

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению практических занятий
по дисциплине вариативной части
по выбору студента профессионального цикла
ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ТВОРЧЕСТВУ
для студентов всех форм обучения
направления подготовки 15.03.02
«Технологические машины и оборудование»

**Донецк
ДОННТУ
2017**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению практических занятий
по дисциплине вариативной части
по выбору студента профессионального цикла
ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ТВОРЧЕСТВУ
для студентов всех форм обучения
направления подготовки 15.03.02
«Технологические машины и оборудование»

Рассмотрены на заседании
кафедры «Механическое оборудование
заводов черной металлургии»
им. проф. Седуша В.Я.
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании
учебно-издательского совета ДОННТУ
Протокол № ____ от __.__. 20__ г.

Донецк
ДОННТУ
2017

УДК 669. (075.8)

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине вариативной части по выбору студента профессионального цикла «Практикум по техническому творчеству» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: Е. В. Ошовская, М. Ю. Ткачев. – Донецк : ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 44 с.

Отображены цель и задачи практических занятий по курсу «Практикум по техническому творчеству», их структура, порядок подготовки к ним, последовательность действий преподавателя и студентов, направленных на достижение требуемых результатов в усвоении теоретического материала.

Составители: Ошовская Е.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.; Ткачев М.Ю., ассистент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

Рецензенты: д.т.н., профессор А.П. Кононенко
к.т.н., профессор В.А. Сидоров

Ответственный за выпуск:
д. т. н., профессор С. П. Еронько

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Теоретические положения	6
2. Пример синтеза механических систем	16
ПРИЛОЖЕНИЕ А Кинематические схемы. Условные графические обозначения	24
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Характеристики трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором АИР	29
Приложение В Редукторы. Технические характеристики	36
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	43

ВВЕДЕНИЕ

Тема: «Синтез механических систем с электроприводом»

Заданием предусматривается синтез механической системы для реализации требуемой функции. Необходимо составить возможные варианты кинематических схем системы с использованием заданных типов передач, провести расчеты коэффициентов, характеризующих рациональность конструкции и выбрать лучший вариант; определить параметры привода, выбрать двигатель и редуктор; составить компоновочную схему привода.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Механические системы – это машины, механизмы, устройства. В их структуре можно выделить: двигатель, трансмиссию (передаточный механизм), рабочий орган и орган управления (рисунок 1).

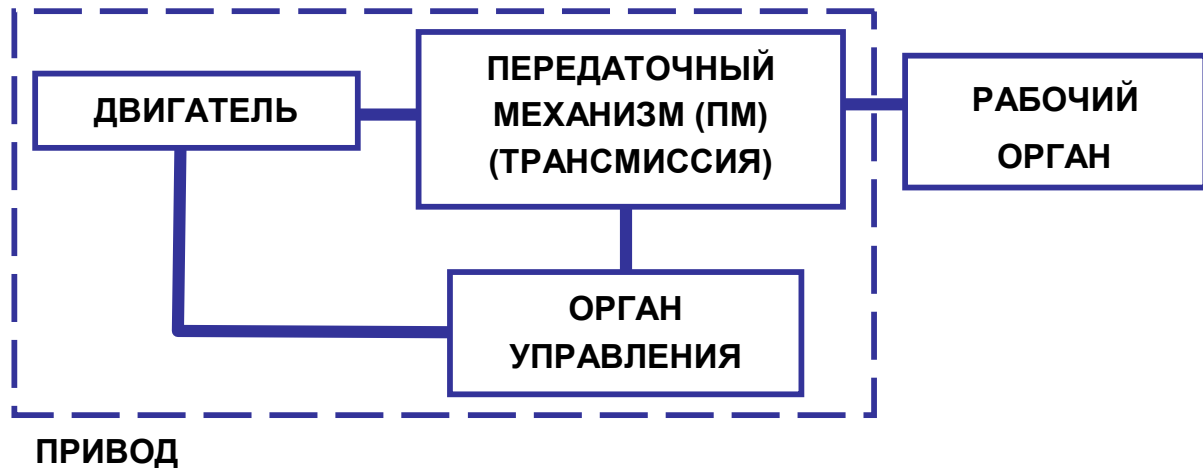


Рисунок 1 – Принципиальная схема механической системы

Проектирование любой механической системы начинается с выбора и обоснования ее **кинематической схемы**. Кинематическая схема строится в зависимости от назначения и условий работы машины. Выбор кинематической схемы во многом зависит от двигателя, используемого для привода, и требований, предъявляемых к рабочему органу: характер и траектория движения, скорость, крутящий момент и т.д.

Двигатели в зависимости от формы траектории движения его ведущего органа могут быть с вращательным и возвратно-поступательным движением. **Рабочие органы** по форме траектории разделяются на вращательные, возвратно-поступательные, с качательным и сложным движением.

Изменение скорости движения и момента от двигателя к рабочему органу выполняется **трансмиссией** (или передачей), которая характеризуется передаточным числом μ .

Синтез механических систем может быть выполнен с использованием различных вариантов передач и их кинематических схем.

Задача конструктора состоит в разработке и выборе оптимальных передач на основании оценки их по критерию сравнения.

Исходными данными для синтеза механической системы являются:

- 1) вид движения рабочего органа (поступательное, вращательное или др.);
- 2) нагрузка на рабочем органе (сила или крутящий момент);
- 3) скорость рабочего органа (линейная или угловая);
- 4) тип двигателя в зависимости от условий работы механической системы (электрический, гидравлический, пневматический, ДВС);

5) вид движения выходного звена двигателя (вращательное, поступательное или др.).

Ниже изложена методика синтеза **механических систем с электроприводом**.

На первом этапе синтеза механической системы составляют ее **кинематические схемы** с использованием различных вариантов передач.

Возможные виды передач для различных сочетаний движений выходного звена двигателя и рабочего органа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Тип передач для различных сочетаний видов движения рабочего органа при использовании в приводе электродвигателя

Движение выходного звена двигателя	Движение рабочего органа	
	Вращательное	Поступательное
Вращательное	Зубчатая	Рычажная
	Цепная	Кулачковая
	Ременная	Винтовая
	Фрикционная	Реечная
	Рычажная	Барабанно-полиспастный механизм
	Мальтийский механизм	

Обозначения элементов механических систем на кинематических схемах выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.770 – 68 (приложение А).

На втором этапе для каждого варианта кинематической схемы определяют общий **КПД** механической системы.

КПД системы может определяться на основе норм для отдельных видов передач и конструктивных элементов:

$$\eta_m = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_i \cdot \dots \cdot \eta_n , \quad (1)$$

где $\eta_1, \eta_2, \eta_i, \eta_n$ – КПД отдельных передач и элементов, входящих в систему.

КПД отдельных передач и элементов механической системы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – КПД передач и элементов механической системы

Передача, элемент системы	Значение КПД
Передача зубчатая цилиндрическая	0,93* – 0,99
Передача зубчатая коническая	0,92* – 0,97
Передача ременная	0,95 – 0,98
Передача цепная	0,9* – 0,97
Передача червячная	0,7 – 0,95
Передача винтовая	0,4 – 0,8
Передача фрикционная	0,85 – 0,95
Подшипники качения (пара)	0,99 – 0,995
Подшипники скольжения (пара)	0,98 – 0,99
Муфты:	
зубчатые	0,99
упругие втулочно-пальцевые	0,99 – 0,995
фрикционные	0,85 – 0,9
Блоки:	
на подшипниках качения	0,98
на подшипниках скольжения	0,96
Вариаторы	0,92 – 0,95
Редуктор двухступенчатый	0,94 – 0,98
Редуктор трехступенчатый	0,91 – 0,94
* Значение дл открытых передач, не защищенных от загрязнения	

На третьем этапе осуществляют **расчет мощности и выбор электродвигателя**.

В зависимости от вида нагрузки на рабочий орган требуемая мощность двигателя определяется по одной из формул:

– при вращательном движении рабочего органа

$$N_d = \frac{M_p \cdot n_p}{9550 \cdot \eta_m} ; \quad (2)$$

– при поступательном движении рабочего органа

$$N_d = \frac{P_p \cdot v_p}{1000 \cdot \eta_m} , \quad (3)$$

где N_d – мощность двигателя, кВт;

M_p – крутящий момент на рабочем органе, Н·м;

n_p – частота вращения рабочего органа, об/мин;

P_p – силовая нагрузка на рабочий орган, Н;

v_p – скорость рабочего органа, м/с.

По найденному значению N_d по каталогу выбирается электродвигатель. Причем, если механическая система работает в повторно-кратковременном режиме, то можно выбрать двигатель с номинальной мощностью **меньше расчетной**. Если же механическая система работает в непрерывном или близком к нему режиме, то мощность двигателя должна быть **равна** расчетной или быть **больше** нее. В приложении Б приведены технические характеристики асинхронных двигателей переменного тока.

Для выбранного двигателя следует выписать номинальную мощность $N_{ном}$, номинальную частоту вращения n_d , массу m_d и стоимость C_d .

Четвертый этап – определение **передаточного отношения** передаточного механизма (трансмиссии).

Передаточное отношение трансмиссии для возможных сочетаний движения электродвигателя и рабочего органа определяется по формулам, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Формулы для определения передаточного отношения трансмиссии

Скорость		Расчетная формула
Двигателя	Рабочего органа	
n_d	n_p	$u = n_d / n_p$
n_d	v_p	$u = \frac{n_d \cdot D_d}{1,9 \cdot 10^4 \cdot v_p}$ $u = \frac{n_d \cdot t}{6 \cdot 10^4 \cdot v_p} \text{ – для винтовых передач.}$

В формулах приняты следующие обозначения:

n_d и n_p – частота вращения двигателя и рабочего органа, об/мин.;

v_p – линейная скорость рабочего органа, м/с;

D_d – диаметр звена или диаметр траектории движения звена, преобразующего вращательное движение двигателя в поступательное движение рабочего органа, мм;

t – ход резьбы винта, мм; $t = i \cdot P$; i – число заходов резьбы; P – шаг резьбы, мм.

Общее передаточное отношение трансмиссии следует разделить между редуктором и передачей:

$$u = u_p \cdot u_n, \quad (4)$$

где u_p – передаточное отношение редуктора;

u_n – передаточное отношение передачи.

Передаточные числа (отношения) **цилиндрических передач** назначают в соответствии с ГОСТ 2185-66:

1,0; (1,12); 1,25; (1,4); 1,6; (1,8); 2,0; (2,24); 2,5; (2,8); 3,15; (3,55); 4; (4,5); 5; (5,6); 6,3; (7,1); 8; (9,0); 10; (11,2); 12,5.

Передаточные числа (отношения) **конических передач** назначают в соответствии с ГОСТ 12289-76:

1,0; (1,12); 1,25; (1,4); 1,6; (1,8); 2,0; (2,24); 2,5; (2,8); 3,15; (3,55); 4; (4,5); 5; (5,6); 6,3.

Передаточные числа (отношения) **червячных передач** назначают в соответствии с ГОСТ 12289-76:

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); 80; (90); 100.

Примечание: цифры в скобках менее предпочтительны.

Для остальных видов передач значения передаточных отношений можно назначать в соответствии с рядами предпочтительных чисел R5, R10, R20, R40 (ГОСТ 8032-84), приведенными в таблице 4. Диапазоны возможных значений передаточных отношений разных передач указаны в таблице 7.

Таблица 4 – Основные ряды предпочтительных чисел

Основные ряды				Номер предпочтительного числа	Основные ряды				Номер предпочтительного числа
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40	
1,00	1,00	1,00	1,00	0				3,35	21
			1,06	1			3,55	3,55	22
		1,12	1,12	2				3,75	23
			1,18	3	4,00	4,00	4,00	4,00	24
	1,25	1,25	1,25	4				4,25	25
			1,32	5			4,50	4,50	26
		1,40	1,40	6				4,75	27
			1,50	7		5,00	5,00	5,00	28
1,60	1,60	1,60	1,60	8				5,30	29
			1,70	9			5,6	5,60	30
		1,80	1,80	10				6,00	31
			1,90	11	6,30	6,30	6,30	6,30	32
	2,00	2,00	2,00	12				6,70	33
			2,12	13			7,10	7,10	34
		2,24	2,24	14				7,50	35
			2,36	15		8,00	8,00	8,00	36
2,50	2,50	2,50	2,50	16				8,50	37
			2,65	17			9,00	9,00	38
		2,80	2,80	18				9,50	39
			3,00	19	10,00	10,00	10,00	10,00	40
	3,15	3,15	3,15	20					

Во всех случаях необходимо применять одно из 40 чисел, указанных в таблице 4. Причём при назначении передаточных отношений передач следует отдавать предпочтение значениям ряда R5 перед значениями ряда R10, ряда

R10 – перед значениями ряда R20, ряда R20 – перед значениями ряда R40.

Диапазоны возможных значений передаточных чисел разных типов редукторов приведены в таблице 5. Более подробная информация о технических характеристиках редукторов приведена в приложении В.

Таблица 5 – Передаточные отношения редукторов общего назначения

Редукторы	Передаточные числа u_p
Цилиндрические:	
одноступенчатые	
Ц	1,6 – 5,0
ЦУ, 1ЦУ	1,6 – 6,3
двухступенчатые	
Ц2У, 1Ц2У	8 – 40
Ц2, РМ, ГПШ, ЦДН, Ц2Н	8 – 50
РЦД, В	10 – 40
Ц2С, Ц2В	8 – 25
трехступенчатые	
Ц3У	45 – 200
1Ц3У, Ц3Н	31,5 – 200
Ц3С, Ц3В	31,5 – 125
Планетарные:	
одноступенчатые Пз, 3П	6,3 – 12,5
двухступенчатые Пз2, 3П	31,5 – 125
двухступенчатые 3П	160 – 400
Волновые:	
Вз	80 – 125
Конические	
одноступенчатые К	3,15 – 5
Коническо-цилиндрические:	
двухступенчатые	
КЦ	6,3 – 31,5
КЦ1	6,3 – 28
трехступенчатые КЦ2	28 – 180
пятиступенчатые	81 – 2124
Червячные:	
одноступенчатые Ч, 1Ч, 2Ч, РЧУ	8 – 80
двухступенчатые Ч2	63 – 4000
Глобоидные:	
одноступенчатые Чг, 1Чг, Чог	8 – 80
Цилиндро-червячные:	
двухступенчатые ЦЧ	16 – 200
трехступенчатые Ц2Ч	80 – 630

Распределить общее передаточное отношение передаточного механизма механической системы u между передачей и редуктором можно следующим образом. В соответствии с рекомендациями таблицы 6 из стандартных рядов предпочтительных значений назначить передаточное число (отношение) передачи u_n и вычислить требуемое передаточное число редуктора:

$$u_p = u / u_n . \quad (5)$$

Далее в соответствии с рекомендациями таблицы 5 и сведениями из приложения В выбрать редуктор с фактическим передаточным числом $u_{p.ф}$, так чтобы выполнялось условие:

$$\Delta u = \left| \frac{u_p - u_{p.ф}}{u_p} \right| \cdot 100\% \leq 15\% . \quad (6)$$

Кроме того следует проверить, чтобы для выбранного редуктора выполнялось соотношение:

$$M_T \geq M_{эқв} , \quad (7)$$

где M_T – допустимый крутящий момент на тихоходном валу редуктора (см. приложение В);

$M_{эқв}$ – эквивалентный момент на тихоходном валу редуктора.

Эквивалентный момент на тихоходном валу редуктора:

$$M_{эқв} = K_{реж} \cdot \frac{9550 \cdot N_{ном}}{n_d} \cdot u_p , \quad (8)$$

где $K_{реж}$ – коэффициент режима и условий работы механической системы. При кратковременном режиме и спокойных условиях работы системы $K_{реж} \approx 0,9$; при длительном режиме работы и ударной нагрузке $K_{реж} \approx 1,3$.

Для выбранного редуктора из приложения В следует выписать его фактическое передаточное отношение $u_{p.ф}$, допустимый момент на тихоходном валу M_T и массу $m_{ред}$.

Для оценки технического уровня редукторов используется показатель **удельной массы** γ (кг/(Н·м)), который находится как отношение массы редуктора $m_{ред}$ к допустимому крутящему моменту на выходном валу M_T :

Таблица 6 – Параметры и характеристики основных типов передач

Вид передачи	Передаточное число при числе ступеней			Передаваемая мощность, кВт	Максимально допустимая окружная скорость, м/с	К.п.д. в одной ступени	Межцентровое расстояние, м	Положение валов	Регулирование скорости	Плавность и бесшумность работы	Самоторможение	Относительный габарит Г _о			Относительная масса G _о			Относительная стоимость Ст _о		
	1	2	3									При числе ступеней								
												1	2	3	1	2	3	1	2	3
Зубчатая: Цилиндрическая	До 6-10*	До 30	До 400	До 40000 - 50000	От 0,5* до 150	0,93* - 0,99	Определяется размерами передач	Пр	Ступенчатое	-	-	1,0	1,6 – 1,5	2,2 – 1,7	1,0	1,2 – 1,3	1,1 – 1,4	1,0	0,85 – 1,1	0,4 – 1,3
Коническая	До 6,3	-	-			0,92* -0,97		Ск		-	-	1,3 – 2,2	-	-	1,6 – 1,8	-	-	3,7 – 4		
Коническо-цилиндрическая	-	До 30	До 180			До 150		-		Ск	-	-	-	2,8 – 3,2	2,5 – 2,9	-	1,8 – 2,0	1,6 – 1,9	-	2,8 – 3,0
Червячная	До 80	-	-	До 60	40	0,7 – 0,95		Пс	-	+	+	1,1 – 1,6	-	-	1,3 – 1,7	-	-	1,3 – 2,4	-	-
Винтовая	До 10	-	-	120	30	0,9*– 0,97	До 8	Пр	Ст	-	-	1,0 – 1,6	-	-	0,25	-		0,35 – 0,2	-	-
Плоско-ременная	До 8	-	-	50	25	0,96 - 0,98	До 15	Лю бое	Ст, Пл	+	-	10 – 20	-	-	0,3 – 0,4	-	-	0,17- 0,15	-	-
Клино-ременная						0,95– 0,97	До 10	Пр	Пл	+	-	5 – 4	-	-	0,4 – 0,5	-	-	0,3 – 0,2	-	-
Рычажная	До 15			До 50	До 150	–		Пр	Ст	-	-	2,8 – 3,5	-	-	0,82	-	-	1,8 – 1,0	-	-
Фрикционная	До 7	-	-	20	25	0,85 - 0,95	По размеру передачи	Пр, Ск	Пл	+	-	1,5 – 2,0	-	-	1,5	-	-	0,8	-	-
Кулачковая																				
Мальтийский крест																				

$$\gamma = \frac{m_{\text{ред}}}{M_T} \quad (9)$$

Значения данного показателя приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Оценка технического уровня редуктора

γ , кг/(Н·м)	$> 0,2$	$0,2 - 0,1$	$0,1 - 0,06$	$< 0,06$
Технический уровень	Низкий	Средний	Высокий	Современный

Пятый этап – расчет **коэффициента качества** для каждого варианта кинематической схемы механической системы.

Варианты кинематических схем отличаются друг от друга типом, мощностью, массой и стоимостью двигателей; КПД механизма; массой, стоимостью и габаритами передач.

Если в механической системе для передачи движения от двигателя к рабочему органу может быть использован редуктор или передача любого типа (ременная, цепная и т.д.), то возможные варианты сопоставляются между собой по **коэффициенту качества**:

$$k_{\text{кач}} = \frac{\Gamma_o \cdot G_o \cdot C_{T_o} \cdot G_d \cdot C_{T_d}}{\eta_M} \quad (10)$$

где Γ_o – относительный габарит передачи;

G_o и G_d – относительная масса передачи и двигателя;

C_{T_o} и C_{T_d} – относительная стоимость передачи и двигателя.

Коэффициенты Γ_o , G_o , C_{T_o} выбираются из таблицы 6 для принятых вариантов передач или их сочетаний. Если сведения в таблице 6 отсутствуют, то их влияние на качество механической системы оценивается по аналогии с существующими передачами, близкими им по конструкции.

Коэффициенты G_d и C_{T_d} учитывают влияние массы и стоимости двигателей. Для наиболее легких и дешевых двигателей их значение принимается равным единице, для всех других – соотношению между массой (стоимостью) рассматриваемого двигателя и наиболее легкого (дешевого) двигателя, т.е.

$$G_{\bar{a}} = \frac{m_d}{m_{d.\min}} ; \quad C_{T_0} = \frac{C_d}{C_{d.\min}} \quad (11) - (12)$$

где m_d , $m_{d.\min}$ – масса выбранного двигателя и масса самого легкого двигателя этой же серии;

$C_{д}, C_{д.min}$ – стоимость выбранного двигателя и стоимость самого дешевого двигателя этой же серии.

Стоимость и масса асинхронных двигателей приведены в приложении Б.

В том случае, если кинематическая схема механической системы составлена на основе нескольких передач (редуктора и передачи), то значения коэффициентов $\Gamma_0, G_0, C_{т0}$ определяются как произведение частных значений коэффициентов соответствующих передач:

$$\Gamma_0 = \Gamma'_0 \cdot \Gamma''_0 \cdot \dots \cdot \Gamma^n_0, \quad (13)$$

$$G_0 = G'_0 \cdot G''_0 \cdot \dots \cdot G^n_0, \quad (14)$$

$$C_{т0} = C_{т'_0} \cdot C_{т''_0} \cdot \dots \cdot C_{т^n_0}, \quad (15)$$

где $\Gamma'_0, \Gamma''_0, \Gamma^n_0$ – значения коэффициентов относительных габаритов для отдельных типов передач, входящих в кинематическую схему;

G'_0, G''_0, G^n_0 – значения коэффициентов относительной массы для отдельных типов передач, входящих в кинематическую схему;

$C_{т'_0}, C_{т''_0}, C_{т^n_0}$ – значения коэффициентов относительной стоимости для отдельных типов передач, входящих в кинематическую схему.

Шестой этап – выбор **лучшего варианта** кинематической схемы механической системы.

Наилучшим считается вариант кинематической схемы механической системы, для которой **значение** коэффициента качества $k_{кач}$ **минимально**.

Седьмой этап – проектирование механической системы.

Для лучшего варианта кинематической схемы механической системы выполняется вначале эскизный проект, а затем уже производится детальное проектирование.

2 ПРИМЕР СИНТЕЗА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы. Выполнить синтез механической системы с электроприводом для подъема/опускания габаритных деталей в ремонтной мастерской.

Назначение системы: механическая система предназначена для подъема/опускания габаритных деталей.

Описание. В ремонтной мастерской производственного цеха металлургического предприятия при выполнении ремонтных операций необходимо перемещать габаритные детали (трансмиссионные валы, ролики рольганга и т.п.). Для захвата деталей используется строповка канатом. Механическая система должна обеспечивать подъем и опускание деталей.

Исходные данные.

1. Вид движения двигателя – **вращательное**.
2. Вид движения рабочего органа – **поступательное**.
3. Сила, действующая на рабочий орган – 10 кН.
4. Скорость движения рабочего органа – 0,1 м/с.
5. Виды передач – зубчатая, фрикционная.

Задание.

1. Составить две кинематические схемы механической системы, в каждой из которых используется одна из заданных видов передач.
2. Для каждого варианта кинематической схемы:
 - 2.1. Определить КПД механической системы.
 - 2.2. Рассчитать мощность двигателя и выбрать его по каталогу.
 - 2.3. Определить общее передаточное отношение передаточного механизма.
 - 2.4. Распределить передаточное отношение между передачей и редуктором.
 - 2.5. Выбрать редуктор по каталогу.
 - 2.6. Оценить технический уровень редуктора.
 - 2.7. Рассчитать коэффициент качества кинематической схемы.
3. Выбрать лучший вариант кинематической схемы механической системы.

Ход решения

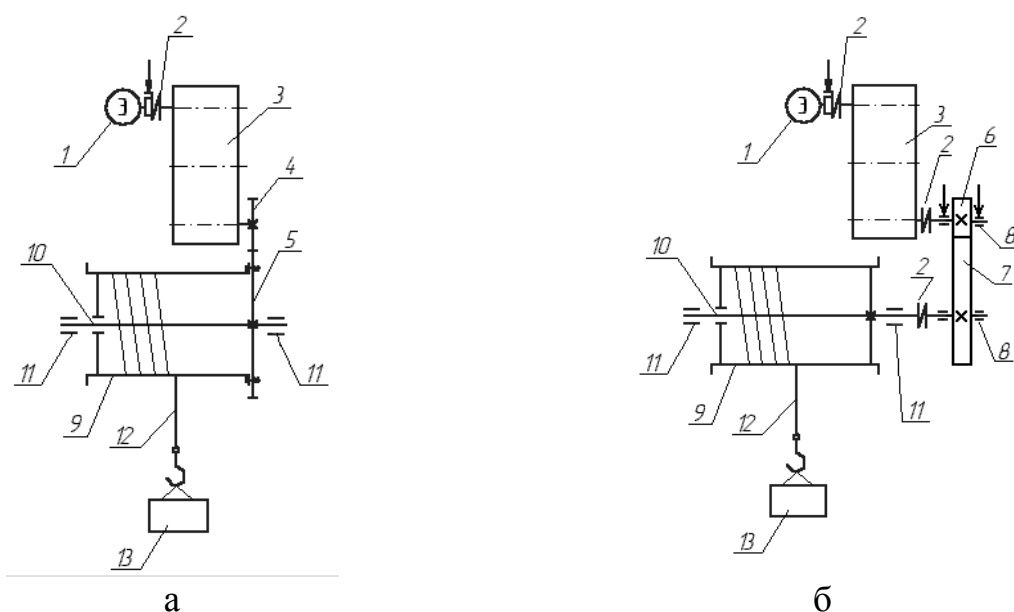
1. Варианты кинематической схемы механической системы.

Механическая система для подъема / опускания габаритных деталей состоит из нарезного барабана, на который наматывается канат. Барабан установлен на двухопорном валу. Вращение к барабану передается от электродвигателя через передаточный механизм.

Первая кинематическая схема (рис.1а) системы включает открытую зубчатую передачу и редуктор. Зубчатое колесо жестко установлено на валу и соединено болтовыми соединениями с барабаном. Вращение от двигателя через

муфту передается редуктору, на выходном валу которого закреплена шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом. Вращение шестерни заставляет вращаться колесо с барабаном. При этом груз (габаритная деталь) поднимается. Для опускания груза двигатель реверсируется.

Вторая кинематическая схема (рис.1б) включает фрикционную передачу и редуктор. Вал, на котором установлен ведущий шкив фрикционной передачи, через муфту соединен с выходным валом редуктора. Вал, на котором установлен ведомый шкив, соединяется через муфту с валом барабана. Между шкивами поддерживается фрикционная связь. Вращение от двигателя через муфту передается редуктору и ведомому шкиву, который приводит в движение ведомый шкив и вал с барабаном. При этом груз поднимается. Для опускания груза двигатель реверсируется.



- 1 – двигатель; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – шестерня; 5 – зубчатое колесо;
 6 – ведущий шкив; 7 – ведомый шкив; 8 – опоры шкива; 9 – барабан;
 10 – вал барабана; 11 – опоры барабана; 12 – канат; 13 – груз

Рисунок 2 – Кинематические схемы механической системы подъема/опускания габаритных деталей с зубчатой (а) и фрикционной (б) передачей

2. Определение КПД механической системы.

КПД механической системы вычисляется в соответствии с формулой (1).
 Для первой кинематической схемы:

$$\eta_{м1} = \eta_{мф} \cdot \eta_p \cdot \eta_{з.п} \cdot \eta_{п} ,$$

где $\eta_{мф}$ – КПД муфты; из таблицы 2 принимаем $\eta_{м} = 0,99$;

η_p – КПД редуктора; предварительно из таблицы 2 принимаем двухступенчатый цилиндрический редуктор, тогда $\eta_p = 0,94$;

- $\eta_{з.п.}$ – КПД зубчатой цилиндрической передачи; из таблицы 2 принимаем для открытой передачи $\eta_{з.п.} = 0,93$;
- $\eta_{п}$ – КПД подшипников барабана. Принимаем, что барабан установлен на подшипниках качения, тогда из таблицы 2 – $\eta_{п} = 0,99$.

Тогда, получаем:

$$\eta_{м1} = 0,99 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 0,99 = 0,86 .$$

Для второй кинематической схемы:

$$\eta_{м2} = \eta_{мф}^3 \cdot \eta_{р} \cdot \eta_{ф.п} \cdot \eta_{п}^3 ,$$

- где $\eta_{мф}$ – КПД муфты; из таблицы 2 принимаем $\eta_{м1} = 0,99$;
- $\eta_{р}$ – КПД редуктора; предварительно из таблицы 2 принимаем двухступенчатый цилиндрический редуктор, тогда $\eta_{р} = 0,94$;
- $\eta_{ф.п.}$ – КПД фрикционной передачи; из таблицы 2 – $\eta_{ф.п.} = 0,93$;
- $\eta_{п}$ – КПД подшипников барабана и шкивов. Принимаем, подшипники качения, тогда из таблицы 2 – $\eta_{п} = 0,99$.

Тогда, получаем:

$$\eta_{м2} = 0,99^3 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 0,99^3 = 0,82 .$$

3. Определение необходимой мощности двигателя.

Так как рабочий орган (крюк) совершает поступательное движение, то мощность рассчитывается по формуле (3).

Для первой кинематической схемы получаем:

$$N_{д} = \frac{P_{р} \cdot v_{р}}{1000 \cdot \eta_{м1}} = \frac{10000 \cdot 0,1}{1000 \cdot 0,86} = 1,16 \text{ кВт.}$$

Так как механическая система работает в кратковременном режиме, поэтому выбираем двигатель меньшей мощности (приложение Б). Выбираем двигатель АИР 80 В6 с номинальной мощностью $N_{ном} = 1,1$ кВт, номинальной частотой вращения $n_{д} = 1000$ об/мин. Масса двигателя $m_{д} = 15,3$ кг. Стоимость двигателя составляет $C_{д} = 990$ грн.

Для второй кинематической схемы получаем:

$$N_{д} = \frac{P_{р} \cdot v_{р}}{1000 \eta_{м2}} = \frac{10000 \cdot 0,1}{1000 \cdot 0,82} = 1,22 \text{ кВт.}$$

Так как значение необходимой мощности почти такое же, как и для первой схемы, то для второй схемы будем использовать тот же двигатель.

Масса самого легкого двигателя этой серии $m_{д.мин} = 3,3$ кг, стоимость самого дешевого двигателя $C_{д.мин} = 550$ грн.

4. Определение общего передаточного отношения механической системы.

Для расчета общего передаточного отношения используем формулу из таблицы 3 при известных частоте вращения двигателя n_d и линейной скорости рабочего органа v_p .

Конструктивно принимаем диаметр барабана $D_d = 320$ мм. Так как в обеих кинематических схемах используется один и тот же двигатель, то рассчитанное передаточное число соответствует обеим схемам:

$$u = \frac{n_d \cdot D_d}{1,9 \cdot 10^4 v_p} = \frac{1000 \cdot 320}{1,9 \cdot 10^4 \cdot 0,1} = 168,4,$$

где D_d соответствует диаметру барабана, который преобразует вращательное движение двигателя в поступательное движение каната.

5. Распределение передаточного отношения между редуктором и передачей.

Для первой кинематической схемы, в которой используется открытая зубчатая цилиндрическая передача, принимаем в соответствии с ГОСТ 2185-66 передаточное число зубчатой передачи $u_{з.п} = 4,0$. Тогда, по формуле (5) необходимое передаточное число редуктора составляет:

$$u_p = \frac{u}{u_{з.п}} = \frac{168,4}{4} = 42,1.$$

Полученное значение может быть обеспечено цилиндрическим двухступенчатым, планетарным двухступенчатым, коническо-цилиндрическим трехступенчатым или червячным одноступенчатым редуктором (см. таблица 5).

Для выбора редуктора по (8) рассчитаем эквивалентный момент на тихоходном валу редуктора, принимая коэффициент режима работы равным $K_{реж} \approx 0,9$:

$$M_{эkv} = 0,9 \cdot \frac{9550 \cdot 1,1}{1000} \cdot 42,1 = 398 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Из приложения В можно выбрать несколько редукторов (таблица 8), параметры которых удовлетворяют условиям (6) и (7).

Проанализировав представленные данные, окончательно выбираем для первой кинематической схемы цилиндрический двухступенчатый редуктор Ц2У–125 с фактическим передаточным числом $u_{р.ф} = 38,37$ и моментом на тихоходном валу $M_T = 630$ Н·м. Масса редуктора $m_{ред} = 31,5$ кг.

Отклонение фактического передаточного числа от требуемого значения составляет:

$$\Delta u = \left| \frac{42,1 - 38,37}{42,1} \right| \cdot 100\% = 8,9\% < 15\% .$$

Таблица 8 – Возможные типы редукторов и их параметры

Тип редуктора	Фактическое передаточное число	Допустимый крутящий момент на тихоходном валу, Н·м	Масса, кг
Ц2У–125	38,37	630	31,5
Ц2–250	41,34	2820	85
РЦД–250	40	844	85
РМ–250	40	806	85
КЦ2–500	45	2300	490
Ч–100	40	433	57

Показатель **удельной массы** выбранного редуктора составляет:

$$\gamma = \frac{31,5}{630} = 0,05 \text{ кг}/(\text{Н} \cdot \text{м}) ,$$

что соответствует современному техническому уровню.

Рассматриваем вторую кинематическую схему. Для фрикционной передачи из ряда предпочтительных чисел R40 (таблица 4) назначаем передаточное отношение $u_{ф.п} = 2,0$. Тогда, необходимое передаточное число редуктора:

$$u_p = \frac{u}{u_{ф.п}} = \frac{168,4}{2} = 84,2 .$$

Полученное значение может быть обеспечено цилиндрическим трехступенчатым, коническо-цилиндрическим трехступенчатым или червячным одноступенчатым редуктором (см. таблица 5).

Для выбора редуктора по формуле (8) рассчитаем эквивалентный момент на тихоходном валу редуктора, принимая коэффициент режима работы $K_{реж} \approx 0,9$:

$$M_{э\text{кв}} = 0,9 \cdot \frac{9550 \cdot 1,1}{1000} \cdot 84,2 = 796 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Из приложения В можно выбрать ряд редукторов (таблица 9), параметры которых удовлетворяют условиям (6) и (7).

Проанализировав представленные данные, окончательно выбираем для

второй кинематической схемы цилиндрический трёхступенчатый редуктор ЦЗУ–160 с фактическим передаточным числом $u_{p.ф}=80$ и моментом на тихоходном валу $M_T = 1250 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Отклонение фактического передаточного числа от требуемого значения составляет:

$$\Delta u = \left| \frac{84,2 - 80}{84,2} \right| \cdot 100\% = 5\% < 15\% .$$

Таблица 9 – Возможные типы редукторов и их параметры

Тип редуктора	Фактическое передаточное число	Допустимый крутящий момент на тихоходном валу, Н·м	Масса, кг
ЦЗУ–160	80	1250	106
ЦТНД–315	80	8300	505
КЦ2–500	73	111000	435
Ч–160	80	1223	157

Показатель **удельной массы** выбранного редуктора составляет:

$$\gamma = \frac{106}{1250} = 0.085 \text{ кг}/(\text{Н}\cdot\text{м}) ,$$

что соответствует высокому техническому уровню.

6. Вычисление коэффициента качества для каждой кинематической схемы.

Рассматриваем первую кинематическую схему. Из таблицы 6 для открытой зубчатой передачи (см. зубчатая, цилиндрическая, число ступеней – 1) выписываем коэффициенты:

- относительного габарита $\Gamma'_o = 1,0$;
- относительной массы передачи $G'_o = 1,0$;
- относительной стоимости передачи $Ст'_o = 1,0$.

В приводе используется двухступенчатый цилиндрический редуктор, тогда из таблицы 6 выписываем коэффициенты для него, как для цилиндрической зубчатой передачи с числом ступеней равным 2:

- относительного габарита $\Gamma''_o = 1,55$;
- относительной массы $G''_o = 1,2$;
- относительной стоимости $Ст''_o = 1,1$.

Тогда, в целом для передаточного механизма (редуктор и зубчатая передача) по формулам (13) – (15) получаем:

$$\Gamma_o = \Gamma'_o \Gamma''_o = 1,0 \cdot 1,55 = 1,55 ;$$

$$G_o = G'_o G''_o = 1,0 \cdot 1,2 = 1,2 ;$$

$$C_{T_o} = C_{T'_o} C_{T''_o} = 1,0 \cdot 1,1 = 1,1 .$$

По формулам (11) и (12) рассчитываем коэффициенты относительной массы и относительной стоимости двигателя:

$$G_d = m_d / m_{d.min} = 15,3 / 3,3 = 4,64 ;$$

$$C_{T_d} = C_d / C_{d.min} = 990 / 550 = 1,8.$$

По формуле (10) рассчитываем коэффициент качества для первой кинематической схемы:

$$k_{кач1} = \frac{\Gamma_o G_o C_{то} G_d C_{тд}}{\eta_{м1}} = \frac{1,55 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 4,64 \cdot 1,8}{0,86} = 19,9 .$$

Рассматриваем вторую кинематическую схему. Из таблицы 6 для фрикционной передачи выписываем коэффициенты:

- относительного габарита $\Gamma'_o = 1,8$;
- относительной массы передачи $G'_o = 1,5$;
- относительной стоимости передачи $C'_{то} = 0,8$.

В приводе используется трёхступенчатый цилиндрический редуктор, тогда из таблицы 6 выписываем коэффициенты для него, как для цилиндрической зубчатой передачи с числом ступеней равным 3:

- относительного габарита $\Gamma''_o = 1,8$;
- относительной массы $G''_o = 1,2$;
- относительной стоимости $C_{T''_o} = 1,1$.

Тогда, в целом для передаточного механизма (редуктор и фрикционная передача) получаем:

$$\Gamma_o = \Gamma'_o \Gamma''_o = 1,8 \cdot 1,8 = 3,24 ;$$

$$G_o = G'_o G''_o = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 ;$$

$$C_{T_o} = C_{T'_o} C_{T''_o} = 0,8 \cdot 1,1 = 0,88 .$$

Так как двигатель используется такой же, как и в первой схеме, то его коэффициенты относительной массы и относительной стоимости равны

$$G_d = 4,64 ; \quad C_{T_d} = 1,8.$$

По формуле (10) рассчитываем коэффициент качества для второй кинематической схемы:


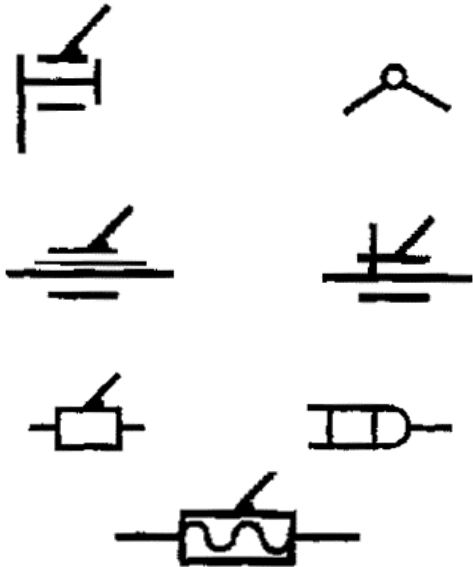
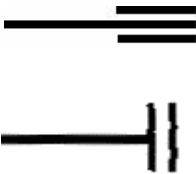
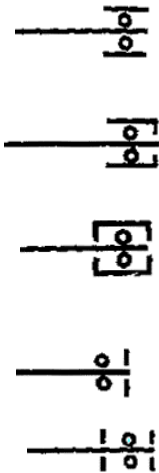

$$k_{\text{кач2}} = \frac{\Gamma_o G_o C_{\text{то}} G_d C_{\text{тд}}}{\eta_{\text{м2}}} = \frac{3,24 \cdot 1,8 \cdot 0,88 \cdot 4,64 \cdot 1,8}{0,82} = 52,3 \text{ .}$$


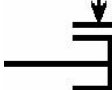
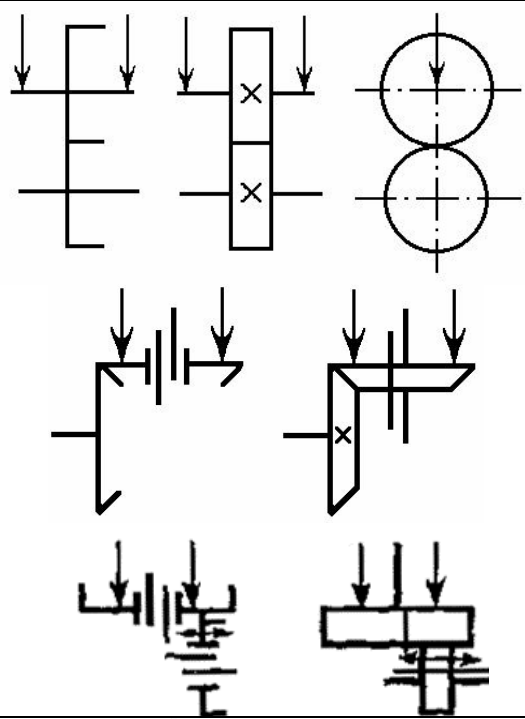
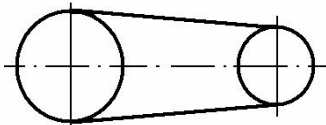
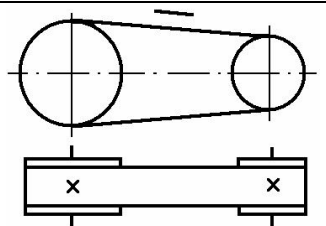
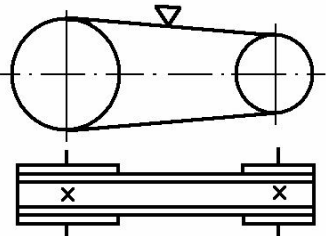
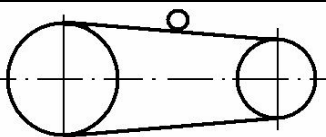
7. Выбор лучшего варианта кинематической схемы механизма.

Сравнивая рассчитанные значения коэффициента качества, делаем вывод, что лучшей является кинематическая схема с использованием зубчатой передачи, т.к. коэффициент качества в этом случае меньше, т.е. механическая система будет обладать меньшими габаритами, массой и стоимостью и более высоким КПД. В данном варианте конструкции в приводе используется двигатель АИР 80 В6 с номинальной мощностью $N_{\text{ном}} = 1,1$ кВт, номинальной частотой вращения $n_d = 1000$ об/мин. и цилиндрический двухступенчатый редуктор Ц2У–125 с фактическим передаточным числом $u_{\text{р.ф}}=38,37$.

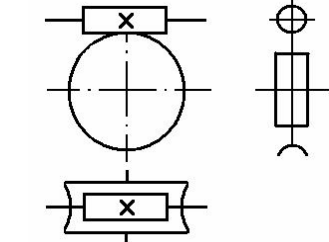
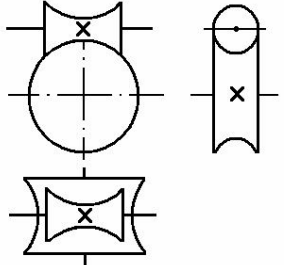

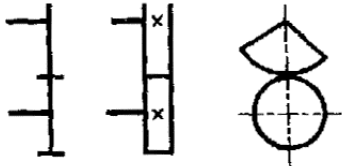
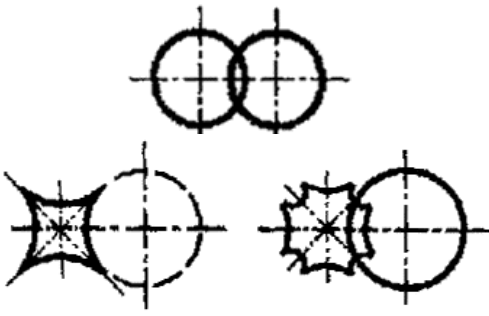
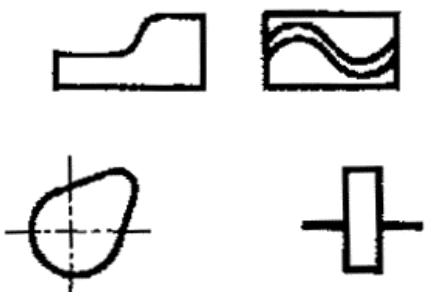

ПРИЛОЖЕНИЕ А





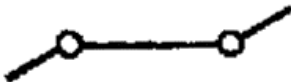


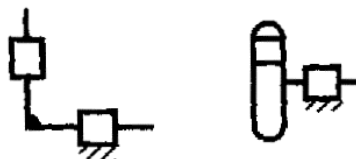
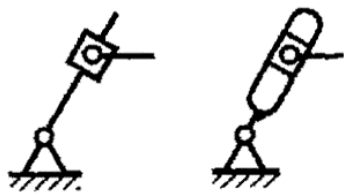
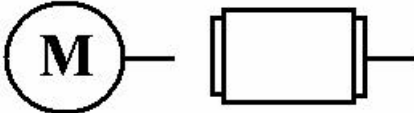
Кинематические схемы. Условные графические обозначения (ГОСТ 2.770 – 68)

Наименование	Обозначение
1. Вал, валик, ось, стержень, шатун и т.п.	
2. Кинематическая пара а) вращательная б) поступательная в) винтовая	
3. Подшипники скольжения и качения на валу (без уточнения типа): а) радиальные б) упорные	
4. Подшипники качения: а) радиальные б) радиально-упорные: односторонние двусторонние в) упорные: односторонние двусторонние	
5. Муфта: а) общее обозначение без уточнения	

Наименование	Обозначение
типа б) упругая	
6. Тормоз. Общее обозначение без уточнения типа	
7. Передачи фрикционные: а) с цилиндрическими роликами б) с коническими роликами в) торцовые (лобовые) регулируемые	
8. Передача ремнем без уточнения типа ремня	
9. Передача плоским ремнем	
10. Передача клиновым ремнем	
11. Передача круглым ремнем	

Наименование	Обозначение
12. Передача зубчатым ремнем	
13. Передача цепью, общее обозначение без уточнения типа цепи	
14. Передачи зубчатые (цилиндрические): а) внешнее зацепление (общее обозначение без уточнения типа зубьев) б) то же, с прямыми, косыми и шевронными зубьями	
15. Передачи зубчатые конические	

Наименование	Обозначение
16. Передачи зубчатые червячные: а) червячные с цилиндрическим червяком	
б) червячные глобоидные	
17. Передача зубчатая реечная. Общее обозначение без уточнения типа зубьев	
18. Передача зубчатым сектором без уточнения типа зубьев	
19. Мальтийские механизмы: а) общее обозначение б) с наружным зацеплением	
20. Кулачки плоские: а) продольного перемещения б) вращающиеся	
21. Толкатель (ведомое звено) а) заостренный	

Наименование	Обозначение
б) дуговой	
в) роликовый	
22. Винт, передающий движение	
23. Гайка неразъемная на винте, передающем движение:	
24. Звено рычажных механизмов двух-элементное:	
а) кривошип, коромысло, шатун	
б) эксцентрик	
в) ползун	
г) кулиса	
	
25. Электродвигатель	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Характеристики трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором АИР

Двигатели АИР - унифицированная серия асинхронных электродвигателей. Серия двигателей АИР охватывает диапазон мощностей от 0,06 до 315 кВт.

Асинхронные электродвигатели АИР (ранее выпускались двигатели 4А, 4АМ) с короткозамкнутым ротором, благодаря простоте конструкции, отсутствию подвижных контактов, высокой ремонтпригодности, невысокой цене по сравнению с другими электрическими двигателями применяются практически во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства.

Основные технические характеристики:

- привязка мощности и установочных размеров стандарту ГОСТ Р 51689-2000;
- степень защиты IP54, IP55 (**электродвигатель АИР**) по ГОСТ17494-87;
- степень защиты IP23 (**электродвигатель АМН**) по ГОСТ17494-87;
- изоляция класса нагревостойкости «F» по ГОСТ8865-93;
- по способу монтажа, исполнения: IM 1001, IM2001, IM3011 по ГОСТ2479-79;
- климатическое исполнение У2, У3 по ГОСТ15150-69.
- режим работы S1 по ГОСТ183-74.
- способ охлаждения 1С-0151 по ГОСТ20459-87.
- уровень шума в режиме холостого хода - 2 класса по ГОСТ16372-93.

Расшифровка условного обозначения - **электродвигатель АИР 355 S4 У3**, 250 кВт, 1500 об/мин:

А – асинхронный двигатель;

И – Интерэлектро;

Р – привязка мощностей к установочным размерам в соответствии с ГОСТ Р 51689 (С – в случае привязки по нормам CENELEK);

355 – высота оси вращения (габарит);

S – установочный размер по длине станины;

4 – число полюсов;

У – климатическое исполнение;

3 – категория размещения.

Электродвигатели АИС имеют привязку мощностей к установочным размерам по стандартам DIN42673/DIN42677.

Основные технические характеристики

Тип электро- двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота вращения, об/мин.	$\frac{M_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{max}}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг	Электродви- гатели, вы- пускавшиеся ранее
Синхронная частота 3000 об/мин.							
АИР 50 А2	0,09	2740	2,0	2,2	$0,245 \cdot 10^{-4}$	3,1	4А50А2
АИР 50 В2	0,12	2710	2,0	2,2	$0,2675 \cdot 10^{-4}$	3,4	4А50В2
АИР 56 А2	0,18	2800	2,0	2,2	$4,15 \cdot 10^{-4}$	3,6	4А56А2
АИР 56 В2	0,25	2770	2,0	2,2	$4,65 \cdot 10^{-4}$	3,9	4А56В2
АИР 63 А2	0,37	2750	2,0	2,2	$7,625 \cdot 10^{-4}$	5,6	4А63А2
АИР 63 В2	0,55	2740	2,0	2,2	$9 \cdot 10^{-4}$	6,7	4А63В2
АИР 71 А2	0,75	2840	2,0	2,2	$9,75 \cdot 10^{-4}$	8,6	4А71А2
АИР 71 В2	1,1	2810	2,0	2,2	$10,5 \cdot 10^{-4}$	9,3	4А71В2
АИР 80 А2	1,5	2850	2,1	2,6	$18,25 \cdot 10^{-4}$	13,3	4А80А2
АИР 80 В2	2,2	2850	2,1	2,6	$21,25 \cdot 10^{-4}$	15,9	4А80В2
АИР 90 L2	3	2840	2,1	2,5	$35,25 \cdot 10^{-4}$	20,6	4А90L2
АИР 100 S2	4	2880	2,0	2,5	$59,25 \cdot 10^{-4}$	23,6	4А100S2
АИР 100 L2	5,5	2880	2,0	2,5	0,0075	32,0	4А100L2
АИР 112 M2	7,5	2900	2,0	2,8	0,01	56,5	4А112M2
АИР 132 M2	11	2900	1,7	2,8	0,0225	68,5	4А132M2
АИР 160 S2	15	2940	1,4	2,2	0,0475	122	4А160S2
АИР 160 M2	18,5	2940	1,4	2,2	0,0525	133	4А160M22
АИР 180 S2	22	2945	1,4	2,5	0,07	160	4А180S2
АИР 180 M2	30	2945	1,4	2,5	0,085	180	4А180M2
АИР 200 M2	37	2945	1,4	2,5	0,145	230	4А200M2
АИР 200 L2	45	2945	1,4	2,5	0,1675	255	4А200L2
АИР 225 M2	55	2945	1,4	2,5	0,25	320	4А225M2
АИР 250 S2	75	2960	1,2	2,5	0,465	450	4А250S2
АИР 250 M2	90	2960	1,2	2,5	0,52	490	4А250M2
АИР 280 S2	110	2970	1,2	2,2	1,09	590	4А280S2
АИР 280 M2	132	2970	1,2	2,2	1,19	620	4А280M2

Тип электро- двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота вращения, об/мин.	$\frac{M_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{ном}}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг	Электродви- гатели, вы- пускавшиеся ранее
АИР 315 S2	160	2970	1,2	2,2	1,4	970	4А315S2
АИР 315 M2	200	2970	1,2	2,2	1,625	1110	4А315M2
АИР 355 S2	250	2970	1,0	1,9	2,85	1700	4А355S2
АИР 355 M2	315	2970	1,0	1,9	3,225	1820	4А355M2
Синхронная частота 1500 об/мин.							
АИР 50 А4	0,06	1380	2,0	2,2	$0,2875 \cdot 10^{-4}$	3,2	4А50А2
АИР 50 В4	0,09	1370	2,0	2,2	$0,325 \cdot 10^{-4}$	3,6	4А50В2
АИР 56 А4	0,12	1375	2,1	2,2	$7 \cdot 10^{-4}$	3,5	4А56А2
АИР 56 В4	0,18	1365	2,1	2,2	$7,875 \cdot 10^{-4}$	3,9	4А56В2
АИР 63 А4	0,25	1380	2,0	2,2	$12,375 \cdot 10^{-4}$	5,6	4А63А2
АИР 63 В4	0,37	1365	2,0	2,2	$13,75 \cdot 10^{-4}$	6,7	4А63В2
АИР 71 А4	0,55	1390	2,0	2,2	$13 \cdot 10^{-4}$	8,3	4А71А2
АИР 71 В4	0,75	1390	2,0	2,2	$14,25 \cdot 10^{-4}$	9,4	4А71В2
АИР 80 А4	1,1	1420	2,0	2,2	$32,25 \cdot 10^{-4}$	12,8	4А80А4
АИР 80 В4	1,5	1415	2,0	2,02	$33,25 \cdot 10^{-4}$	14,7	4А80В4
АИР 90 L4	2,2	1425	2,1	2,4	$56 \cdot 10^{-4}$	19,7	4А90L4
АИР 100 S4	3	1435	2,0	2,4	$86,75 \cdot 10^{-4}$	25,8	4А100S4
АИР 100 L4	4	1430	2,0	2,4	$112,5 \cdot 10^{-4}$	26,1	4А100L4
АИР 112 M4	5,5	1445	2,0	2,2	$1,75 \cdot 10^{-2}$	56,5	4А112M4
АИР 132 S4	7,5	1455	2,2	3,0	0,0275	63,0	4А132S4
АИР 132 M4	11	1460	2,2	3,0	0,04	74,5	4А132M4
АИР 160 S4	15	1465	1,4	2,3	0,1025	127,0	4А160S4
АИР 160 M4	18,5	1465	1,4	2,3	0,1275	140	4А160M4
АИР 180 S4	22	1470	1,4	2,3	0,19	170	4А180S4
АИР 180 M4	30	1470	1,4	2,3	0,2325	190	4А180M4
АИР 200 M4	37	1475	1,4	2,5	0,3675	230	4А200M4
АИР 200 L4	45	1475	1,4	2,5	0,445	260	4А200L4
АИР 225 M4	55	1480	1,3	2,5	0,64	325	4А225M4

Тип электро- двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота вращения, об/мин.	$\frac{M_{\text{ном}}}{I_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{н}}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг	Электродви- гатели, вы- пускавшиеся ранее
АИР 250 S4	75	1480	1,2	2,3	1,02	450	4A250S4
АИР 250 M4	90	1480	1,2	2,3	1,1675	495	4A250M4
АИР 280 S4	110	1470	1,2	2,0	2,3	520	4A280S4
АИР 280 M4	132	1480	1,3	2,0	2,475	700	4A280M4
АИР 315 S4	160	1480	1,3	2,2	3,075	1110	4A315S4
АИР 315 M4	200	1480	1,3	2,2	3,625	1150	4A315M4
АИР 355 S4	250	1485	1,2	2,0	6,0	1860	4A355S4
АИР 355 M4	315	1485	1,2	2,0	7,05	1920	4A355M4
Синхронная частота 1000 об/мин.							
АИР 63 A6	0,18	885	2,2	2,2	$17,35 \cdot 10^{-4}$	6,0	4A63A6
АИР 63 B6	0,25	890	2,2	2,2	$21,5 \cdot 10^{-4}$	7,0	4A63B6
АИР 71 A6	0,37	910	2,0	2,2	$16,75 \cdot 10^{-4}$	8,1	4A71A6
АИР 71 B6	0,55	900	2,0	2,2	$20,25 \cdot 10^{-4}$	9,7	4A71B6
АИР 80 A6	0,75	915	2,0	2,2	$46,25 \cdot 10^{-4}$	12,5	4A80A6
АИР 80 B6	1,1	920	2,0	2,2	$46 \cdot 10^{-4}$	16,2	4A80B6
АИР 90 L6	1,5	935	2,0	2,2	$73,5 \cdot 10^{-4}$	20,6	4A90L6
АИР 100 L6	2,2	950	2,0	2,2	$1,31 \cdot 10^{-2}$	25,1	4A100L6
АИР 112 MA6	3	955	2,0	2,5	$1,75 \cdot 10^{-2}$	50,5	4A112MA6
АИР 112 MB6	4	950	2,0	2,5	$2 \cdot 10^{-2}$	55	4A112MB6
АИР 132 S6	5,5	965	2,0	2,5	$4 \cdot 10^{-2}$	62	4A132S6
АИР 132 M6	7,5	970	2,0	2,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$	73	4A132M6
АИР 160 S6	11	975	1,2	2,0	$13,75 \cdot 10^{-2}$	122	4A160S6
АИР 160 M6	15	975	1,2	2,0	$18,25 \cdot 10^{-2}$	150	4A160M6
АИР 180 M6	18	975	1,2	2,0	$22 \cdot 10^{-2}$	180	4A180M6
АИР 200 M6	22	975	1,3	2,4	0,4	195	4A200M6
АИР 200 L6	30	980	1,3	2,4	0,4525	240	4A200L6
АИР 225 M6	37	980	1,2	2,3	0,7375	308	4A225M6
АИР 250 S6	45	985	1,2	2,1	1,155	450	4A250S6
АИР 250 M6	55	985	1,2	2,1	1,26	455	4A250M6

Тип электро- двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота вращения, об/мин.	$\frac{M_{\text{ном}}}{I_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{н}}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг	Электродви- гатели, вы- пускавшиеся ранее
АИР 280 S6	75	985	1,4	2,2	2,925	650	4А280S6
АИР 280 М6	90	985	1,4	2,2	3,375	670	4А280М6
АИР 315 S6	110	985	1,4	2,2	4,0	960	4А315S6
АИР 315 М6	132	985	1,4	2,2	4,5	1110	4А315М6
АИР 355 S6	160	985	1,4	2,2	7,325	1560	4А355S6
АИР 355 М6	200	985	1,4	2,2	8,8	1780	4А355М6
АИР 355 МВ6	250	985	1,4	2,2	10,2	1940	
Синхронная частота 750 об/мин.							
АИР 71 В8	0,25	680	1,6	1,7	$18,5 \cdot 10^{-4}$	8,9	4А71В8
АИР 80 А8	0,37	675	1,6	1,7	$33,75 \cdot 10^{-4}$	13,5	4А80А8
АИР 80 В8	0,55	700	1,6	1,7	$40,5 \cdot 10^{-4}$	15,7	4А80В8
АИР 90 LA8	0,75	700	1,6	1,9	$67,5 \cdot 10^{-4}$	19,5	4А90LA8
АИР 90 LB8	1,1	700	1,6	1,9	$86,25 \cdot 10^{-4}$	22,3	4А90LB8
АИР 100 L8	1,5	700	1,6	1,9	$1,3 \cdot 10^{-2}$	28	4А100L8
АИР 112 МА8	2,2	700	1,9	2,2	$1,75 \cdot 10^{-2}$	50	4А112МА8
АИР 112 МВ8	3	700	1,9	2,2	$2,5 \cdot 10^{-2}$	54,5	4А112МВ8
АИР 132 S8	4	720	1,9	2,6	$4,25 \cdot 10^{-2}$	62	4А132S8
АИР 132 М8	5,5	720	1,9	2,6	$5,75 \cdot 10^{-2}$	72,5	4А132М8
АИР 160 S8	7,5	730	1,4	2,2	$13,75 \cdot 10^{-2}$	120	4А160S8
АИР 160 М8	11	730	1,4	2,2	$18 \cdot 10^{-2}$	145	4А160М8
АИР 180 М8	15	730	1,2	2,0	0,25	180	4А180М8
АИР 200 М8	18	735	1,2	2,2	0,4	210	4А200М8
АИР 200 L8	22	730	1,2	2,0	0,4525	225	4А200L8
АИР 225 М8	30	735	1,3	2,1	0,7375	316	4А225М8
АИР 250 S8	37	735	1,2	2,0	1,155	430	4А250S8
АИР 250 М8	45	740	1,2	2,0	1,3625	560	4А250М8
АИР 280 S8	55	735	1,2	2,0	3,175	555	4А280S8
АИР 280 М8	75	735	1,2	2,0	4,125	670	4А280М8
АИР 315 S8	90	740	1,2	2,3	4,925	965	4А315S8

Тип электро- двигателя	Мощ- ность, кВт	Частота вращения, об/мин.	$\frac{M_{\text{ном}}}{I_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{н}}}$	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг	Электродви- гатели, вы- пускавшиеся ранее
АИР 315 М8	110	740	1,2	2,3	5,85	1025	4А315М8
АИР 35 S8	132	740	1,2	2,2	9,05	1570	4А355S8
АИР 355 М8	160	740	1,2	2,2	10,2	1700	4А355М8
АИР 355 МВ8	200	740	1,2	2,2	14,3	1850	
Синхронная частота 600 об/мин.							
АИР 280 S10	37	590	1,2	1,9	3,1	710	4А280S10
АИР 280 М10	45	590	1,0	1,8	3,6	760	4А280М10
АИР 315 S10	55	590	1,0	1,8	3,8	940	4А315S10
АИР 315 М10	75	590	1,0	1,8	5,2	1040	4А315М10
АИР 355 S10	90	590	1,0	1,8	6,2	1280	4А355S10
АИР 355 М10	110	590	1,0	1,8	9,3	1520	4А355М10
АИР 355 МВ10	132	590	1,0	1,8	11	1610	
Синхронная частота 500 об/мин.							
АИР 315 S12	45	490	1,0	1,8	5,3	940	4А315S12
АИР 315 М12	55	490	1,0	1,8	6,2	1040	4А315М12
АИР 355 S12	75	490	1,0	1,8	9,3	1280	4А355S12
АИР 355 М12	90	495	1,0	1,8	10	1480	4А355М12

Ориентировочная стоимость электродвигателей серии АИР

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин.											
	3000		1500		1000		750		600		500	
	Тип	Цена, грн.	Тип	Цена, грн.	Тип	Тип	Цена, грн.	Цена, грн.	Тип	Цена, грн.	Тип	Цена, грн.
0,06			АИР 50 А4	480								
0,09	АИР 50 А2		АИР 50 В4	480								
0,12	АИР 50 В2		АИР 56 А4	490								
0,18	АИР 56 А2	495	АИР 56 В4	490	АИР 63 А6	554						
0,25	АИР 56 В2	495	АИР 63 А4	554	АИР 63 В6	563	АИР 71 В8	670				
0,37	АИР 63 А2	554	АИР 63 В4	563	АИР 71 А6	657	АИР 80 А8	1010				
0,55	АИР 63 В2	563	АИР 71 А4	657	АИР 71 В6	670	АИР 80 В8	1054				
0,75	АИР 71 А2	657	АИР 71 В4	670	АИР 80 А6	950	АИР 90 LА8	1453				
1,1	АИР 71 В2	670	АИР 80 А4	950	АИР 80 В6	987	АИР 90 LВ8	1581				
1,5	АИР 80 А2	950	АИР 80 В4	987	АИР 90 L6	1264	АИР 100 L8	1831				
2,2	АИР 80 В2	987	АИР 90 L4	1240	АИР 100 L6	1714	АИР 112 МА8	2280				
3,0	АИР 90 L2	1264	АИР 100 S4	1559	АИР 112 МА6	2243	АИР 112 МВ8	2270				
4,0	АИР 100 S2	1559	АИР 100 L4	1714	АИР 112 МВ6	2271	АИР 132 S8	3120				
5,5	АИР 100 L2	1830	АИР 112 М4	2270	АИР 132 S6	2950	АИР 132 М8	3655				
7,5	АИР 112 М2	2300	АИР 132 S4	2760	АИР 132 М6	3310	АИР 160 S8	5260				
11,0	АИР 132 М2	3050	АИР 132 М4	3210	АИР 160 S6	4840	АИР 160 М8	5900				
15,0	АИР 160 S2	5040	АИР 160 S4	4930	АИР 160 М6	5680	АИР 180 М8	7570				
18,5	АИР 160 М2	5500	АИР 160 М4	5560	АИР 180 М6	7375	АИР 200 М8	10465				
22,0	АИР 180 S2	6650	АИР 180 S4	6690	АИР 200 М6	9430	АИР 200 L8	11490				
30,0	АИР 180 М2	7485	АИР 180 М4	8175	АИР 200 L6	11180	АИР 225 М8	14380				
37,0	АИР 200 М2	10380	АИР 200 М4	10655	АИР 225 М6	13990	АИР 250 S8	18670	АИР 280 S10	33892		
45,0	АИР 200 L2	12330	АИР 200 L4	12410	АИР 250 S6	16450	АИР 250 М8	20830	АИР 280 М10	37676	АИР 315 S12	51477
55,0	АИР 225 М2	14535	АИР 225 М4	14535	АИР 250 М6	19450	АИР 280 S8	26000	АИР 315 S10	52172	АИР 315 М12	54952
75,0	АИР 250 S2	19290	АИР 250 S4	18640	АИР 280 S6	25335	АИР 280 М8	29940	АИР 315 М10	56163	АИР 355 S12	75811
90,0	АИР 250 М2	21100	АИР 250 М4	20815	АИР 280 М6	29050	АИР 315 S8	41555	АИР 355 S10	78046	АИР 355 М12	80298
110,0	АИР 280 S2	25420	АИР 280 S4	27110	АИР 315 S6	40795	АИР 315 МА8	43435	АИР 355 М10	80570		
132,0	АИР 280 М2	27875	АИР 280 М4	34500	АИР 315 МА6	59500	АИР 355 S8	72470	АИР355МВ10	86680		
160,0	АИР 315 S2	39425	АИР 315 S4	41040	АИР 355 S6	69520	АИР 355 М8	73795				
200,0	АИР 315 М2	42460	АИР 315 М4	42760	АИР 355 М6	73795	АИР 355 МВ8	86675				
250,0	АИР 355 S2	79515	АИР 355 S4	75690	АИР 355 МВ6	86670						
315,0	АИР 355 М2	86520	АИР 355 М4	80510								

Приложение В

ОДНОСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ ЦУ100 - ЦУ250

Технические характеристики

Типоразмер редуктора	Передаточные числа $u_{р. ф}$	Номинальный вращающий момент на выходном валу M_T , Н·м	Масса $m_{ред}$, кг
ЦУ-100	2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3	250	27
ЦУ-160		1000	75
ЦУ-200	2	2000	135
	2,5		
	3,15		
	4		
	5		
	6,3		
ЦУ-250	2	4000	250
	2,5		
	3,15		
	4		
	5		
	6,3		

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ 1Ц2У-100 - 1Ц2У-250

Технические характеристики

Наименование показателя		Типоразмер редуктора				
		1Ц2У-100	1Ц2У-125	1Ц2У-160	1Ц2У-200	1Ц2У-250
Номинальные передаточные числа $u_{р. ном}$	Группа 1	10; 20; 31,5; 40				
	Группа 2	8; 12,5; 16; 25				
Фактические передаточные числа $u_{р. ф}$	Группа 1	10,32; 20,64; 32,55; 40,32	10; 20; 31,5; 38,37	10,32; 20,64; 32,55; 40,32	9,76; 20,02; 31,47; 38,98	9,94; 20,67; 31,47; 38,4
	Группа 2	8; 12,8; 16; 25,6	7,75; 12,18; 15,48; 24,36	8; 12,6; 16,0; 25,2	8,09; 12,08; 16,6; 24,83	8,33; 12,12; 16; 24,54
Допускаемый крутящий момент на выходном валу M_T , Н·м		315	630	2000	4000	8000
Масса $m_{ред}$, кг		21	31,5	95	170	310

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ PM250-PM500

Технические характеристики

Частота вращения входного вала, об/мин	Номинальный крутящий момент M_T , Н·м								
	при передаточных числах $u_{р. ф}$								
	48,57	40,17	31,50	23,34	20,49	15,75	12,64	10,35	8,23
PM-250									
600	773	768	802	818	816	777	745	692	642
750	805	768	762	802	809	704	644	634	567
1000	742	806	692	691	686	600	581	535	466
1250	705	706	627	623	628	540	514	450	403
1500	649	640	543	551	576	480	446	403	348
PM-350									
600	1856	1855	2056	2007	1958	2031	1952	1862	1743
750	1856	1842	2006	1933	1853	1946	1836	1740	1594
1000	1856	1842	1956	1851	1801	1821	1691	1552	1463
1250	1819	1781	1878	1766	1754	1685	1488	1432	1352
1500	1794	1740	1866	1680	1684	1575	1465	1384	1232
PM-400									
600	3016	3198	2759	3010	3034	2608	2496	2324	2175
750	2784	2917	2648	2706	2715	2307	2190	2057	3491
1000	2320	2686	2378	2364	2290	2016	1956	1810	1549
1250	2376	2456	2095	2105	2114	1830	1662	1519	1352
1500	2166	2200	1886	1933	1918	1645	1497	1351	1179
PM-500									
600	6265	6205	6470	6541	6460	6144	5837	5439	4980
750	6249	6141	6059	6244	6264	5417	5153	4878	4456
1000	5893	6025	5447	5463	5383	4665	4529	4153	3617
1250	5457	5680	4936	4906	4855	4213	4009	3520	3114
1500	5043	5117	4514	4757	4503	3812	3502	3131	2752

Типоразмер редуктора	PM-250	PM-350	PM-400	PM-500
Масса $m_{ред}$, кг	85	145	336	390

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ РЦД-250 - РЦД-1150

Технические характеристики

Типоразмер редуктора	Передаточное число $u_{p.f}$	Номинальный крутящий момент M_T , Н·м, при частоте вращения входного вала, об/мин				Масса $m_{ред}$, кг
		500	700	1000	1500	
РЦД-250	10	989	933	849	768	85
	16	989	928	846	760	
	20	940	940	940	841	
	25	895	895	895	895	
	31,5	895	895	895	895	
	40	844	844	844	844	
РЦД-350	10	234	234	233	190	160
	16	234	234	234	234	
	20	223	223	223	223	
	25	212	212	212	212	
	31,5	212	212	212	212	
	40	200	200	200	200	
РЦД-400	10	345	315	285	258	250
	16	357	312	284	255	
	20	402	341	317	282	
	25	413	378	343	305	
	31,5	395	376	315	280	
	40	390	390	345	310	
РЦД-1150	16	96580	84200	64180	53280	
	20	95640	92100	71580	59010	
	25	90920	90920	64180	67090	
	31,5	90920	90920	85280	65090	
	40	85730	85730	85730	70220	

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ Ц2-250 – Ц2-400

Технические характеристики

Типоразмер редуктора	Передачное число $u_{p.f}$	Номинальный крутящий момент M_T , Н·м, при частоте вращения входного вала, об/мин				Масса $m_{ред}$, кг
		600	750	1000	1500	
Ц2-250	8,32	2500	2380	2100	1768	85
	9,8	2610	2400	2180	1840	
	12,41	2945	2575	2380	1970	
	16,3	2870	2740	2630	2420	
	19,88	2910	2750	2690	2360	
	24,9	2718	2920	2725	2560	
	32,42	2630	3080	2800	2400	
	41,34	2710	2880	2820	2520	
	50,94	3090	2670	2855	2700	
Ц2-300	8,32	4350	4160	3420	2890	136
	9,8	4480	4350	3640	2940	
	12,41	4780	4580	3620	3090	
	16,3	4570	4380	3800	3210	
	19,88	4650	4420	3820	3280	
	24,9	4880	5000	4260	3285	
	32,42	4200	4210	4440	3899	
	41,34	4380	4260	4480	3600	
	50,94	4440	4720	4620	3940	
Ц2-350	8,32	5900	6310	5580	5060	204
	9,8	6040	6340	5600	5160	
	12,41	5680	6750	5880	5440	
	16,3	6810	6500	5640	5210	
	19,88	6900	6580	6220	5420	
	24,9	6440	6960	6300	6130	
	32,42	6070	6720	6640	6085	
	41,34	6580	6890	6680	6260	
	50,94	7450	7000	6900	6480	
Ц2-400	8,32	8150	6580	5650	5300	317
	9,8	8400	7160	6280	5560	
	12,41	9360	8300	6320	6280	
	16,3	12260	10900	8250	8220	
	19,88	13500	11520	9150	7940	
	24,9	14200	12000	10350	7660	
	32,42	12460	11700	10420	7420	
	41,34	12950	13500	11600	9450	
	50,94	12900	12660	11420	9850	

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ КОНИЧЕСКО–ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТО- РЫ КЦ1–200 – КЦ1-500

Технические характеристики

Типоразмер редуктора	Номинальный крутящий момент М _т , Н·м					Масса m _{ред} , кг
	при передаточном числе u _{р.ф}					
	6,29	9,65	13,6	19,3	27,5	
КЦ1–200	3120	3870	3470	2920	2320	190
КЦ1–250	7850	7550	6900	5700	4550	400
КЦ1–300	8060	12450	11700	10000	7840	490
КЦ1–400	25000	31000	27700	23200	18800	1010
КЦ1–500	51500	60500	54100	45500	36200	1770

ТРЕХСТУПЕНЧАТЫЕ КОНИЧЕСКО–ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТО- РЫ КЦ2–500 – КЦ2-1300

Технические характеристики

Типоразмер редуктора	Номинальный крутящий момент М _т , Н·м					Масса m _{ред} , кг
	при передаточном числе u _{р.ф}					
	28,3	43,4	73	118	182	
КЦ2–500	11100	11100	9350	8900	8900	435
КЦ2–750	36600	36900	31600	30000	30000	1270
КЦ2–1000	88500	88500	75500	71500	71500	2650
КЦ2–1300	209000	210000	179000	170000	170000	5330

ТРЕХСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ ЦЗУ160 - ЦЗУ250

Технические характеристики

Наименование показателя	Типоразмер редуктора		
	ЦЗУ-160	ЦЗУ-200	ЦЗУ-250
Передаточные числа $u_{р.ф}$	31,5; 40; 45; 50; 56; 63; 80; 100; 125; 160; 200		16; 20; 25; 31,5; 40; 45; 50; 56; 63; 80; 100; 125; 160; 200
Допускаемый крутящий момент на выходном валу M_T , Н·м	1250	2500	5000
Масса $m_{ред}$, кг	106	186	335

ТРЕХСТУПЕНЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕДУКТОРЫ ЦТНД–315 – ЦТНД–500

Типоразмер редуктора	Передаточные числа $u_{p. \phi}$	Допускаемый крутящий момент на выходном валу M_T , Н·м	Масса $m_{ред}$, кг
ЦТНД-315	63; 80; 100; 125; 160	8300	505
ЦТНД-400		17000	940
ЦТНД-500		28500	1480

ОДНОСТУПЕНЧАТЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ РЕДУКТОРЫ 1Ч-63А

Технические характеристики

Частота вращения входного вала, об/мин	Допускаемый крутящий момент на выходном валу M_T , Н . м										
	при передаточных числах $u_{p. \phi}$										
	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0
1500	160	132	132	160	140	132	200	170	140	106	100
1000	180	150	150	180	160	150	200	190	160	120	110
750	210	170	170	210	180	170	240	220	180	130	130
Масса $m_{ред}$, кг	12										

ОДНОСТУПЕНЧАТЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ РЕДУКТОРЫ 2Ч-40, 2Ч-63, 2Ч-80

Технические характеристики

Типоразмер редуктора	Номинальный крутящий момент М _т , Н·м											Масса m _{ред} , кг
	при передаточном числе u _{р.ф}											
	7,75	9,75	12,25	15,5	19,5	24,5	31	39	49	64	83	
2Ч–40	28	28	26	28	28	26	32	29	28	26	–	6,5
2Ч–63	105	100	93	110	104	95	116	110	100	93	83	13,0
2Ч–80	210	190	200	210	210	210	260	240	240	200	170	18,5

ОДНОСТУПЕНЧАТЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ РЕДУКТОРЫ Ч-100, Ч-125, Ч-160

Технические характеристики

u _{р. ном}	Редуктор Ч-100				Редуктор Ч-125				Редуктор Ч-160			
	u _{р. ф}	Допустимый крутящий момент на тихоходном валу редуктора М _т , Н*м, при частоте вращения входного вала			u _{р. ф}	Допустимый крутящий момент на тихоходном валу редуктора М _т , Н*м, при частоте вращения входного вала			u _{р. ф}	Допустимый крутящий момент на тихоходном валу редуктора М _т , Н*м, при частоте вращения входного вала		
		1500 об/мин	1000 об/мин	750 об/мин		1500 об/мин	1000 об/мин	750 об/мин		1500 об/мин	1000 об/мин	750 об/мин
8	7,75	380	426	477	8	659	758	826	8	1250	1400	1567
10	10	367	410	460	10	636	712	800	10,5	1153	1294	1450
12,5	12	374	420	470	13	626	700	785	13	1150	1290	1440
16	15,5	392	440	492	16	676	757	850	16	1390	1557	1743
20	20	389	414	464	20	653	730	820	21	1150	1290	1442
25	24	372	417	466	25	616	690	772	26	1110	1243	1392
31,5	31	400	448	500	32	800	890	1000	32	1600	1790	2000
40	40	387	433	485	40	692	715	870	42	1244	1360	1522
50	48	389	436	488	52	640	717	803	52	1168	1310	1465
63	64	313	350	396	60	610	683	765	66	1033	1157	1295
80	84	292	327	366	84	525	590	660	78	1092	1223	1370
Масса m _{ред} , кг	57				88				157			

- u_{р. ном}; u_{р. ф} - значения номинального и фактического передаточного числа;
- 1500 об/мин; 1000 об/мин; 750 об/мин- значения частоты вращения входного вала

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бакатин, Ю. П.** Техника изобретательства : учеб. пособие / Ю. П. Бакатин. – Москва : МАДИ, 2013. – 156 с.
2. **Горев, П. М.** Научное творчество. Практическое руководство по развитию креативного мышления : учеб. пособие / П. М. Горев, В. В. Утемов. – Москва : URSS (Ленанд), 2014. – 103 с.
3. **Петров, В. М.** Простейшие приемы изобретательства : учеб. пособие / В. М. Петров. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2016. – 132 с.
4. **Маслов, В. Н.** Алгоритм открытий : учеб. пособие / В. Н. Маслов. – Москва : ИРИС-ГРУПП, 2011. – 300 с.
5. **Сергеев, Б. С.** Практические основы создания изобретений : учеб. пособие / Б. С. Сергеев. – Екатеринбург : УрГУПС, 2011. – 108 с.
6. **Шпаковский, Н. А.** ТРИЗ. Практика целевого изобретательства : учеб. пособие / Н. А. Шпаковский, Е. Л. Новицкая. – Москва : ФОРУМ, 2011. – 336 с.
7. **Иванов, Г. И.** Формулы творчества, или Как научиться изобретать : монография / Г. И. Иванов. – Москва : ФОРУМ, 2012. – 304 с.
8. **Техническая инновационика. Рациональный выбор технических решений при проектировании** : монография / О. В. Измеров [и др.]. – Орел : Госуниверситет – УНПК, 2013. – 340 с.
9. **Орлов, М. А.** Истоки ТРИЗ и творческой личности. Через тернии – к звездам! : учебник / М. А. Орлов. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. – 182 с.
10. **Орлов, М. А.** Азбука ТРИЗ. Основы изобретательного мышления : учебник / М. А. Орлов. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. – 208 с.
11. **Кукалев, С. В.** Правила творческого мышления, или Тайные пружины ТРИЗ : учеб. пособие / С.В. Кукалев. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. – 416 с.
12. **Корнилов, И. К.** История и основы инженерного дела : учеб. пособие. – Москва : МГУП имени Ивана Федорова, 2016. – 228 с.
13. **Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин** : монография / О. В. Измеров [и др.]. – Орел : Госуниверситет - УНПК, 2013. – 415 с.
14. **Соснин, Э. А.** Из небытия в бытие: творчество как целенаправленная деятельность : монография / Э. А. Соснин, Б. Н. Пойзнер. – Томск : STT, 2011. – 520 с.