – табл. 6.2 [1, 3].

Рекомендуемые значения отношений межосевых расстояний a_T/a_B тихоходной и быстроходной ступеней				
a_T/a_B	1,25	1,4	1,6	1,8
$u_{ред}$	8...12,5	10...20	16...31,5	25...50
№ кривой	1	2	3	4

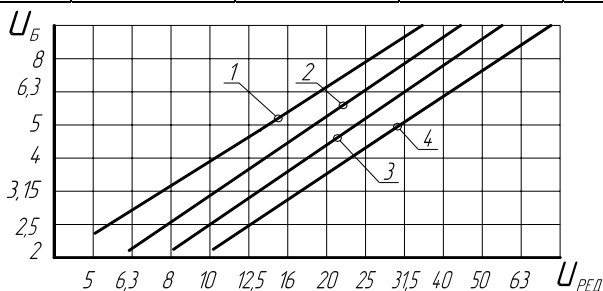


Рис. 2. Определение передаточных чисел u_B , u_T двухступенчатого цилиндрического редуктора, по условию определенного соотношения a_T/a_B .

Если передаточные числа быстроходной и тихоходной ступеней определяются по формулам табл. 5, то расчетные значения u_B и u_T необходимо уточнить – принять ближайшее стандартное значение по табл. 6.1

С учетом принятых значений u_B и u_T по ГОСТу, необходимо уточнить окончательно передаточное число редуктора: $u_{ред} = u_B \times u_T$.

2.4. Передаточное число ременной, цепной или открытой зубчатой передач

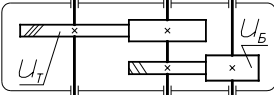
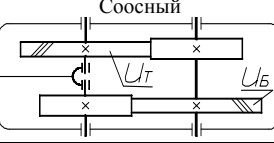
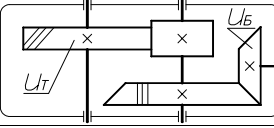
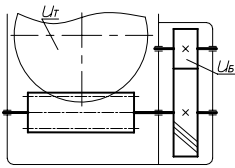
Для приводов, в кинематическую схему которых входят ременная, цепная или открытая зубчатая передачи, необходимо уточнить ранее принятое (п. 2.2) значение передаточного числа (u) этих передач, с целью сохранения неизменным общего передаточного числа:

$$A) u_{рем} = \frac{u_{общ}}{u_{ред}}; \quad B) u_{цеп} = \frac{u_{общ}}{u_{ред}}; \quad B) u_{звб} = \frac{u_{общ}}{u_{ред}}. \quad (12)$$

Результаты расчета передаточных чисел передач привода заносят в таблицу 7.

Таблица 5

Разбивка передаточных чисел двухступенчатых редукторов

Редуктор (название, схема)	Диапазон значений $u_{РЕД}$		Расчетные формулы	
	[преде- льные]	(рекомендуе- мые)	u_B	u_T
	[7,1...40]	(12,5...25)	$u_{РЕД} / u_T$	$0,88\sqrt{u_{РЕД}}$
<p>Соосный</p> 	[7,1...40]	(12,5...22,4)	$u_{РЕД} / u_T$	$0,95\sqrt{u_{РЕД}}$
	[8...40]	(12,5...20)	$u_{РЕД} / u_T$	$1,1 \cdot \sqrt{u_{РЕД}}$
<p>Цилиндрическо-червячный</p> 	[16...200]	(31,5...125)	$u_{РЕД} / u_T$	$\sqrt[5]{\frac{u_{РЕД}}{u_{РЕД}}}$

	50...400	$u_{ред} \leq 50$	
		8	$u_{ред} / u_B$
		$u_{ред} > 50$	
		$u_{ред} / u_T$	6,3

Таблица 6.1

Передаточные числа передач редуктора

Передаточное число	Передача	
	цилиндрическая, коническая	червячная
u	1 ; 1,12; 1,25 ; 1,4; 1,6 ; 1,8; 2,0 ; 2,24; 2,5 ; 2,8; 3,15 ; 3,55; 4,0 ; 4,5; 5,0 ; 5,6; 6,3 ; 7,1; 8,0	8 ; 9; 10 ; 11,2; 12,5 ; 14; 16 ; 18; 20 ; 22,4; 25 ; 28; 31,5 ; 35,5; 40 ; 45; 50 ; 56; 63 ; 71

Таблица 6.2

Передаточные числа ступеней редукторов

(по ГОСТ 2185-66 – передачи зубчатые; по ГОСТ 2144-93 – передачи червячные)

Одноступенчатый редуктор		Двухступенчатые редукторы ($u_{ред} = u_B \times u_T$)	
зубчатый	червячный	трехосный	соосный
1,4	8	8=2,0×4,0	8≈2,5×3,15
1,6	9	9≈2,24×4,0	9≈2,8×3,15
1,8	10	10=2,5×4,0	10≈3,15×3,15
2,0	11,2	11,2=2,8×4,0	11,2=2,8×4,0
2,24	12,5	12,5≈3,15×4,0	12,5≈3,15×4,0
2,5	14	14≈3,15×4,5	14≈3,55×4,0
2,8	16	16=3,55×4,5	16=4,0×4,0
3,15	18	18=4,0×4,5	18=4,0×4,5
3,55	20	20≈4,5×4,5	20≈4,5×4,5
4,0	22,4	22,4≈4,5×5,0	22,4≈4,5×5,0
4,5	25	25=5,0×5,0	25=5,0×5,0
5,0	28	28=5,6×5,0	28=5,0×5,6
5,6	31,5	31,5=6,3×5,0	31,5=5,0×6,3
6,3	35,5	35,5≈6,3×5,6	35,5≈5,6×6,3
7,1	40	40≈7,1×5,6	40≈6,3×6,3

Примечание: 1. Для одноступенчатых редукторов приведены рекомендуемые значения $u_{ред}$, здесь жирно выделены значения первого ряда – предпочтительные. 2. Трехосные редукторы – это цилиндрические по развернутой схеме, коническо-цилиндрические (см. табл. 5).

Таблица 7

Передаточные числа передач привода

Электродвигатель		Передаточные числа		
$P_{\text{Э}}$, кВт	$n_{\text{Э}}$, мин ⁻¹	$u_{\text{ОБЩ}}$	$u_{\text{РЕД}}=u_{\text{Б}} \times u_{\text{Т}}$	$u_{\text{РЕМ}}$

Примечание: 1. Если в схему привода вместо ременной входят цепная или открытая зубчатая передачи, то в таблице необходимо заменить $u_{\text{РЕМ}}$ на $u_{\text{ЦЕП}}$ или $u_{\text{ЗУБ}}$. 2. Если $u_{\text{РЕД}}=u_{\text{ОБЩ}}$, то последней колонку не заполняют.

3. Определение частоты вращения, мощности и вращающего момента на валах привода

Для определения частоты вращения n (мин⁻¹), мощности P (кВт), вращающего момента T (Н·м) на валах привода с двухступенчатым редуктором можно воспользоваться формулами табл. 8. Для приводов, в схему которых входит одноступенчатый редуктор в расчетах по формулам табл. 8 следует не учитывать (исключить) промежуточный вал.

Таблица 8

Частота вращения n , мощность P , вращающий момент T на валах привода

Вал привода		n , мин ⁻¹	P , кВт	T , Н·м
Вал двигателя		$n_{\text{Э}}$	$P_{\text{Э.м.}}$	$T_{\text{Э}}=9554 \cdot P_{\text{Э.м.}} / n_{\text{Э}}$
Быстроходный вал редуктора	А	$n_{\text{Б}}=n_{\text{Э}}$	$P_{\text{Б}}=P_{\text{Э.м.}} \cdot \eta_{\text{М.Б}}$	$T_{\text{Б}}=T_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{М.Б}}$
	Б	$n_{\text{Б}}=n_{\text{Э}}/u_{\text{РЕМ}}$	$P_{\text{Б}}=P_{\text{Э.м.}} \cdot \eta_{\text{РЕМ}}$	$T_{\text{Б}}=T_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{РЕМ}} \cdot u_{\text{РЕМ}}$
Промежуточный вал редуктора		$n_{\text{П}}=n_{\text{Б}}/u_{\text{Б}}$	$P_{\text{П}}=P_{\text{Б}} \cdot \eta_{\text{Б}}$	$T_{\text{П}}=T_{\text{Б}} \cdot \eta_{\text{Б}} \cdot u_{\text{Б}}$
Тихоходный вал редуктора		$n_{\text{Т}}=n_{\text{П}}/u_{\text{Т}}$	$P_{\text{Т}}=P_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{Т}}$	$T_{\text{Т}}=T_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{Т}} \cdot u_{\text{Т}}$
Вал машины	А	$n_{\text{В}}=n_{\text{Т}}$	$P_{\text{В}}=P_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{М.Т}} \cdot \eta_{\text{ОП}}$	$T_{\text{В}}=T_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{М.Т}} \cdot \eta_{\text{ОП}}$
	Б	$n_{\text{В}}=n_{\text{Т}}/u_{\text{ЦЕП}}$	$P_{\text{В}}=P_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{ЦЕП}} \cdot \eta_{\text{ОП}}$	$T_{\text{В}}=T_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{ЦЕП}} \cdot \eta_{\text{ОП}} \cdot u_{\text{ЦЕП}}$
	В	$n_{\text{В}}=n_{\text{Т}}/u_{\text{ЗУБ}}$	$P_{\text{В}}=P_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{ЗУБ}} \cdot \eta_{\text{ОП}}$	$T_{\text{В}}=T_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{ЗУБ}} \cdot \eta_{\text{ОП}} \cdot u_{\text{ЗУБ}}$

Пояснения к проведению расчетов по таблице 8:

1. В расчетных формулах приняты следующие обозначения:

1) $\eta_{\text{Б}}$ – КПД быстроходной передачи двухступенчатого редуктора: $\eta_{\text{Б}}=\eta_{\text{Ц.Б}}$ для цилиндрических двухступенчатых и цилиндрическо – червячных редукторов; $\eta_{\text{Б}}=\eta_{\text{К.Б}}$ для коническо – цилиндрических редукторов; $\eta_{\text{Б}}=\eta_{\text{Ч.Б}}$ для червячно – цилиндрических редукторов.

2) $\eta_{\text{Т}}$ – КПД тихоходной передачи двухступенчатого редуктора: $\eta_{\text{Т}}=\eta_{\text{Ц.Т}}$ для цилиндрических двухступенчатых, червячно – цилиндрических и коническо – цилиндрических редукторов; $\eta_{\text{Т}}=\eta_{\text{Ч.Т}}$ для цилиндрическо – червячных редукторов.

3) Для приводов с одноступенчатыми редукторами в таблице 8 исключить строку «Промежуточный вал». При определении значений n_T , P_T , T_T тихоходного вала в формулах табл. 8 необходимо заменить параметры η_T и u_T на: $\eta_{ц.б.}$, $u_{ц.б.}$ – для цилиндрических редукторов; $\eta_{к.б.}$, $u_{к.б.}$ – для конических редукторов; $\eta_{ч.б.}$, $u_{ч.б.}$ – для червячных редукторов.

2. Для *быстроходного вала* значения n_B , P_B , T_B определяют с учетом кинематической схемы привода: вал электродвигателя соединяется с быстроходным валом редуктора муфтой – вариант расчетных формул «А», ременной передачей – «Б».

3. Для *вала машины* (приводного вала) значения n_B , P_B , T_B определяют с учетом кинематической схемы привода: тихоходный вал редуктора соединяется с валом машины муфтой – вариант расчетных формул «А»; цепной передачей – «Б»; открытой зубчатой передачей – «В».

Полученные значения n_B и P_B в табл. 8 необходимо сравнить с величинами этих параметров, которые определяли выше по формулам (2) и (5):

а) Значение мощности P_B в табл. 8 для любой схемы привода должно совпадать (допускается расхождение в сотых долях за счет погрешностей вычислений) с величиной потребляемой мощности P_B по (2).

б) Значение частоты вращения n_B в табл. 8 для приводов, в кинематическую схему которых входят ременная, цепная или открытая зубчатая передачи, должно совпадать (допускается расхождение в сотых долях за счет погрешностей вычислений) с величиной n_B по (5).

в) Значение частоты вращения n_B в табл. 8 и по (5) для приводов, в которых $u_{общ} = u_{ред}$ (нет ременной, цепной или открытой зубчатой передач), будет отличаться (допускается отклонение до 4%) от величины n_B по (5), т.к. передаточное число $u_{ред} = u_B \times u_T$ изменяется после того, как принимают по ГОСТу значения u_B быстроходной и u_T тихоходной ступеней.

Результаты расчета n , P , T на валах привода необходимо занести в таблицу (см. примеры расчета), чтобы было удобно в дальнейшем готовить исходные данные для прочностных расчетов передач.

4. Кинематический расчет на ЭВМ по программе «ПРИВОД»

Кинематический расчет электромеханического привода, можно выполнить по программе «Привод», разработанной на кафедре «Детали машин» АлтГТУ. Программа предназначена для эксплуатации на компьютерах IBM PC и совместимых с ними. Алгоритм расчета в программе сделан по рассмотренной выше методике.

Программа выполнена в виде Windows – приложения, работающего в диалоговом режиме. Такой режим упрощает использование программы и облегчает управление расчетом. Приложение рассчитано на непрофессионального пользователя и имеет контроль вводимой информации. Расчет по программе заключается в выборе пользователем нужных параметров согласно исходных данных задания и целей расчета. Приложение позволяет проводить кинематический расчет для схем механического привода, в состав которых могут входить электродвигатель, одно – двухступенчатые редукторы различных схем, открытые передачи (ременная, цепная или зубчатая). В ходе работы с программой следует заполнить данные в следующих окнах:

1. Ввод исходных данных;
2. Определение требуемой мощности и частоты вращения двигателя;
3. Выбор электродвигателя и передаточного числа редуктора;
4. Передаточные числа ступеней привода;
5. Определение частоты вращения, мощности и вращающего момента на валах привода.

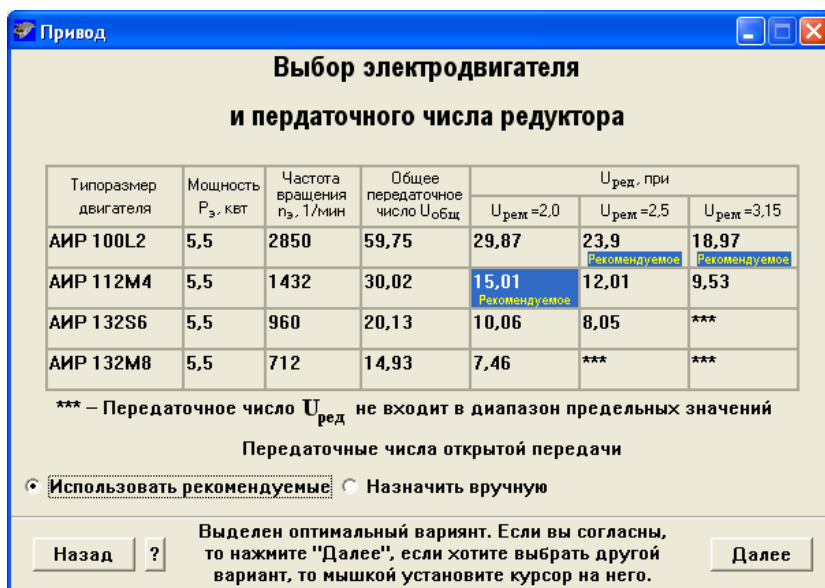


Рис. 3. Фрагмент выполнения программы

Исходными данными для программы служат величины кинематических и силовых параметров привода по техническому заданию. Пользователь имеет возможность, работая с программой: 1. использовать банк справочной информации о стандартных двигателях, величинах КПД звеньев, передаточных числах передач; 2. вносить исправления и изменения на любом этапе выполнения расчетов; 3. принимать окончательное решение при выборе вариантов расчетов (рис. 3).

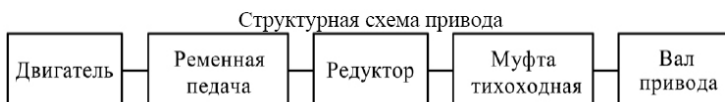
По итогам работы с программой пользователь получает распечатку (рис. 4), в которой отражены основные результаты кинематического расчета проектируемого привода.

Кинематический и силовой расчет электромеханического привода

Выполнил студент группы ТМ-21 Черданцев А.О.

1. Исходные данные

- Окружная сила на барабане $F=6$ кН.
- Скорость движения ленты $V=0,8$ м/с.
- Шаг тяговой звездочки $t=100$ мм.
- Число зубьев тяговой звездочки $z=12$.
- Редуктор: цилиндрический по развёрнутой схеме.



2. Выбор электродвигателя

- Потребляемая мощность привода $P_v=4,8$ кВт.
- Частота вращения вала привода $n_v=40$ об/мин.
- Требуемая мощность двигателя $P_{э.т.}=5,71$ кВт.
- Требуемая частота вращения вала двигателя $n_{э.т.}=(500...5040)$ об/мин.

Типоразмер электродвигателя	Мощность P_v , кВт	Частота вращения n_v , об/мин	$U_{общ}$	$U_{ред.}$ при		
				$U_{ред.} = 2,0$	$U_{ред.} = 2,5$	$U_{ред.} = 3,15$
АИР 100L2	5,5	2850	71,25	35,62	28,5	22,62 рекомендуемое
АИР 112М4	5,5	1432	35,8	17,9 оптимальное	14,32 рекомендуемое	11,37
АИР 132S6	5,5	960	24	12	9,6	7,62
АИР 132М8	5,5	712	17,8	8,9	7,12	***

Выбран электродвигатель АИР 112М4 с передаточным числом редуктора в приводе $U_{ред.}=17,9$.

3. Передаточные числа ступеней привода

- Общее передаточное число привода $U_{общ.}=35,8$.
- Передаточное число редуктора $U_{ред.}=17,9$.
- Передаточное число быстроходной ступени $U_6=4$.
- Передаточное число тихоходной ступени $U_7=4,5$.
- Передаточное число ременной передачи $U_{рем.}=1,99$.

4. Нагрузки на валах привода

Вал привода	n , мин ⁻¹	P , кВт	T , Н·м
Вал двигателя	1432	5,71	38,1
Быстроходный вал	719,6	5,37	71,27
Промежуточный	179,9	5,16	273,68
Тихоходный вал	39,98	4,95	1182,3
Вал машины	39,98	4,8	1147,07

Рис. 4. Распечатка – отчет результатов расчета по программе «ПРИВОД»

5. Примеры расчета

Пример 1. Спроектировать привод цепного конвейера (рис. 1), для варианта №3 исходных данных: окружная сила на тяговой звез-

дочке $F=6$ кН; скорость тяговой цепи $V=0,8$ м/с; шаг цепи $t=100$ мм; число зубьев тяговой звездочки $z=12$.

Решение:

1. Выбор электродвигателя:

1.1. Требуемая мощность электродвигателя

$$P_{э.м.} = P_B / \eta_{ОБЦ} ;$$

1) Потребляемая мощность (для приводного вала) по (2):

$$P_B = F \cdot V = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ кВт.}$$

2) КПД общий по (3) с учетом звеньев кинематической цепи для проектируемого привода

$$\eta_{ОБЦ} = \eta_{РЕМ} \cdot \eta_{Ц.Б.} \cdot \eta_{Ц.Т.} \cdot \eta_{М.Т.} \cdot \eta_{ОП} ;$$

где $\eta_{РЕМ}$ – КПД ременной передачи; $\eta_{Ц.Б.}$, $\eta_{Ц.Т.}$ – КПД цилиндрической быстроходной и тихоходной передач; $\eta_{М.Т.}$ – КПД муфты тихоходной; $\eta_{ОП}$ – КПД опор вала машины.

По табл. 1: $\eta_{М.Т.}=0,98$; $\eta_{РЕМ}=0,95$; $\eta_{Ц.Б.}=\eta_{Ц.Т.}=0,97$; $\eta_{ОП}=0,99$.

Тогда $\eta_{ОБЦ} = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,867$.

Требуемая мощность электродвигателя

$$P_{э.м.} = 4,8 / 0,867 = 5,54 \text{ кВт.}$$

1.2. Требуемая частота вращения вала двигателя

$$n_{э.м.} = n_B \cdot u'_{ОБЦ} ;$$

1) Частота вращения привода вала (вала машины) по (5):

$$n_B = \frac{60 \cdot 1000 \cdot V}{z \cdot t} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 0,8}{12 \cdot 100} = 40 \text{ мин}^{-1}$$

2) Ожидаемое общее передаточное число по (6) с учетом передач для проектируемого привода:

$$u'_{ОБЦ} = u'_{РЕМ} \cdot u'_{Ц.Б.} \cdot u'_{Ц.Т.} ;$$

где $u'_{РЕМ}$ – передаточное число ременной передачи; $u'_{Ц.Б.}$, $u'_{Ц.Т.}$ – передаточные числа цилиндрической быстроходной и тихоходной ступеней редуктора.

По табл. 2: $u'_{РЕМ}=(2 \dots 4)$; $u'_{Ц.Б.}=(2,5 \dots 6,3)$; $u'_{Ц.Т.}=(2,5 \dots 5)$.

Минимальное и максимальное общее передаточное число:

$$u'_{ОБЦ}^{\min} = u'_{РЕМ}^{\min} \cdot u'_{Ц.Б.}^{\min} \cdot u'_{Ц.Т.}^{\min} = 2 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 12,5 ;$$

$$u'_{ОБЦ}^{\max} = u'_{РЕМ}^{\max} \cdot u'_{Ц.Б.}^{\max} \cdot u'_{Ц.Т.}^{\max} = 4 \cdot 6,3 \cdot 5 = 126 .$$

Тогда минимальная и максимальная требуемая частота вращения вала двигателя:

$$n_{э.м.}^{\min} = n_B \cdot u'_{ОБЦ}^{\min} = 40 \cdot 12,5 = 500 \text{ мин}^{-1} ;$$

$$n_{э.м.}^{\max} = n_B \cdot u'_{ОБЦ}^{\max} = 40 \cdot 126 = 5040 \text{ мин}^{-1} .$$

1.3. По табл. 3 с учетом условий (8) выбираем электродвигатели.

Мощность двигателя по табл. 3.1: $P_э=5,5 \text{ кВт} \geq 0,96P_{э.м.}=5,32 \text{ кВт}$.

По диапазону требуемой частоты вращения $n_{э.м.}=(500\dots5040) \text{ мин}^{-1}$ подходят несколько двигателей. Предварительно выбираем два наиболее быстроходных двигателя, технические данные которых заносим в таблицу:

Тип электродвигателя (ТУ16-525.564-84)	$P_э$, кВт	$n_э$, мин^{-1}	T_{max}/T	d_l , мм
АИР 100L2	5,5	2850	2,2	28
АИР 112M4	5,5	1432	2,2	32

2. Определяем передаточные числа передач привода:

2.1. Общее передаточное число привода для выбранных электродвигателей:

$$u_{\text{ОБЩ}} = n_э / n_B = 2850/40=71,25; \quad u_{\text{ОБЩ}} = n_э / n_B = 1432/40=35,8.$$

2.2. Передаточное число редуктора определяют по (11) с учетом передаточного числа ременной передачи, которое предварительно принимаем - $u_{\text{РЕМ}}=2,0$; $u_{\text{РЕМ}}=2,5$; $u_{\text{РЕМ}}=3,15$:

Двигатель АИР100L2:

$$u_{\text{РЕД}} = \frac{u_{\text{ОБЩ}}}{u_{\text{РЕМ}}} = \frac{71,25}{2,0} = 35,63; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{71,25}{2,5} = 28,5; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{71,25}{3,15} = 22,62.$$

Двигатель АИР112M4:

$$u_{\text{РЕД}} = \frac{u_{\text{ОБЩ}}}{u_{\text{РЕМ}}} = \frac{35,8}{2,0} = 17,9; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{35,8}{2,5} = 14,32; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{35,8}{3,15} = 11,37.$$

Результаты расчетов $u_{\text{РЕД}}$ заносим в таблицу:

Двигатель	$P_э$, кВт	$n_э$, мин^{-1}	$u_{\text{ОБЩ}}$	$u_{\text{РЕД}}$ при		
				$u_{\text{РЕМ}}=2,0$	$u_{\text{РЕМ}}=2,5$	$u_{\text{РЕМ}}=3,15$
АИР100L2	5,5	2850	71,25	35,63	28,5	22,62
АИР112M4	5,5	1432	35,8	17,9	14,32	11,37

Все расчетные значения входят в диапазон предельных значений $u_{\text{РЕД}}=[7,1\dots40]$ для цилиндрических редукторов по развернутой схеме (табл. 5). В диапазоне рекомендуемых передаточных чисел $u_{\text{РЕД}}=(12,5\dots25)$ входят несколько расчетных значений $u_{\text{РЕД}}$ (не вошли расчетные значения $u_{\text{РЕД}}=35,63$ и $u_{\text{РЕД}}=28,5$), поэтому необходимо проанализировать полученные величины $u_{\text{РЕД}}$. В соответствии с рекомендациями (п. 2.2) при выборе оптимального варианта исключаем значение $u_{\text{РЕД}}=22,62$, т.к. оно получено при максимальном передаточном числе $u_{\text{РЕМ}}=3,15$ и для самого быстроходного двигателя (асинхронная частота 3000мин^{-1}). Отдаем предпочтение значению $u_{\text{РЕД}}=17,9$, полученного для двигателя с синхронной частотой 1500 мин^{-1} . Выбираем для проектирования:

$$u_{\text{РЕД}}=17,9; \quad u_{\text{РЕМ}}=2,0; \quad u_{\text{ОБЩ}}=35,8; \quad n_э=1432 \text{ мин}^{-1}.$$

2.3. По формулам табл. 5 определяем передаточные числа u_B быстроходной и u_T тихоходной ступеней редуктора.

$$u_T = 0,88 \cdot \sqrt{u_{ред}} = 0,88 \cdot \sqrt{17,9} = 3,72;$$

$$u_B = u_{ред} / u_T = 17,9 / 3,72 = 4,81.$$

Расчетные значения u_B и u_T округляем до ближайшего стандартного по табл. 6.1 – $u_T = 3,55$; $u_B = 5$.

Уточняем передаточное число редуктора

$$u_{ред} = u_B \cdot u_T = 5 \cdot 3,55 = 17,75.$$

2.4. С учетом принятых значений u_B и u_T уточняем по (12) передаточное число ременной передачи:

$$u_{РЕМ} = u_{ОБЦ} / u_{ред} = 35,8 / 17,75 = 2,02.$$

Результаты расчета передаточных чисел передач заносим в таблицу:

Электродвигатель		Передаточные числа		
$P_{э}$, кВт	$n_{э}$, мин ⁻¹	$u_{ОБЦ}$	$u_{ред} = u_B \times u_T$	$u_{РЕМ}$
5,5	1432	35,8	17,75 = 5 × 3,55	2,02

3. Определяем частоту вращения, мощность, вращающий момент на валах привода по формулам табл. 8:

3.1. Частота вращения:

- вал электродвигателя: $n_{э} = 1432$ мин⁻¹;
- быстроходный вал редуктора: $n_B = n_{э} / u_{РЕМ} = 1432 / 2,02 = 708,91$ мин⁻¹;
- промежуточный вал редуктора: $n_{II} = n_B / u_B = 708,91 / 5 = 141,78$ мин⁻¹;
- тихоходный вал редуктора: $n_T = n_{II} / u_T = 141,78 / 3,55 = 39,94$ мин⁻¹;
- вал машины (приводной вал): $n_B = n_T = 39,94$ мин⁻¹.

Полученное значение частоты $n_B = 39,94$ мин⁻¹ практически совпадает, с учетом погрешностей вычислений, с величиной $n_B = 40$ мин⁻¹, которую определяли выше по исходным данным.

3.2. Мощность:

- вал электродвигателя: $P_{э.м.} = 5,54$ кВт;
- быстроходный вал редуктора: $P_B = P_{э.м.} \cdot \eta_{РЕМ} = 5,54 \cdot 0,95 = 5,263$ кВт;
- промежуточный вал редуктора: $P_{II} = P_B \cdot \eta_{II.B} = 5,263 \cdot 0,97 = 5,105$ кВт;
- тихоходный вал редуктора: $P_T = P_{II} \cdot \eta_{II.T} = 5,105 \cdot 0,97 = 4,952$ кВт;
- вал машины (приводной): $P_B = P_T \cdot \eta_{М.Т.} \cdot \eta_{ОП} = 4,952 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 4,8$ кВт.

Полученное значение мощности $P_B = 4,8$ кВт совпадает с величиной потребляемой мощности $P_B = 4,8$ кВт, которую определяли выше по исходным данным.

3.3. Вращающие моменты:

1. вал электродвигателя:

$$T_{э} = 9554 \cdot P_{э.м.} / n_{э} = 9554 \cdot 5,54 / 1432 = 36,96 \text{ Н·м,}$$

2. быстроходный вал редуктора:

$$T_B = T_{э} \cdot \eta_{РЕМ} \cdot u_{РЕМ} = 36,96 \cdot 0,95 \cdot 2,02 = 70,93 \text{ Н·м;}$$

3. промежуточный вал редуктора:

$$T_{II} = T_B \cdot \eta_{ц.б.} \cdot u_B = 70,93 \cdot 0,97 \cdot 5 = 344,01 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

4. тихоходный вал редуктора:

$$T_T = T_{II} \cdot \eta_{ц.т.} \cdot u_T = 344,01 \cdot 0,97 \cdot 3,55 = 1184,6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

5. вал машины (приводной вал):

$$T_B = T_T \cdot \eta_{м.т.} \cdot \eta_{оп} = 1184,6 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 1149,3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Результаты расчета n , P , T заносим в таблицу:

Вал привода	n , мин ⁻¹	P , кВт	T , Н·м
Вал двигателя	1432	5,54	36,96
Быстроходный вал редуктора	708,91	5,263	70,93
Промежуточный вал редуктора	141,78	5,105	344,01
Тихоходный вал редуктора	39,94	4,952	1184,6
Вал машины	39,94	4,8	1149,6

Пример 2. Спроектировать привод ленточного конвейера (рис. 5). Исходные данные: окружная сила на барабане конвейера $F = 8 \text{ кН}$; скорость ленты $V = 0,65 \text{ м/с}$; диаметр барабана $D = 700 \text{ мм}$.

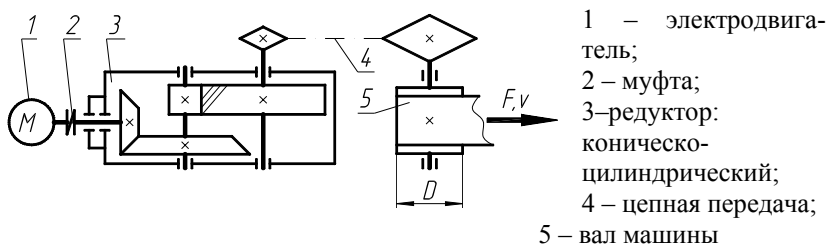


Рис. 5. Привод цепного конвейера

Решение:

1. Выбор электродвигателя:

1.1. Требуемая мощность электродвигателя

$$P_{э.м.} = P_B / \eta_{общ.};$$

1) Потребляемая мощность (для приводного вала машины) по (2):

$$P_B = F \cdot V = 8 \cdot 0,65 = 5,2 \text{ кВт}.$$

2) КПД общий по (3) с учетом звеньев кинематической цепи для проектируемого привода

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{м.б.}} \cdot \eta_{\text{к.б.}} \cdot \eta_{\text{ц.т.}} \cdot \eta_{\text{цеп}} \cdot \eta_{\text{оп}},$$

где $\eta_{\text{м.б.}}$ – КПД муфты быстроходной; $\eta_{\text{к.б.}}$ – КПД конической быстроходной передачи; $\eta_{\text{ц.т.}}$ – КПД цилиндрической тихоходной передачи; $\eta_{\text{цеп}}$ – КПД цепной передачи; $\eta_{\text{оп}}$ – КПД опор вала машины.

По табл. 1: $\eta_{\text{м.б.}}=0,99$; $\eta_{\text{цеп}}=0,93$; $\eta_{\text{к.б.}}=0,96$; $\eta_{\text{ц.т.}}=0,97$; $\eta_{\text{оп}}=0,99$.

Тогда $\eta_{\text{общ}} = 0,99 \cdot 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,99 = 0,849$.

Требуемая мощность электродвигателя

$$P_{\text{э.м.}} = 5,2 / 0,849 = 6,12 \text{ кВт.}$$

1.2. Требуемая частота вращения вала двигателя

$$n_{\text{э.м.}} = n_B \cdot u'_{\text{общ}} :$$

1) Частота вращения привода вала (вала машины) по (5):

$$n_B = \frac{60 \cdot 1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 0,65}{3,14 \cdot 700} = 19,1 \text{ мин}^{-1}$$

2) Ожидаемое общее передаточное число по (6) с учетом передач для проектируемого привода:

$$u'_{\text{общ}} = u'_{\text{к.б.}} \cdot u'_{\text{ц.т.}} \cdot u'_{\text{цеп}},$$

где $u'_{\text{цеп}}$ – передаточное число цепной передачи; $u'_{\text{к.б.}}$ – передаточное число конической передачи; $u'_{\text{ц.т.}}$ – передаточное число цилиндрической тихоходной передачи.

По табл.2: $u'_{\text{цеп}}=(1,5 \dots 4)$; $u'_{\text{к.б.}}=(1 \dots 4)$; $u'_{\text{ц.т.}}=(2,5 \dots 5)$.

Минимальное и максимальное общее передаточное число:

$$u_{\text{общ}}^{\min} = u_{\text{к.б.}}^{\min} \cdot u_{\text{ц.т.}}^{\min} \cdot u_{\text{цеп}}^{\min} = 1 \cdot 2,5 \cdot 1,5 = 3,75 ;$$

$$u_{\text{общ}}^{\max} = u_{\text{к.б.}}^{\max} \cdot u_{\text{ц.т.}}^{\max} \cdot u_{\text{цеп}}^{\max} = 4 \cdot 5 \cdot 4 = 80 .$$

Тогда минимальная и максимальная требуемая частота вращения вала двигателя:

$$n_{\text{э.м.}}^{\min} = n_B \cdot u_{\text{общ}}^{\min} = 19,1 \cdot 3,75 = 71,625 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{\text{э.м.}}^{\max} = n_B \cdot u_{\text{общ}}^{\max} = 19,1 \cdot 80 = 1528 \text{ мин}^{-1}.$$

1.3. По табл. 3 с учетом условий (8) выбираем электродвигатели. Мощность ближайшего двигателя по табл. 3.1:

$$P_{\text{э}} = 7,5 \text{ кВт} > 0,96 P_{\text{э.м.}} = 5,88 \text{ кВт.}$$

По диапазону частоты вращения $n_{\text{э.м.}}=(71,625 \dots 1528) \text{ мин}^{-1}$ подходят несколько двигателей, не попадает в этот диапазон двигатель с синхронной частотой вращения 3000 мин^{-1} . Предварительно выбираем два наиболее быстроходных двигателя, технические данные которых заносим в таблицу:

Тип двигателя (ТУ16-525.564-84)	$P_{\text{э}}$, кВт	$n_{\text{э}}$, мин ⁻¹	T_{max}/T	d_1 , мм
------------------------------------	----------------------	------------------------------------	--------------------	------------

АИР 132S4	7,5	1440	2,2	38
АИР 132М6	7,5	960	2,2	38

2. Определяем передаточные числа передач привода:

2.1. Общее передаточное число привода для выбранных электродвигателей:

$$u_{\text{ОБЩ}} = n_3 / n_B = 1440 / 19,10 = 75,39; \quad u_{\text{ОБЩ}} = n_3 / n_B = 960 / 19,10 = 50,26.$$

2.2. Передаточное число редуктора определяем по (11) с учетом передаточного числа цепной передачи, которое предварительно принимаем - $u_{\text{ЦЕП}}=2,0$; $u_{\text{ЦЕП}}=2,5$; $u_{\text{ЦЕП}}=3,15$:

Двигатель АИР132S4:

$$u_{\text{РЕД}} = \frac{u_{\text{ОБЩ}}}{u_{\text{ЦЕП}}} = \frac{75,39}{2,0} = 37,7; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{75,39}{2,5} = 30,16; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{75,39}{3,15} = 23,93.$$

Двигатель АИР132М6:

$$u_{\text{РЕД}} = \frac{u_{\text{ОБЩ}}}{u_{\text{РЕМ}}} = \frac{50,26}{2,0} = 25,13; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{50,26}{2,5} = 20,1; \quad u_{\text{РЕД}} = \frac{50,26}{3,15} = 15,96.$$

Результаты расчетов $u_{\text{РЕД}}$ заносим в таблицу:

Двигатель	P , кВт	n_3 , мин ⁻¹	$u_{\text{ОБЩ}}$	$u_{\text{РЕД}}$ при		
				$u_{\text{ЦЕП}}=2,0$	$u_{\text{ЦЕП}}=2,5$	$u_{\text{ЦЕП}}=3,15$
АИР132S4	7,5	1440	75,39	37,7	30,16	23,93
АИР132М6	7,5	960	50,26	25,13	20,1	15,96

Все расчетные значения $u_{\text{РЕД}}$ входят в диапазон предельных значений $u_{\text{РЕД}}=[8...40]$ для коническо-цилиндрических редукторов (табл. 5). В диапазоне рекомендуемых передаточных чисел $u_{\text{РЕД}}=(12,5...20)$ входят только два значения: $u_{\text{РЕД}}=15,96$; $u_{\text{РЕД}}=20,1$ (допускается отклонение до 5% от значений диапазона рекомендуемых передаточных чисел). В соответствии с рекомендациями п. 2.2 при выборе оптимального варианта исключаем значение $u_{\text{РЕД}}=15,96$, т.к. оно получено при максимальном $u_{\text{ЦЕП}}=3,15$. Для двигателя с синхронной частотой вращения 1500 мин^{-1} , все значения $u_{\text{РЕД}}$ не входят в диапазон рекомендуемых. Выбираем для проектирования:

$$u_{\text{РЕД}}=20,1; \quad u_{\text{ЦЕП}}=2,5; \quad u_{\text{ОБЩ}}=50,26; \quad n_3=960 \text{ мин}^{-1}.$$

2.3. По формулам табл. 5 определяем передаточные числа u_B быстрой и u_T тихоходной ступеней редуктора:

$$u_T = 1,1 \cdot \sqrt{u_{\text{РЕД}}} = 1,1 \cdot \sqrt{20,1} = 4,93;$$

$$u_B = u_{\text{РЕД}} / u_T = 20,1 / 4,93 = 4,08.$$

Расчетные значения u_B и u_T округляем до ближайшего стандартного по табл. 6.1 - $u_T=5,0$; $u_B=4,0$.

Уточняем передаточное число редуктора

$$u_{\text{РЕД}} = u_B \cdot u_T = 4,0 \cdot 5,0 = 20,0.$$

2.4. С учетом принятых значений u_B и u_T уточняем по (11) передаточное число цепной передачи

$$u_{\text{цеп}} = u_{\text{общ}} / u_{\text{ред}} = 50,26 / 20 = 2,513$$

Результаты расчета передаточных чисел передач заносим в таблицу:

Электродвигатель		Передаточные числа		
$P_{\text{э}}$, кВт	$n_{\text{э}}$, мин ⁻¹	$u_{\text{общ}}$	$u_{\text{ред}} = u_B \times u_T$	$u_{\text{цеп}}$
7,5	960	50,26	20 = 5 × 4	2,513

3. Определяем частоту вращения, мощность, вращающий момент на валах привода по формулам табл. 8:

3.1. Частота вращения:

- вал электродвигателя: $n_{\text{э}} = 960$ мин⁻¹;
- быстроходный вал редуктора: $n_B = n_{\text{э}} = 960$ мин⁻¹;
- промежуточный вал редуктора: $n_{\text{II}} = n_B / u_B = 960 / 4 = 240$ мин⁻¹;
- тихоходный вал редуктора: $n_T = n_{\text{II}} / u_T = 240 / 5 = 48$ мин⁻¹;
- вал машины (приводной вал): $n_B = n_T / u_{\text{цеп}} = 48 / 2,513 = 19,1$ мин⁻¹.

Полученное расчетное значение частоты $n_B = 19,1$ мин⁻¹ совпадает с величиной n_B , которую определяли выше по исходным данным.

3.2. Мощность:

- вал электродвигателя: $P_{\text{э.м.}} = 6,12$ кВт;
- быстроходный вал редуктора: $P_B = P_{\text{э.м.}} \cdot \eta_{\text{М.Б.}} = 6,12 \cdot 0,99 = 6,059$ кВт;
- промежуточный вал редуктора: $P_{\text{II}} = P_B \cdot \eta_{\text{К.Б.}} = 6,059 \cdot 0,96 = 5,817$ кВт;
- тихоходный вал редуктора: $P_T = P_{\text{II}} \cdot \eta_{\text{Ц.Т.}} = 5,817 \cdot 0,97 = 5,642$ кВт;
- вал машины (приводной): $P_B = P_T \cdot \eta_{\text{цеп}} \cdot \eta_{\text{оп}} = 5,642 \cdot 0,93 \cdot 0,99 = 5,19$ кВт.

Полученное значение частоты $P_B = 5,19$ кВт практически совпадает, с учетом погрешностей вычислений, с величиной потребляемой мощности $P_B = 5,2$ кВт, которую определяли выше по исходным данным.

3.3. Вращающие моменты:

- вал электродвигателя: $T_{\text{э}} = 9554 \cdot P_{\text{э.м.}} / n_{\text{э}} = 9554 \cdot 6,12 / 960 = 60,91$ Н·м,
- быстроходный вал редуктора: $T_B = T_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{М.Б.}} = 60,91 \cdot 0,99 = 60,3$ Н·м;
- промежуточный вал редуктора:

$$T_{\text{II}} = T_B \cdot \eta_{\text{К.Б.}} \cdot u_B = 60,3 \cdot 0,96 \cdot 4 = 238,79 \text{ Н·м};$$

- тихоходный вал редуктора:

$$T_T = T_{\text{II}} \cdot \eta_{\text{Ц.Т.}} \cdot u_T = 238,79 \cdot 0,97 \cdot 5 = 1162,98 \text{ Н·м};$$

- вал машины (приводной вал):

$$T_B = T_T \cdot \eta_{\text{цеп}} \cdot \eta_{\text{оп}} \cdot u_{\text{цеп}} = 1162,98 \cdot 0,93 \cdot 0,99 \cdot 2,513 = 2690,81 \text{ Н·м}.$$

Результаты расчета n , P , T заносим в таблицу:

Вал привода	n , мин ⁻¹	P , кВт	T , Н·м
Вал двигателя	960	6,12	60,91
Быстроходный	960	6,059	60,3

вал редуктора			
Промежуточный вал редуктора	240	5,817	238,79
Тихоходный вал редуктора	48	5,642	1162,98
Вал машины	19,1	5,19	2690,81

Список литературы

1. Анфимов М.И. Редукторы. Конструкции и расчет: Альбом. – М.: Машиностроение, 1993. – 464 с.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высш. шк., 2001. – 447 с.
3. Редукторы и мотор – редукторы общемашиностроительного применения: Справочник / Л.С. Бойко, А.З. Высоцкий и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 247 с.
4. Шпак А.И. Кинематический и силовой расчет привода: Учебное пособие по курсовому проектированию / АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 62 с.

Содержание

1. Выбор электродвигателя.....	3
1.1. Определение требуемой мощности.....	3
1.2. Определение требуемой частоты вращения.....	6
1.3. Выбор электродвигателя.....	7
2. Определение передаточных чисел передач.....	10
2.1. Передаточное число привода.....	10
2.2. Передаточное число редуктора.....	10
2.3. Передаточные числа быстроходной и тихоходной передач двухступенчатых редукторов.....	11
2.4. Передаточное число ременной, цепной или открытой зубчатой передач.....	12
3. Определение частоты вращения, мощности, вращающего момента на валах привода.....	14
4. Кинематический расчет на ЭВМ по программе «ПРИВОД».....	16
5. Примеры расчета.....	19
Список литературы.....	27