

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра прикладной механики

## **ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ**

Методические указания к практическому занятию  
по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»  
для студентов направлений 151900.62, 190600.62, 241000.62,  
по дисциплине «Основы проектирования»  
для студентов направления 150700.62,  
по дисциплине «Прикладная механика»  
для студентов специальности 130400.65  
всех форм обучения

Составитель О. В. Любимов

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 4 от 27.11.2013

Рекомендованы к печати  
учебно-методической комиссией  
направления 151900.62  
Протокол № 2 от 13.01.2014

Электронная копия находится  
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2014

## 1 Цель занятия. Общие положения

Цель практического занятия – освоение методики выбора электродвигателя, являющегося основным источником движения приводов общего назначения.

Работа рассчитана на 2 часа.

Современная машина имеет, как известно, рабочие органы и их привод. Конструкция и вид рабочих органов определяются целевым назначением машины. Структурная схема машины включает двигатель какого-либо определенного типа и одну или несколько связанных между собой передач. Последние служат для передачи энергии двигателя к рабочему органу и могут быть механическими, электрическими, гидравлическими, пневматическими и комбинированными.

В современной технике у подавляющего числа машин движение рабочих органов является вращательным. К таковым относятся транспортные машины, разнообразное основное и вспомогательное оборудование, средства механизации различных работ и т.п. Приводы большинства этих машин допускают применение стандартных двигателей и типовых механических передач, т.е. это – приводы общего назначения.

Рациональное проектирование приводов общего назначения должно способствовать повышению их КПД и надежности.

Тип двигателя выбирается с учетом:

- 1) назначения машины;
- 2) наличия того или иного источника энергии;
- 3) величины потребной мощности;
- 4) ограничений по массе, габаритным размерам и условиям работы привода;
- 5) режима работы привода.

Наличие электроэнергии предопределяет выбор электропривода как наиболее простого и надежного [1, 2].

Кинематический расчет привода позволяет определить:

- 1) передаточное отношение привода при выбранном двигателе и его разбивку по ступеням;
- 2) частоты вращения валов привода,  $\text{мин}^{-1}$ ;
- 3) мощности на валах привода, кВт;
- 4) вращающие моменты на валах редуктора, Н·м.

## 2 Теоретические основы выбора электродвигателя

Выбор электродвигателя из стандартного ряда осуществляется по мощности и частоте вращения.

Ориентировочная мощность электродвигателя

$$P'_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{пр}}}{\eta_{\text{общ}}}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{пр}}$  – мощность на приводном валу, кВт;  $\eta_{\text{общ}}$  – общий КПД привода.

Значение мощности на приводном валу  $P_{\text{пр}}$  известно из технического задания на проектирование привода или определяется:

$$P_{\text{пр}} = \frac{F_t \cdot v}{1000}, \quad (2)$$

где  $F_t$  – тяговое усилие на рабочем органе, Н;  $v$  – скорость рабочего органа, м/с.

Величина общего КПД  $\eta_{\text{общ}}$  определяется по формуле

$$\eta_{\text{общ}} = \prod_{k=1}^n \eta_k, \quad (3)$$

где  $\eta_k$  – КПД отдельных звеньев кинематической цепи [1], ориентировочные значения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

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

Принимаемая паспортная мощность двигателя и его габариты, оказывающие влияние на общие габариты привода, будут меньше, если вести выбор по эквивалентной мощности, учитывающей переменный режим работы привода:

$$P_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum (P'_{\text{дв}i})^2 \cdot t_i}{t}}, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где  $P'_{\text{дв}i}$  – мощность двигателя при  $i$ -м режиме работы, кВт;  $t_i$  – время действия  $i$ -го режима работы, ч;  $t$  – общее время работы привода, ч.

Ориентировочная частота вращения электродвигателя

$$n'_{\text{дв}} = n_{\text{пр}} \cdot u'_{\text{общ}}, \text{ мин}^{-1}, \quad (5)$$

где  $n_{\text{пр}}$  – частота вращения приводного вала,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $u'_{\text{общ}}$  – ориентировочное общее передаточное отношение привода.

Значение частоты вращения на приводном валу  $n_{\text{пр}}$  известно из технического задания на проектирование привода или определяется:

а) для привода ленточного конвейера

$$n_{\text{пр}} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot D_{\text{бар}}}, \text{ мин}^{-1}, \quad (6)$$

где  $D_{\text{бар}}$  – диаметр тягового барабана, мм;

б) для привода цепного конвейера

$$n_{\text{пр}} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{z \cdot t}, \text{ мин}^{-1}, \quad (7)$$

где  $z$  – число зубьев тяговой звездочки;  $t$  – шаг тяговой звездочки, мм.

Величина ориентировочного общего передаточного отношения определяется по формуле

$$u'_{\text{общ}} = \prod_{j=1}^m u_j, \quad (8)$$

где  $u_j$  – передаточные отношения механических передач, входящих в кинематическую цепь привода [1], рекомендуемые значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вид передачи	Твердость зубьев	Значение передаточных отношений	
		$u_{рек}$	$u_{пред}$
Зубчатая цилиндрическая:			
- тихоходная ступень во всех редукторах ( $u_T$ )	$\leq$ HB 350 HRC 40...56 HRC 56...63	2,5...5 2,5...5 2...4	6,3 6,3 5,6
- быстроходная ступень в редукторах с развернутой схемой ( $u_B$ )	$\leq$ HB 350 HRC 40...56 HRC 56...63	3,15...5 3,15...5 2,5...4	8 7,1 6,3
- быстроходная ступень в соосном редукторе ( $u_B$ )	$\leq$ HB 350 HRC 40...56 HRC 56...63	4...6,3 4...6,3 3,15...5	10 9 8
Коробка передач	Любая	1...2,5	3,15
Зубчатая коническая	$\leq$ HB 350 $\geq$ HRC 40	1...4 1...4	6,3 5
Червячная	–	16...50	80
Цепная	–	1,5...4	10
Ременная	–	2...4	8

По полученным значениям осуществляется выбор электродвигателя из стандартного ряда таким образом, чтобы его паспортная мощность  $P_{пасп}$  несколько превышала ориентировочную  $P'_{дв}$ , а паспортная частота вращения  $n_{пасп}$  как можно меньше отличалась от ориентировочной  $n'_{дв}$ .

Допускается перегрузка двигателя до 5...8 % при постоянном режиме работы и до 10...12 % при переменном режиме [2].

При выборе  $n_{пасп}$  предпочтение отдается двигателям с большей паспортной (асинхронной) частотой вращения – из габаритных соображений.

В качестве примера стандартного ряда в табл. 3 приведены паспортные данные трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей серии АИР ТУ 16-525.564-84 [1]; в прил. А – эскизы основных исполнений электродвигателей этой серии. В аналогичный стандартный ряд организованы двигатели серии 4А ГОСТ 19523-74 [2].

Таблица 3

$P_{\text{пасп}}$ , кВт	Синхронная частота, мин <sup>-1</sup>			
	3000		1500	
	Тип	$n_{\text{пасп}}$ , мин <sup>-1</sup>	Тип	$n_{\text{пасп}}$ , мин <sup>-1</sup>
0,25				
0,37				
0,55			71A4	1390
0,75	71A2	2840	71B4	1390
1,1	71B2	2810	80A4	1420
1,5	80A2	2850	80B4	1415
2,2	80B2	2850	90L4	1425
3	90L2	2840	100S4	1435
4	100S2	2880	100L4	1430
5,5	100L2	2880	112M4	1445
7,5	112M2	2900	132S4	1455
11	132M2	2900	132M4	1460
15	160S2	2940	160S4	1465
18,5	160M2	2940	160M4	1465
22	180S2	2945	180S4	1470
30	180M2	2945	180M4	1470
$P_{\text{пасп}}$ , кВт	Синхронная частота, мин <sup>-1</sup>			
	1000		750	
	Тип	$n_{\text{пасп}}$ , мин <sup>-1</sup>	Тип	$n_{\text{пасп}}$ , мин <sup>-1</sup>
0,25			71B8	680
0,37	71A6	910	80A8	675
0,55	71B6	900	80B8	700
0,75	80A6	915	90LA8	700
1,1	80B6	920	90LB8	700
1,5	90L6	935	100L8	700
2,2	100L6	950	112MA8	700
3	112MA6	955	112MB8	700
4	112MB6	950	132S8	720
5,5	132S6	965	132M8	720
7,5	132M6	970	160S8	730
11	160S6	975	160M8	730
15	160M6	975	180M8	730
18,5	180M6	975		
22				
30				

### 3 Теоретические основы кинематического расчета

Величина уточненного общего передаточного отношения

$$u_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{пасп}}}{n_{\text{пр}}} \quad (9)$$

Передаточное отношение зубчатой передачи:

- в случае расчета привода, включающего ременную передачу

$$u_{\text{з.п.}} = \frac{u_{\text{общ}}}{u_{\text{р.п.}}} \quad (10)$$

- в случае расчета привода, включающего цепную передачу

$$u_{\text{з.п.}} = \frac{u_{\text{общ}}}{u_{\text{ц.п.}}} \quad (11)$$

Точность определения  $n_{\text{пр}}$  и  $n_{\text{з.п.}}$  – три знака после запятой.

Частоты вращения валов привода [1], мин<sup>-1</sup>:

- ведущего вала редуктора при наличии быстроходной ременной передачи

$$n_1 = \frac{n_{\text{НОМ}}}{u_{\text{р.п.}}} \quad (12)$$

в противном случае  $n_1 = n_{\text{НОМ}}$ ;

- ведомого вала редуктора

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{\text{з.п.}}} \quad (13)$$

- приводного вала при наличии тихоходной цепной передачи

$$n_{\text{пр}} = \frac{n_2}{u_{\text{ц.п.}}} \quad (14)$$

в противном случае  $n_{\text{пр}} = n_2$ .

Полученное значение сравнивают с вычисленными по формулам (6), (7).

Мощности на валах привода [1], кВт:

- на ведущем валу редуктора при наличии быстроходной ременной передачи

$$P_1 = P'_{\text{дв}} \eta_{\text{р.п.}} \eta_{\text{п.к.}} \quad (15)$$

в противном случае при наличии муфты  $P_1 = P'_{\text{дв}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{п.к.}}$ ;

- на ведомом валу редуктора

$$P_2 = P_1 \eta_{\text{з.п.}} \eta_{\text{п.к.}}; \quad (16)$$

- на приводном валу при наличии тихоходной цепной передачи

$$P_{\text{пр}} = P_2 \eta_{\text{ц.п.}} \eta_{\text{п.к.}}; \quad (17)$$

В противном случае при наличии муфты  $P_{\text{пр}} = P_2 \eta_{\text{м}}$ .

Полученное значение сравнивают с вычисленным по формуле (2).

Моменты на валах редуктора рассчитывают [1], Нм

$$T_i = \frac{9550 P_i}{n_i}, \quad (18)$$

где  $P_i$  – мощность на  $i$ -м валу, кВт;  $n_i$  – частота вращения  $i$ -го вала,  $\text{мин}^{-1}$ .

#### 4 Порядок выполнения работы. Требования к отчету

Студент осуществляет выбор электродвигателя и кинематический расчет в порядке, описанном в методических указаниях. Примеры отчета по выбору электродвигателя и кинематическому расчету привода, оформленные в соответствии с требованиями ЕСКД, приведены в прил. Б, В.

#### 5 Контрольные вопросы

- 1) Какова структура современной машины?
- 2) Поясните понятие «приводы общего назначения». Чему способствует их рациональное проектирование?
- 3) Чем предопределяется выбор типа двигателя?
- 4) Как определяют ориентировочную мощность электродвигателя?
- 5) Как определяют ориентировочную частоту вращения электродвигателя?
- 6) Как организован стандартный ряд электродвигателей?
- 7) По каким принципам электродвигатель выбирается из стандартного ряда?
- 8) Каковы основные исполнения электродвигателей?

9) Какие параметры определяются при выполнении кинематического и силового расчета механических приводов?

10) Какие исходные данные нужны для выполнения кинематического и силового расчета?

11) Как в направлении потока мощности изменяются мощности на валах?

12) Как в механическом приводе в направлении потока мощности изменяются частоты вращения валов и угловые скорости?

13) Как в механическом приводе в направлении потока мощности изменяются вращающие моменты на валах?

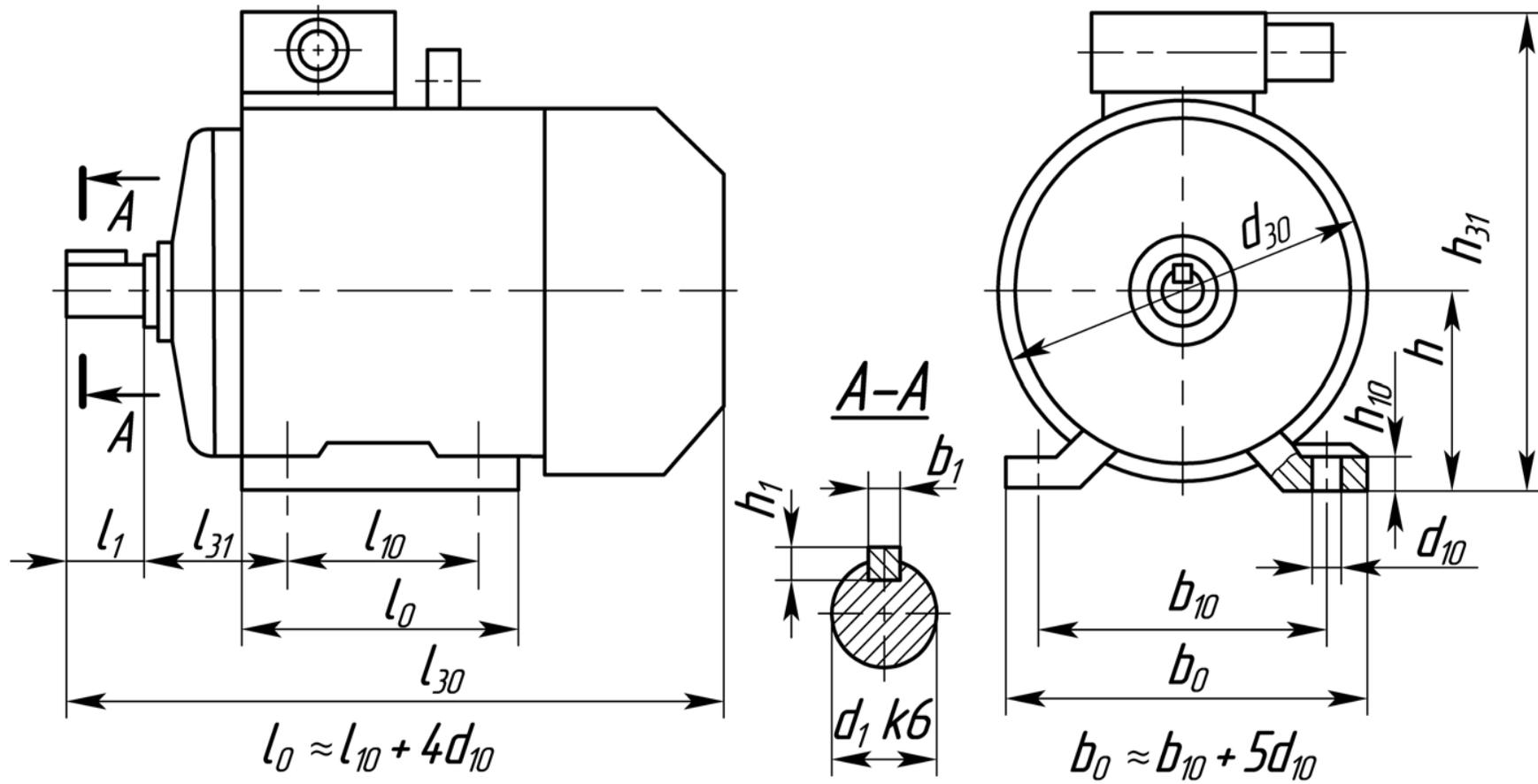
### **Список рекомендуемой литературы**

1. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – Москва: «Академия», 2006. – 496 с.

2. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др. – Москва: «Альянс», 2008. – 590 с.

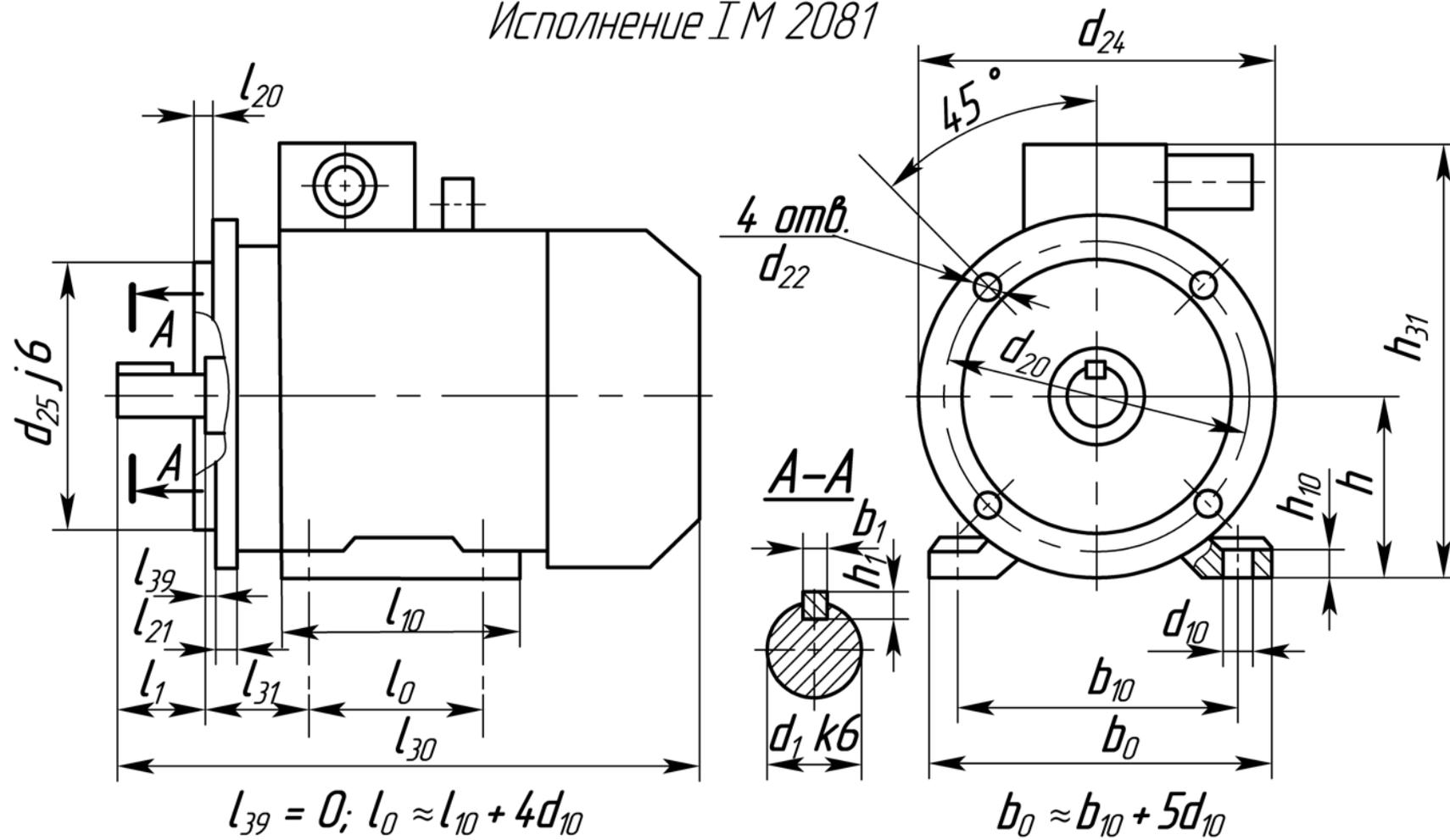
Приложение А  
(справочное)  
Электродвигатели серии АИР. Эскизы

*Исполнение I M 1081*

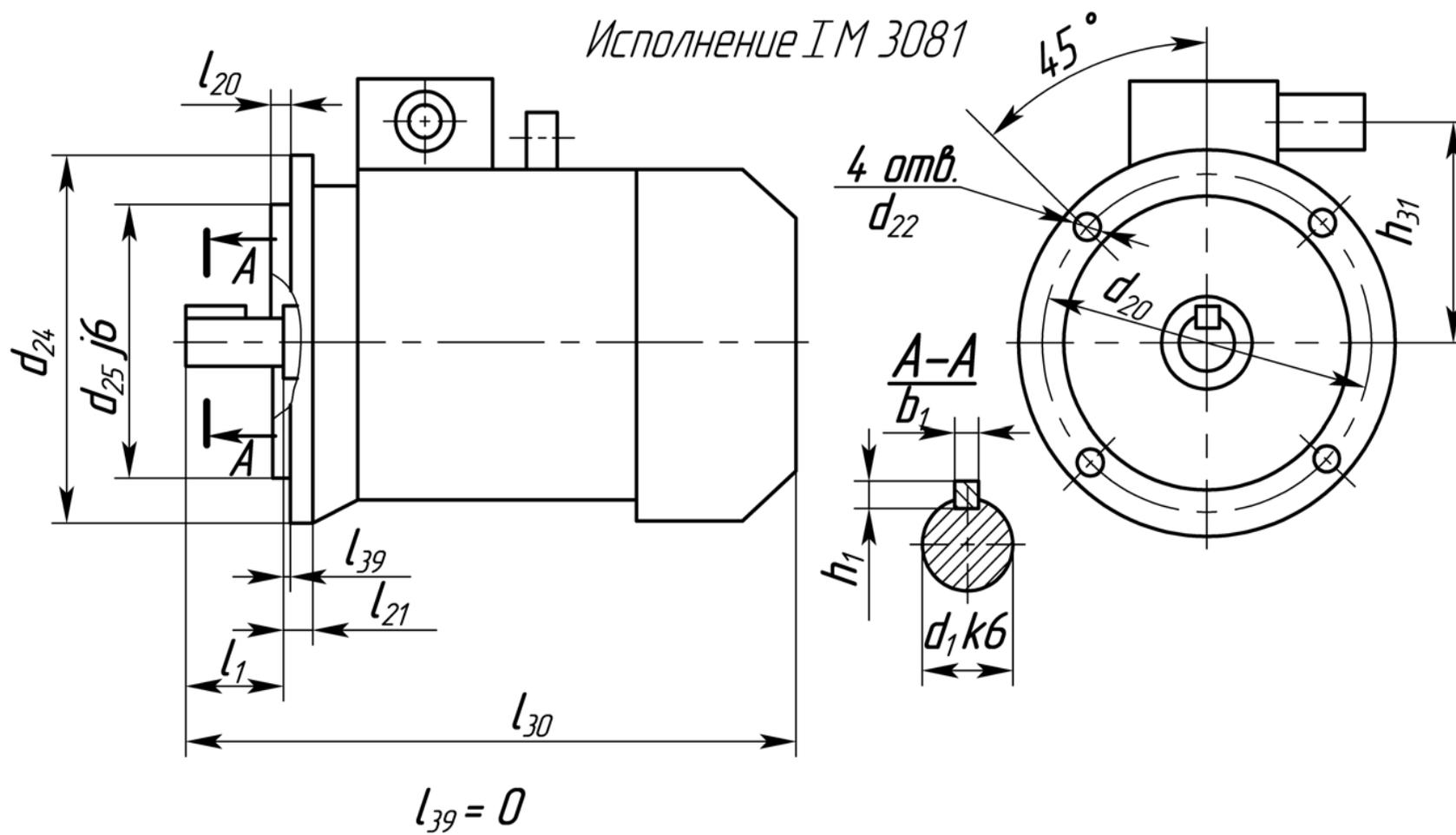


Продолжение приложения А

Исполнение I M 2081



## Продолжение приложения А



## Приложение Б

## Пример выбора электродвигателя для привода с цепной передачей

## 1 Выбор электродвигателя

## 1.1 Задача расчета

Выбрать тип электродвигателя, определив необходимую частоту вращения и мощность.

## 1.2 Данные для расчета

Мощность на приводном валу  $P_{пр} = 14,3$  кВт.

Частота вращения приводного вала  $n_{пр} = 78$  мин<sup>-1</sup>.

Передаточное отношение цепной передачи  $u_{ц.п.} = 3,00$ .

## 1.3 Условия расчета

Расчет производим, учитывая характер нагрузки и кинематические возможности схемы редуктора.

## 1.4 Выбор электродвигателя

## 1.4.1 Мощность на валу двигателя

$$P'_{дв} = \frac{P_{пр}}{\eta_{общ}} = \frac{14,3}{0,867} = 16,49 \text{ кВт};$$

## а) общий КПД привода

$$\eta_{общ} = \eta_{м} \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{ц.п.} \cdot \eta_{п.к.}^3$$

где  $\eta_{з.п.} = 0,96 \dots 0,98$  – КПД зубчатой передачи;

$\eta_{ц.п.} = 0,92 \dots 0,95$  – КПД цепной передачи;

$\eta_{м} = 0,98$  – КПД муфты;

$\eta_{п.к.} = 0,99$  – КПД пары подшипников качения.

$$\eta_{общ} = 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,94 \cdot 0,99^3 = 0,867$$

1.4.2 Ориентировочная частота вращения двигателя (при заданной схеме привода)

$$n'_{дв} = n_{пр} \cdot u'_{пр} = 78 \cdot 12 = 936 \text{ мин}^{-1}$$

Основная надпись по ГОСТ 2.104-2006 (форма 2а)

## Продолжение приложения Б

б) возможное общее передаточное отношение привода

$$u'_{\text{пр}} = u'_{\text{з.п.}} \cdot u'_{\text{ц.п.}} = 4 \cdot 3 = 12$$

Для цилиндрической пары рекомендуется:  $u = 3,15 \dots 5$ .

## 1.4.4 Выбор электродвигателя

Принимаем электродвигатель АИР180М6 ТУ 16-525.564-84:

$P_{\text{пасп}} = 18,5$  кВт;  $n_{\text{пасп}} = 975$  мин<sup>-1</sup>; исполнение ИМ 1081 (на лапах).

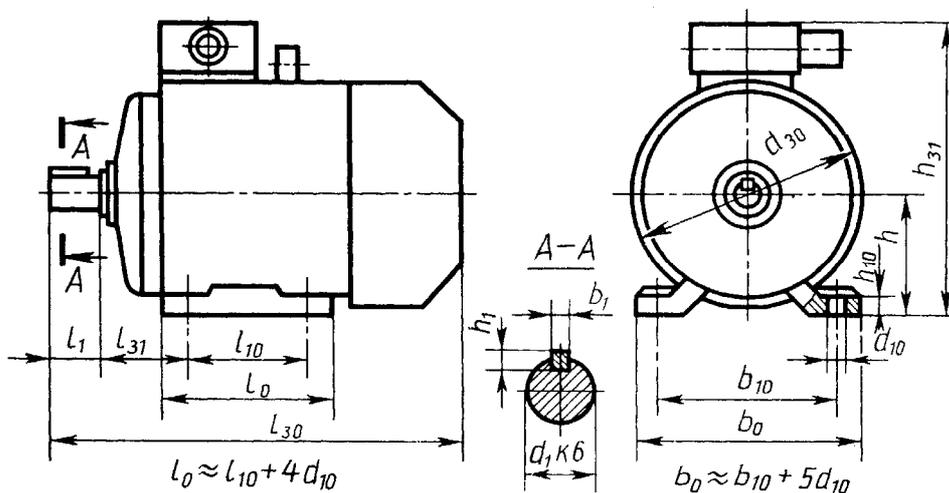


Рисунок 1 - Эскиз электродвигателя

Таблица 1.1 - Размеры электродвигателя

В миллиметрах

$d_{30}$	$l_1$	$l_{30}$	$d_1$	$b_1$	$h_1$	$l_{10}$	$l_{31}$	$d_{10}$	$b_{10}$	$h$	$h_{10}$	$h_{31}$
210	110	680	55	16	10	241	121	15	279	180	20	448

Основная надпись по ГОСТ 2.104-2006 (форма 2а)

## Приложение В

## Пример кинематического расчета для привода с ременной передачей

## 2 Кинематический расчет

## 2.1 Задача расчета

Определить передаточное отношение привода при выбранном двигателе и разбить его по ступеням.

Определить частоты вращения валов, мощности и вращающие моменты на валах.

## 2.2 Данные для расчета

Ориентировочная мощность двигателя  $P'_{дв} = 6,78$  кВт.

Паспортная частота вращения двигателя  $n_{пасп} = 970$  мин<sup>-1</sup>.

Частота вращения приводного вала  $n_{пр} = 64$  мин<sup>-1</sup>.

Передаточное отношение ременной передачи  $u_{р.п.} = 3,4$ .

Значения КПД:  $\eta_{з.п.} = 0,97$ ;  $\eta_{р.п.} = 0,95$ ;  $\eta_{м} = 0,98$ ;  $\eta_{п.к.} = 0,99$ .

## 2.3 Уточненное общее передаточное отношение привода

$$u_{общ} = \frac{n_{пасп}}{n_{пр}} = \frac{970}{64} = 15,156$$

$$u_{з.п.} = \frac{u_{общ}}{u_{р.п.}} = \frac{15,156}{3,4} = 4,46$$

## 2.4 Частоты вращения валов

## 2.4.1 ведущего вала редуктора

$$n_1 = \frac{n_{ном}}{u_{р.п.}} = \frac{970}{3,4} = 285,29 \text{ мин}^{-1};$$

Основная надпись по ГОСТ 2.104-2006 (форма 2а)

## Продолжение приложения В

2.4.2 ведомого вала редуктора

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{з.п.}} = \frac{285,29}{4,46} = 64 \text{ мин}^{-1}$$

2.4.3 приводного вала

$$n_{пр} = n_2 = 64 \text{ мин}^{-1}.$$

2.5 Мощности на валах

2.5.1 на ведущем валу редуктора

$$P_1 = P'_{дв} \eta_{р.п.} \eta_{п.к.} = 6,78 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 6,38 \text{ кВт}$$

2.5.2 на ведомом валу редуктора

$$P_2 = P_1 \eta_{з.п.} \eta_{п.к.} = 6,38 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 6,12 \text{ кВт}$$

2.5.3 на приводном валу

$$P_{пр} = P_2 \eta_{м} = 6,12 \cdot 0,98 = 6 \text{ кВт}$$

2.6 Вращающие моменты на валах

2.6.1 на ведущем валу редуктора

$$T_1 = \frac{9550 P_1}{n_1} = \frac{9550 \cdot 6,38}{285,29} = 213,57 \text{ Нм}$$

2.6.2 на ведомом валу редуктора

$$T_2 = \frac{9550 P_2}{n_2} = \frac{9550 \cdot 6,12}{64} = 913,22 \text{ Нм}$$

2.6.3 на приводном валу

$$T_{пр} = \frac{9550 P_{пр}}{n_{пр}} = \frac{9550 \cdot 6,0}{64} = 895,31 \text{ Нм}$$

Основная надпись по ГОСТ 2.104-2006 (форма 2а)

Составитель

Любимов Олег Владиславович

**ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ  
И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ**

Методические указания к практическому занятию  
по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»  
для студентов направлений 151900.62, 190600.62, 241000.62,  
по дисциплине «Основы проектирования»  
для студентов направления 150700.62,  
по дисциплине «Прикладная механика»  
для студентов специальности 130400.65  
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 12.03.2014. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 0,8.

Тираж 185 экз. Заказ .

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Полиграфический цех КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.