

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Р.Н. Узяков, Е.В. Пояркова

# **КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ В КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника и 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург  
2019

ББК 34.445.я7  
УДК 621.83+621.85 (075.8)  
У 34

Рецензент – профессор, доктор технических наук В.М. Кушнарченко

У 34     **Узяков, Р. Н.**  
Кинематический расчет в курсовом проектировании:  
методические указания / Р.Н., Узяков, Е.В. Пояркова;  
Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 32 с.

Методические указания предназначены для выполнения кинематического расчета в курсовых проектах (работах) для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника и 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Указания содержат методику кинематического расчета и весь необходимый справочный материал.

УДК 621.83+621.85 (075.8)  
ББК 34.445.я7

© Узяков, Р.Н.,  
Пояркова Е.В., 2019  
© ОГУ, 2019

## Содержание

Введение.....	4
1 Тематика заданий на курсовое проектирование.....	5
2 Исходные данные на курсовой проект.....	5
3 Задачи кинематического расчета привода.....	12
4 Последовательность выполнения кинематического расчета.....	12
4.1 Изучение кинематической схемы и нумерация валов.....	12
4.2 Выбор электродвигателя .....	12
4.3 Определение общего передаточного числа $u_{\Sigma}^*$ привода и разбивка его между отдельными ступенями .....	15
4.4 Определение угловых скоростей валов привода .....	16
4.5 Определение частот вращения валов .....	17
4.6 Определение мощностей на валах привода.....	17
4.7 Определение вращающих моментов на валах привода .....	18
4.8 Анализ результатов кинематического расчета .....	19
5 Пример кинематического расчета привода.....	20
5.1 Изучение кинематической схемы и нумерация валов.....	20
5.2 Выбор электродвигателя .....	21
5.3 Определение общего передаточного числа $u_{\Sigma}$ привода и разбивка его между отдельными ступенями .....	22
5.4 Определение угловых скоростей валов .....	24
5.5 Определение частот вращения валов .....	25
5.6 Определение мощностей на валах.....	25
5.7 Определение вращающих моментов на валах .....	25
5.8 Анализ результатов кинематического расчета привода .....	26
5.9 Результаты расчета.....	26
Список использованных источников.....	27
Приложение А.....	28

## Введение

В процессе изучения дисциплин «Механика», «Прикладная механика» и «Техническая механика» обучающиеся получают теоретические знания по расчету и конструированию деталей и узлов общего назначения, встречающихся в различных механизмах и машинах.

Полученные знания закрепляют выполнением курсовых проектов (работ) (КП). При этом обучающиеся получают навыки и умения выполнения расчетов и конструирования.

Целью курсового проектирования является формирование практических навыков и умения самостоятельного решения инженерных задач, развитие творческих способностей и освоение технической, нормативной и справочной литературой.

Кинематический расчет силового привода является первой неотъемлемой частью расчетов, выполняемых обучающимися в процессе выполнения курсовых проектов

**Результаты кинематического расчета являются исходными данными для всех остальных расчетов в курсовом проекте.**

Курсовой проект заключается в разработке привода, соответствующего предъявленным к нему требованиям (исходным данным для расчета). С целью увеличения вариантов данного решения обучающимся выдают различные кинематические схемы привода, что позволяет увидеть многообразие решения одной и той же задачи. Это учит не заикливаться на одном варианте, а искать много вариантов решения поставленной технической задачи. Выполнение конкретного варианта учит оптимизировать принятое решение.

В настоящих методических указаниях даны рекомендации, справочный материал и примеры кинематического расчета типовых приводов.

Условные обозначения величин приняты в соответствии с рекомендациями ISO R31 и государственных стандартов. При этом использована международная система (СИ) единиц величин, а внесистемная единица частоты вращения (*об/мин*) применяется лишь дополнительно к единице угловой скорости (*рад/с*).

## **1 Тематика заданий на курсовое проектирование**

Курсовой проект должен содержать расчет и конструирование закрытых и открытых передач с достаточным числом деталей машин общего назначения для успешного усвоения основ их проектирования. Силовые приводы цепных конвейеров (ПЦК) и ленточных транспортеров (ПЛТ), как правило, имеют необходимое количество таких деталей.

Задания на курсовой проект приведены на [рисунке 1](#) и в [таблицах 1](#) и [2](#). Они содержат кинематические (структурные) схемы указанных приводов и необходимые исходные данные.

Номер задания (кинематической схемы) должен соответствовать порядковому номеру обучающегося в журнале преподавателя, а номер варианта исходных данных – общий для каждой группы, выдается преподавателем.

## **2 Исходные данные на курсовой проект**

Исходные данные на курсовой проект (работу) включают:

- кинематическая (структурная) схема привода;
- тяговое усилие и на цепи (ленте) –  $F$ ,  $кН$ ;
- скорость движения цепи (ленты) –  $V$ ,  $м/с$ ;
- диаметр звездочки или барабана –  $D$ ,  $м$ ;
- вид передач – реверсивные или неререверсивные;
- срок службы привода.



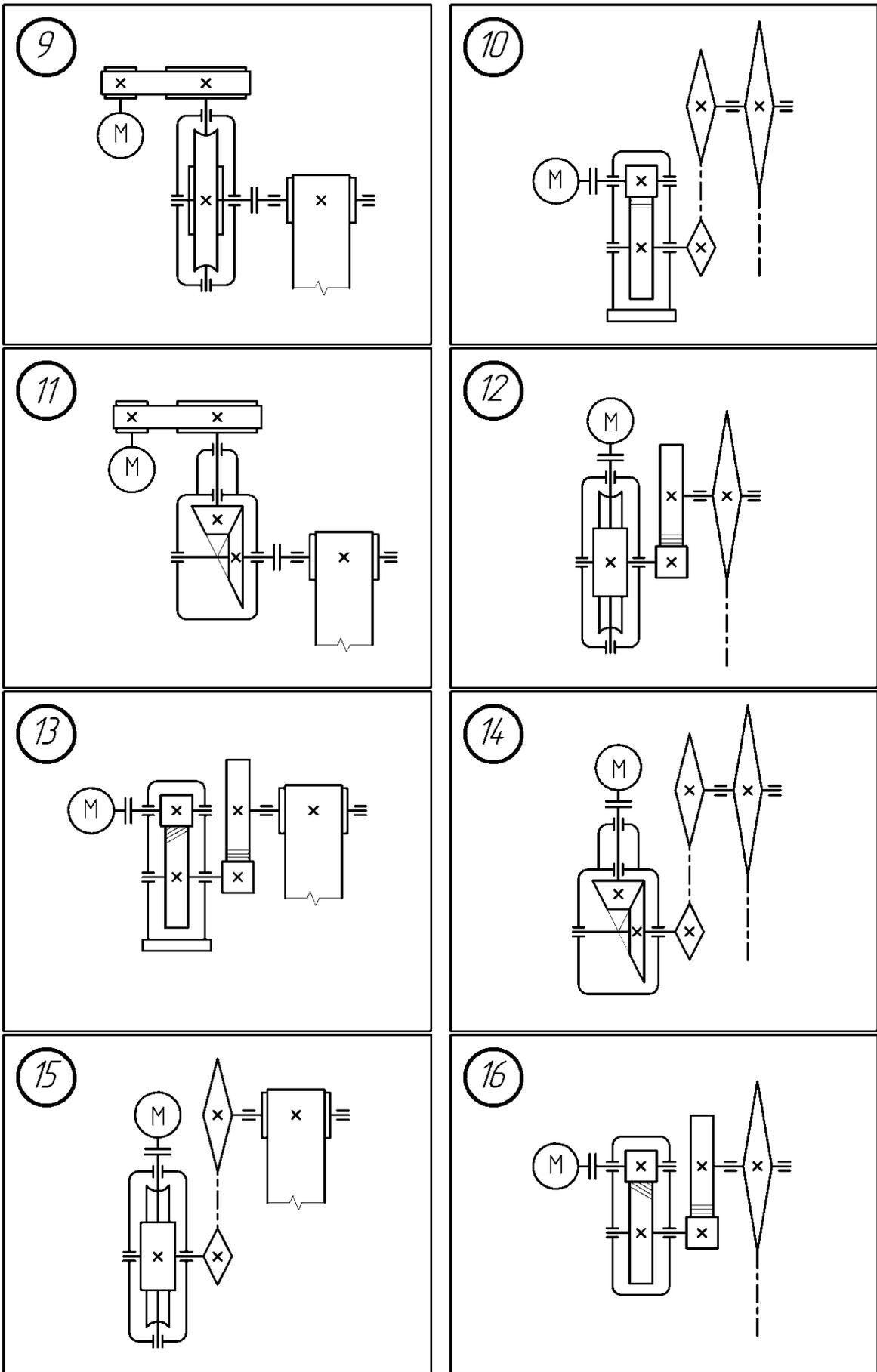


Рисунок 1 – Варианты кинематических схем, лист 2



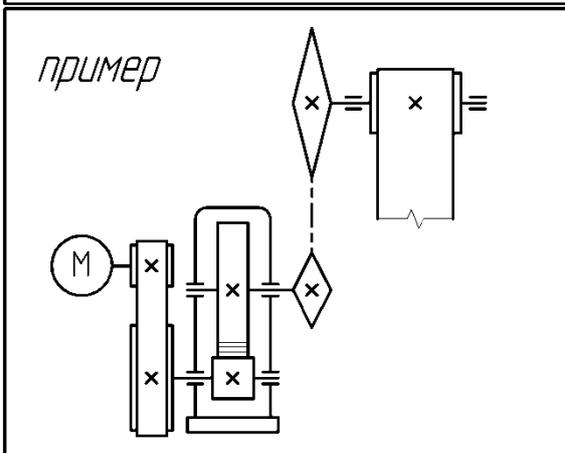
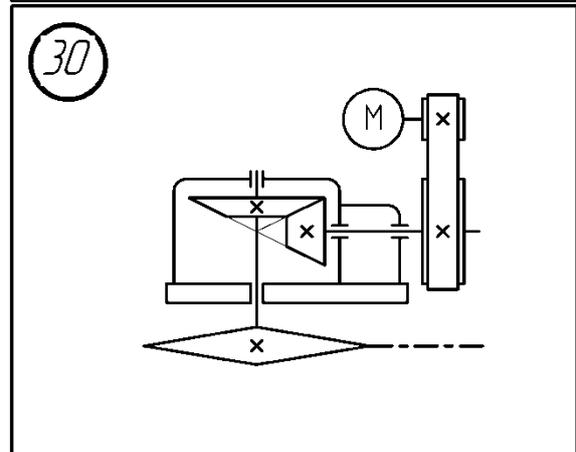
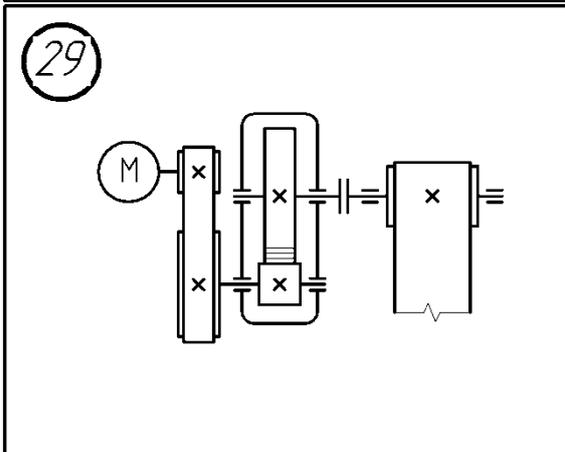
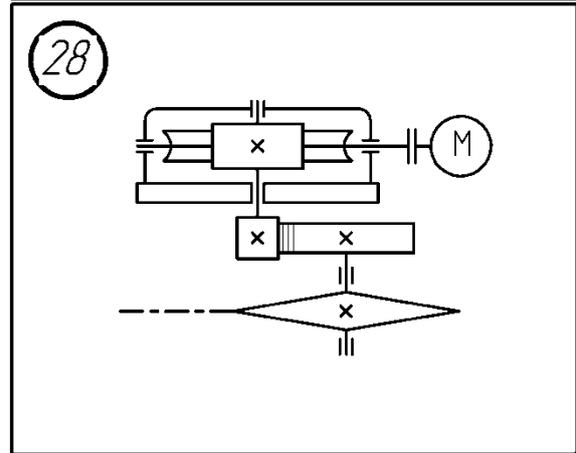
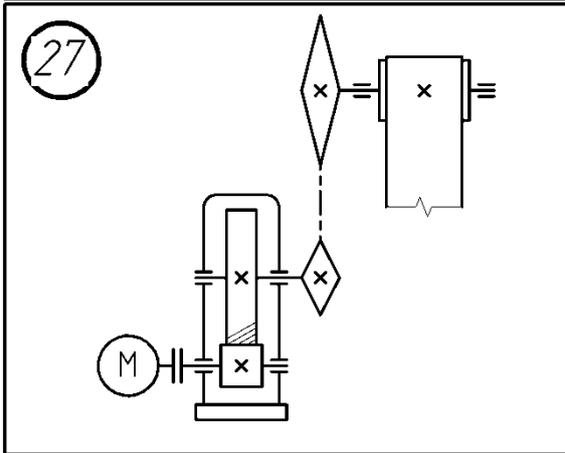
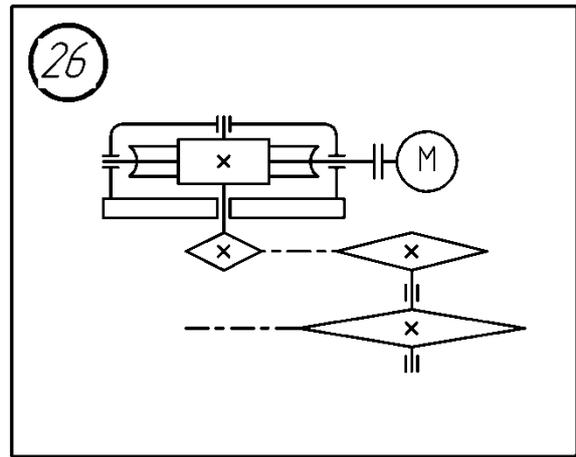
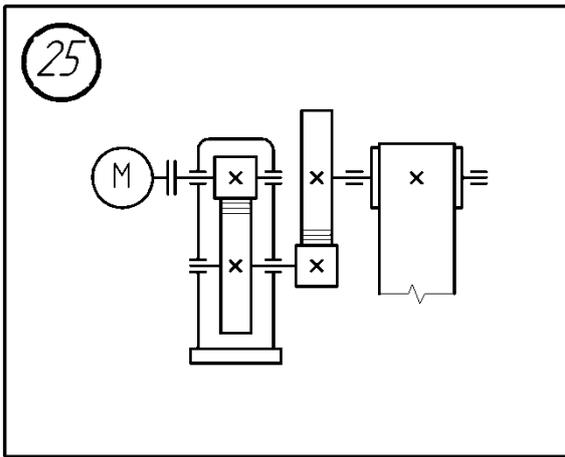


Рисунок 1 – Варианты кинематических схем, лист 4

Таблица 1 – Типы редукторов и открытых передач в приводах

Закрытая передача	Открытая передача		
	Клиноременная	Цепная, приводной роликковой цепью	Зубчатая цилиндрическая, прямозубая
Редуктор цилиндрический одноступенчатый горизонтальный (прямозубый)	29-ПЛТ	19-ПЛТ	22-ПЦК
Редуктор цилиндрический одноступенчатый вертикальный (прямозубый)	4-ПЦК	10-ПЦК	25-ПЛТ
Редуктор цилиндрический одноступенчатый горизонтальный (косозубый)	1-ПЛТ	7-ПЛТ	16-ПЦК
Редуктор цилиндрический одноступенчатый вертикальный (косозубый)	23-ПЛТ	27-ПЛТ	13-ПЛТ
Редуктор конический одноступенчатый горизонтальный (прямозубый)	11-ПЛТ	14-ПЦК	8-ПЦК
Редуктор конический одноступенчатый с вертикальным тихоходным валом (прямозубый)	30-ПЦК	20-ПЦК	2-ПЦК
Редуктор конический одноступенчатый с вертикальным быстроходным валом (прямозубый)	17-ПЛТ	21-ПЛТ	5-ПЛТ
Редуктор червячный одноступенчатый с нижним расположением червяка	9-ПЛТ	6-ПЦК	3-ПЛТ
Редуктор червячный одноступенчатый с верхним расположением червяка	18-ПЦК	15-ПЛТ	12-ПЦК
Редуктор червячный одноступенчатый с боковым расположением червяка	24-ПЦК	26-ПЦК	28-ПЦК

С типами и конструкцией редукторов и назначением их деталей следует ознакомиться по работам [1, 3 – 7].

С типами и конструкцией открытых передач и назначением всех их деталей следует ознакомиться по работам [4, 5, 6].

Кроме того, с элементами кинематических схем и основными правилами оформления этих схем следует ознакомиться по работе [6, 7].

Таблица 2 – Исходные данные к курсовому проекту

<b>Привод ленточного транспортера ПЛТ</b>										
<b>Параметр</b>	<b>Значение параметров</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Диаметр барабана <i>D, м</i>	0,4	0,2	0,3	0,35	0,5	0,4	0,25	0,4	0,4	0,5
Тяговое усилие на ленте <i>F, кН</i>	2	5	4	4	3,2	4,5	8	5,5	3	5
Скорость ленты <i>V, м/с</i>	0,8	0,9	0,6	1,4	1,5	1,4	0,5	0,7	1,0	1,2
<b>Привод цепного конвейера ПЦК</b>										
<b>Параметр</b>	<b>Значение параметров</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Диаметр звездочки <i>D, м</i>	0,8	0,4	0,55	0,4	0,5	0,8	0,4	0,4	0,6	0,8
Тяговое усилие на цепи <i>F, кН</i>	2,2	5	4	6	4	3,5	7,5	8	4	5
Скорость цепи <i>V, м/с</i>	1,5	1,2	1,1	0,9	1,0	1,4	0,9	0,8	1,5	1,3
<b>Общие параметры для ПЛТ и ПЦК</b>										
Нагрузка	Постоянная									
Вид передач	Не реверсивные									
Срок службы привода	10 лет при работе в одну смену									
Срок службы подшипников	20000 часов									
Группа										

### 3 Задачи кинематического расчета привода

3.1 Подобрать электродвигатель.

3.2 Определить общее передаточное число привода и разбить его между ступенями.

3.3 Определить угловые скорости и частоты вращения валов.

3.4 Определить мощность и вращающий момент на каждом валу.

### 4 Последовательность выполнения кинематического расчета

#### 4.1 Изучение кинематической схемы и нумерация валов

Вычерчивается кинематическая (структурная) схема и нумеруются цифрами валы привода, начиная с вала электродвигателя (смотри пример выполнения кинематического расчета), последний вал является рабочим валом конвейера (транспортера). Записываются названия валов. Выписываются исходные данные из [таблицы 2](#). Выписываются из [таблицы 1](#) полные названия закрытой и открытой передач.

#### 4.2 Выбор электродвигателя

Электродвигатель выбирается по требуемой мощности  $P_{эд}^{mp}$ , кВт, и требуемой частоте вращения его вала  $n_{эд}^{mp}$ , об/мин ( $мин^{-1}$ ).

Требуемая мощность электродвигателя  $P_{эд}^{mp}$ , кВт:

$$P_{эд}^{mp} = \frac{P_{p.в.}}{\eta_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где  $P_{p.в.}$  – мощность на валу рабочего органа привода, кВт:

$$P_{p.в.} = F \times V, \quad (2)$$

Примечание: единицы измерения:  $кН \times м / с = кВт$ .

Общий КПД привода  $\eta_{\Sigma}$  равен произведению частных КПД:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{з.п.} \times \eta_{о.п.} \times \eta_{м} \times \eta_{п.п.}^n, \quad (3)$$

где  $\eta_{з.п.}$  – средние значения КПД закрытой передачи (редуктора):

– цилиндрической – 0,97;

– конической – 0,96;

– червячной – 0,7.

$\eta_{о.п.}$  – средние значения КПД открытой передачи:

– цепной – 0,91;

– ременной – 0,95;

– зубчатой – 0,94.

$\eta_{м} = 1$  – КПД муфты;

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

$n$  – число пар подшипников.

Значения диапазонов КПД передач различных типов и подшипников приведены в [таблице А.1](#) приложения А.

Требуемая частота вращения вала электродвигателя  $n_{эд}^{mp}$ , об / мин (мин<sup>-1</sup>):

$$n_{эд}^{mp} = \frac{30 \times \omega_{р.в.} \times u_{\Sigma}^{pek}}{\pi}, \quad (4)$$

где  $\omega_{р.в.}$  – угловая скорость рабочего вала, рад / с (с<sup>-1</sup>):

$$\omega_{р.в.} = \frac{2V}{D}, \quad (5)$$

$u_{\Sigma}^{рек}$  – **ВОЗМОЖНОЕ** среднее рекомендуемое передаточное число привода:

$$u_{\Sigma}^{рек} = u_{з.п.} \times u_{о.п.}, \quad (6)$$

где  $u_{з.п.}$  – **рекомендуемое** передаточное число закрытой передачи:

- цилиндрической – 4;
- конической – 3;
- червячной – 25;

$u_{о.п.}$  – **рекомендуемое** передаточное число открытой передачи:

- цепной – 3;
- ременной – 2,5;
- зубчатой – 4.

Значения диапазонов передаточных чисел передач приведены в [таблице А.2](#) приложения А.

В соответствии с требуемой мощностью электродвигателя –  $P_{эд}^{мп}$  и требуемой частотой вращения вала электродвигателя –  $n_{эд}^{мп}$  выбирается по [таблице А.3](#) приложения А тип электродвигателя, его мощность  $P_{эд}$ , кВт (ближайшая большая мощность) и частота вращения  $n_{эд}$ , об/мин (ближайшая величина). Допускается перегрузка электродвигателя по мощности не более, чем на 5 %. Параметры выбранного электродвигателя заносят в таблицу 3.

Таблица 3 – Технические характеристики выбранного электродвигателя

Тип двигателя	Исполнение	Мощность, кВт	Число полюсов	Частота вращения, об/мин	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Диаметр вала, мм

В зависимости от кинематической схемы привода выбирается соответствующий вид исполнения электродвигателя, а затем выполняется его эскиз в двух проекциях с простановкой габаритных, установочных и присоединительных размеров ([таблицы А.5](#) и [А.6](#) приложения А, [рисунок А.1](#) приложения А).

Поскольку в заданиях предусмотрены приводы к машинам, работающим при длительной постоянной или незначительно меняющейся нагрузке, проверка электродвигателя на нагрев не обязательна.

#### 4.3 Определение общего передаточного числа $u_{\Sigma}^*$ привода и разбивка его между отдельными ступенями

**Примечание:** Окончательно принятые параметры будут обозначаться с индексом (\*).

При известных характеристиках электродвигателя общее передаточное число привода определяется по формуле:

$$u_{\Sigma}^* = \frac{\omega_{\text{эд}}}{\omega_{\text{р.в.}}}, \quad (7)$$

где  $\omega_{\text{эд}}$  – угловая скорость вала электродвигателя, *рад/с*:

$$\omega_{\text{эд}} = \frac{\pi \times n_{\text{эд}}}{30}. \quad (8)$$

С другой стороны общее передаточное число привода равно:

$$u_{\Sigma}^* = u_{\text{з.п.}} \times u_{\text{о.п.}}, \quad (9)$$

Тогда из уравнений (7) и (9) передаточное число закрытой передачи:

$$u_{з.п.} = \frac{u_{\Sigma}^*}{u_{о.п.}}, \quad (10)$$

где  $u_{о.п.}$  – рекомендуемое передаточное число открытой передачи, принятое ранее в формуле (6).

Полученное значение  $u_{з.п.}$  округляется до стандартного значения  $u_{з.п.}^*$  по [таблице А.4](#) приложения А, таким образом, чтобы его значение было больше минимального и меньше максимального значения для данного типа передачи ([таблица А.2](#) приложения А).

Уточняется передаточное число открытой передачи привода:

$$u_{о.п.}^* = \frac{u_{\Sigma}^*}{u_{з.п.}^*}. \quad (11)$$

Полученное значение  $u_{о.п.}^*$  не округляется до стандартного значения, а проверяется, чтобы его значение было больше минимального и меньше максимального значения для данного типа передачи ([таблица А.2](#) приложения А). В случае, если  $u_{о.п.}^*$  выходит из диапазона, необходимо изменить значение  $u_{з.п.}^*$  и пересчитать  $u_{о.п.}^*$ . **Наиболее оптимальным, с точки зрения габаритов и компоновки привода, являются такие передаточные отношения, когда  $u_{з.п.}^*$  – больше среднего значения, а  $u_{о.п.}^*$  – меньше среднего значения ([таблица А.2](#) приложения А).**

#### 4.4 Определение угловых скоростей валов привода

Угловая скорость 1-го вала равна угловой скорости вала электродвигателя  $рад/с$  ( $c^{-1}$ ):

$$\omega_1 = \omega_{эд}. \quad (12)$$

Угловая скорость каждого последующего вала  $\omega_{i+1}$ ,  $rad/c$  ( $c^{-1}$ ), определяется по формуле:

$$\omega_{i+1} = \frac{\omega_i}{u_{i,i+1}}, \quad (13)$$

где  $\omega_i$  – угловая скорость  $i$ -го вала;

$u_{i,i+1}$  – передаточное число передачи между  $i$ -м и  $(i+1)$ -м валом.

**Примечания:**

1. Угловая скорость последнего вала должна быть равна угловой скорости рабочего вала –  $\omega_{p.с.}$  ([формула 5](#)), допускается расхождение на  $0,01 rad/c$ .

2. Если валы соединены муфтой, то их угловые скорости равны –  $\omega_{i+1} = \omega_i$ .

#### 4.5 Определение частот вращения валов

Частота вращения  $n_i$ ,  $об/мин$  каждого  $i$ -го вала, определяется общей формулой:

$$n_i = \frac{30 \times \omega_i}{\pi}. \quad (14)$$

**Примечание:** Частота вращения 1-го вала это частота вращения вала электродвигателя, она не рассчитывается по формуле 14, а принимается по [таблице 3](#).

#### 4.6 Определение мощностей на валах привода

Мощность на первом валу –  $P_1$  равна **требуемой** мощности электродвигателя –  $P_{эд}^{mp}$ ,  $кВт$ .

Мощность на каждом последующем валу  $P_{i+1}, кВт$ , определяется следующей формулой:

$$P_{i+1} = P_i \times \eta_i \times \eta_{n.n.}, \quad (15)$$

где  $P_i$  – мощность на  $i$ -м валу;

$\eta_i$  – КПД передачи или муфты, расположенной между  $i$ -м и  $(i+1)$ -м валом;

$\eta_{n.n.}$  – КПД одной пары подшипников качения.

**Примечание:** Мощность на последнем валу равна мощности на валу рабочего органа привода –  $P_{p.в.}$  ([формула 2](#)), допускается расхождение не более чем на  $0,01 кВт$ .

#### 4.7 Определение вращающих моментов на валах привода

Вращающий момент  $T_i, кН \cdot м$ , на  $i$ -м валу определяется общей формулой:

$$T_i = \frac{P_i}{\omega_i}. \quad (16)$$

**Примечание:**

1. Размерность  $\frac{кВт}{рад/с} = кН \cdot м$ .

2. Момент на последнем валу равен моменту на валу рабочего органа привода  $кН \cdot м$ :

$$T_{p.в.} = F \cdot \frac{D}{2}. \quad (17)$$

3. Допускается расхождение не более чем на  $0,01 кН \cdot м$ .

#### 4.8 Анализ результатов кинематического расчета

Анализируются результаты кинематического расчета привода согласно следующим соотношениям:

$$\omega_1 = \omega_{эд}; \quad \omega_1 \geq \omega_2 \geq \omega_3 \geq \omega_4; \quad \omega_{\text{последнего вала}} = \omega_{\text{р.в.}};$$

$$n_1 = n_{эд}; \quad n_1 \geq n_2 \geq n_3 \geq n_4;$$

$$P_1 = P_{эд}^{мп}; \quad P_1 \geq P_2 \geq P_3 \geq P_4; \quad P_{\text{последнего вала}} = P_{\text{р.в.}};$$

$$T_{\text{последнего вала}} = T_{\text{р.в.}}; \quad T_1 \leq T_2 \leq T_3.$$

Результаты кинематического привода сводятся в таблицу 4, данные которой используются в дальнейшем при расчете передач, валов, соединений, муфт и т.д.

Таблица 4 – Результаты кинематического расчета привода

Валы привода	Величины				Передаточные числа
	$\omega$ , рад/с	$n$ , об/мин	$P$ , кВт	$T$ , кН·м	
1	$\omega_1$	$n_1$	$P_1$	$T_1$	$u_{0.n.}^* = \dots$
2	$\omega_2$	$n_2$	$P_2$	$T_2$	
3	$\omega_3$	$n_3$	$P_3$	$T_3$	
4 раб. вал	$\omega_4$	$n_4$	$P_4$	$T_4$	$u_{3.n.}^* = \dots$

## 5 Пример кинематического расчета привода

### 5.1 Изучение кинематической схемы и нумерация валов

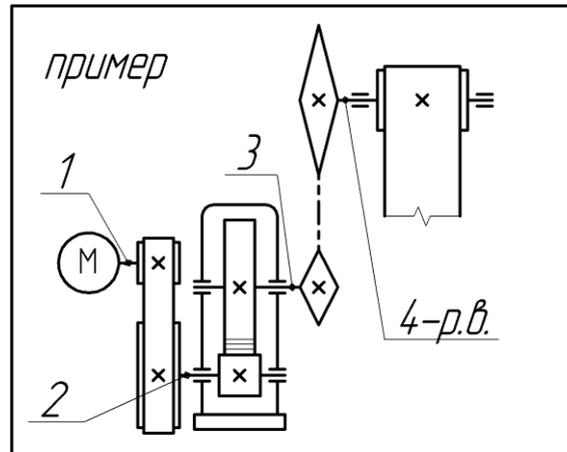


Рисунок 2 – Кинематическая схема привода ленточного транспортера

Исходные данные:

- тяговое усилие и на ленте –  $F = 8 \text{ кН}$ ;
- скорость движения ленты –  $V = 0,5 \text{ м/с}$ ;
- диаметр барабана –  $D = 0,5 \text{ м}$ ;
- нагрузка – постоянная;
- вид передачи – нереверсивные;
- срок службы привода – 10 лет при работе в одну смену;
- срок службы подшипников – 20000 час;

Вычерчиваем кинематическую схему и нумеруем цифрами валы привода, начиная с вала электродвигателя, последний вал является рабочим валом ленточного транспортера. В соответствии с номером варианта по [приложению к таблице 1](#) определяем, что данная схема является приводом ленточного транспортера (ПЛТ) и состоит из электродвигателя, открытой клиноременной передачи, цилиндрического одноступенчатого горизонтального прямозубого редуктора, открытой цепной передачи и рабочего вала транспортера с барабаном.

Нумерация валов:

- 1 – вал электродвигателя;

- 2 – быстроходный вал редуктора;
- 3 – тихоходный вал редуктора;
- 4 – рабочий вал ленточного транспортера.

## 5.2 Выбор электродвигателя

5.2.1 Требуемая мощность электродвигателя:

$$P_{эд}^{тр} = \frac{P_{р.в.}}{\eta_{\Sigma}} = \frac{4}{0,814} = 4,914 \text{ кВт},$$

где  $P_{р.в.}$  – мощность на валу рабочего органа привода:

$$P_{р.в.} = F \times V = 8 \times 0,5 = 4 \text{ кВт}.$$

Примечание: единицы измерения:  $\text{кН} \times \text{м} / \text{с} = \text{кВт}$ .

Общий КПД привода равен произведению частных КПД:

$$\begin{aligned} \eta_{\Sigma} &= \eta_{\text{о.клинорем.п.}} \times \eta_{\text{з.цилиндрич.}} \times \eta_{\text{о.цепной.п.}} \times \eta_{\text{пп}}^3 = \\ &= 0,95 \times 0,97 \times 0,91 \times 0,99^3 = 0,813658 \approx 0,814. \end{aligned}$$

Средние значения КПД принимаем согласно [п. 4.2](#) настоящих методических указаний. Значения диапазонов КПД передач различных типов и подшипников приведены в [таблице А.1](#) приложения А.

5.2.2 Требуемая частота вращения вала электродвигателя:

$$n_{эд}^{тр} = \frac{30 \times \omega_{р.в.} \times u_{\Sigma}^{рек}}{\pi} = \frac{30 \times 2 \times 30}{3,14} = 573,28 \text{ об/мин},$$

где  $\omega_{р.в.}$  – угловая скорость рабочего вала:

$$\omega_{p.в.} = \frac{2V}{D} = \frac{2 \times 0,5}{0,5} = 2 \text{ рад/с};$$

возможное среднее рекомендуемое передаточное число привода:

$$u_{\Sigma}^{рек} = u_{o.клиноремп.} \times u_{з.цилиндри.} \times u_{o.цепной.п} = \\ = 2,5 \times 4 \times 3 = 30.$$

Средние значения передаточных чисел принимаем согласно [п. 4.2](#) настоящих методических указаний. Значения диапазонов передаточных чисел передач приведены в [таблице А.2](#) приложения А.

### 5.2.3 Выбор электродвигателя

В соответствии с требуемой мощностью электродвигателя –  $P_{эд}^{mp}$  (ближайшая, большая мощность) и требуемой частотой вращения вала –  $n_{эд}^{mp}$  электродвигателя (ближайшая величина) выбираем по [таблице А.4](#) приложения А электродвигатель АИР132М8. Параметры выбранного электродвигателя заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Технические характеристики выбранного электродвигателя

Тип двигателя	Исполнение	Мощность, кВт	Число полюсов	Частота вращения, об/мин	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Диаметр вала, мм
АИР132М8	1М1081	5,5	8	712	2,2	38

Поскольку привод ленточного транспортера работает при длительной постоянной и незначительно меняющейся нагрузке, проверку электродвигателя на нагрев не проводим.

### 5.3 Определение общего передаточного числа $u_{\Sigma}$ привода и разбивка его между отдельными ступенями

**Примечание:** Окончательно принятые параметры будем обозначать с индексом (\*).

При известных характеристиках электродвигателя общее передаточное число определяется по формуле:

$$u_{\Sigma}^* = \frac{\omega_{эд}}{\omega_{р.в.}} = \frac{74,52}{2} = 37,26,$$

где  $\omega_{эд}$  – угловая скорость вала электродвигателя:

$$\omega_{эд} = \frac{\pi \times n_{эд}}{30} = \frac{3,14 \times 712}{30} = 74,52 \text{ рад/с.}$$

С другой стороны общее передаточное число равно:

$$u_{\Sigma}^* = u_{о.клинорем.п.} \times u_{з.цилиндрич.} \times u_{о.цепной.п.}.$$

Тогда передаточное число закрытой цилиндрической передачи:

$$u_{з.п.} = \frac{u_{\Sigma}^*}{u_{о.клинорем.п.} \times u_{о.цепной.п.}} = \frac{37,26}{2,5 \times 3} = 4,97.$$

Полученное значение  $u_{з.п.}$  округляем до стандартного значения  $u_{з.п.}$  по [таблице А.3](#) приложения А, таким образом, чтобы его значение было больше минимального и меньше максимального значения для данного типа передачи ([таблица А.2](#) приложения А):

$$u_{з.п.}^* = 5.$$

Уточняем передаточное число открытой клиноременной передачи привода:

$$u_{о.клинорем.п.} = \frac{u_{\Sigma}^*}{u_{з.п.}^* \times u_{о.цепной.п.}} = \frac{37,26}{5 \times 3} = 2,48,$$

полученное значение округляем до стандартного значения:

$$u_{o.клинорем.п.}^* = 2,5.$$

Уточняем передаточное число открытой цепной передачи привода:

$$u_{o.цепной.п.}^* = \frac{u_{\Sigma}^*}{u_{з.п.}^* \times u_{o.клиноремп.п.}^*} = \frac{37,26}{5 \times 2,5} = 2,98.$$

Полученное значение  $u_{o.цепной.п.}^*$  **не округляем** до стандартного значения для того, чтобы обеспечить требуемую скорость движения ленты транспортера.

#### 5.4 Определение угловых скоростей валов

Угловая скорость 1-го вала равна угловой скорости вала электродвигателя:

$$\omega_1 = \omega_{эд} = 74,52 \text{ рад/с}.$$

Угловая скорость последующих валов согласно [формуле \(13\)](#):

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{o.клинорем.п.}} = \frac{74,52}{2,5} = 29,81 \text{ рад/с};$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_{з.цилиндр.п.}} = \frac{29,81}{5} = 5,96 \text{ рад/с};$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_3}{u_{o.цепной.п.}} = \frac{5,96}{2,98} = 2 \text{ рад/с}.$$

Проверка:  $\omega_4 \equiv \omega_{р.в.} = 2 \text{ рад/с}.$

## 5.5 Определение частот вращения валов

$$n_1 = n_{\text{эд}} = 712 \text{ об / мин};$$

$$n_2 = \frac{30 \times \omega_2}{\pi} = \frac{30 \times 29,81}{3,14} = 284,8 \text{ об / мин};$$

$$n_3 = \frac{30 \times \omega_3}{\pi} = \frac{30 \times 5,96}{3,14} = 56,96 \text{ об / мин};$$

$$n_4 = \frac{30 \times \omega_4}{\pi} = \frac{30 \times 2}{3,14} = 19,1 \text{ об / мин}.$$

## 5.6 Определение мощностей на валах

$$P_1 = P_{\text{эд}}^{\text{мп}} = 4,914 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \times \eta_{\text{о.клинорем.п.}} \times \eta_{\text{н.п.}} = 4,914 \times 0,95 \times 0,99 = 4,622 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \times \eta_{\text{з.цилиндрич.}} \times \eta_{\text{н.п.}} = 4,622 \times 0,97 \times 0,99 = 4,439 \text{ кВт};$$

$$P_4 = P_3 \times \eta_{\text{о.цепной.п.}} \times \eta_{\text{н.п.}} = 4,439 \times 0,91 \times 0,99 = 3,999 \text{ кВт}.$$

Проверка:  $P_4 \equiv P_{\text{р.б}} = 4 \text{ кВт}.$

## 5.7 Определение вращающих моментов на валах

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{4,914}{74,52} = 0,066 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{4,622}{29,81} = 0,155 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{4,439}{5,96} = 0,745 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_4 = \frac{P_4}{\omega_4} = \frac{4}{2} = 2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент на валу рабочего органа привода согласно [формуле \(17\)](#):

$$T_{p.v} = F \times \frac{D}{2} = 8 \times \frac{0,5}{2} = 2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проверка:  $T_4 \equiv T_{p.v} = 2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$

### 5.8 Анализ результатов кинематического расчета привода

Проверяем соответствие полученных результатов расчетов следующим соотношениям:

$$\omega_1 = \omega_{эд}; \quad \omega_1 \geq \omega_2 \geq \omega_3 \geq \omega_4; \quad \omega_{\text{последнего вала}} = \omega_{p.v};$$

$$n_1 = n_{эд}; \quad n_1 \geq n_2 \geq n_3 \geq n_4;$$

$$P_1 = P_{эд}^{mp}; \quad P_1 \geq P_2 \geq P_3 \geq P_4; \quad P_{\text{последнего вала}} = P_{p.v};$$

$$T_{\text{последнего вала}} = T_{p.v}; \quad T_1 \leq T_2 \leq T_3.$$

Все условия выполняются.

### 5.9 Результаты расчета

Результаты расчета сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты кинематического расчета привода – «Пример»

Валы привода	Величины				Передаточные числа
	$\omega$ , рад/с	$n$ , об/мин	$P$ , кВт	$T$ , кН·м	
1	74,52	712	4,914	0,066	$u_{o.клинорем.п.}^* = 2,5$
2	29,81	284,8	4,622	0,155	
3	5,96	56,96	4,439	0,745	
4 раб. вал	2	19,1	4	2	$u_{o.цепной.п.}^* = 2,98$

## Список использованных источников

1. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. техн. спец. вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с. ISBN 5-7695-1041-2.
2. Иванов, М.Н. Детали машин: учебник для машиностр. спец. вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М.: Высшая школа, 2002. – 408 с.: ил.
3. Чернавский, С.А. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. Пособие / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: ИНФРА-М, 2014.– 414 с.; ил. ISBN 978-5-16-004336-4.
4. Решетов, Д.Н. Детали машин: Атлас конструкций: учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов. В 2-х ч. / Б.А. Байков, В.Н. Богачев, А.В. Буланже и др.: Под общ. ред. д-ра техн. наук проф. Д.Н. Решетова. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. - 352 с.: ил. ISBN 5-217-01507-1.
5. Курмаз, Л.В. Детали машин. Проектирование: справочное учебно-методическое пособие / Л.В. Курмаз, А.Т. Скойбеда. – 2-е изд., испр.: – М.: Высш. Шк., 2005. – 309 с.: ил. ISBN 5-06-004806-3.
6. Цехнович, Л.И. Атлас конструкций редукторов: учеб. пособие для технических вузов / Л.И. Цехнович, И.П. Петриченко.– 2-е изд., перераб. и доп. – Киев.: Выща школа, 1990. – 150 с.: ил. ISBN 5-11- 002156-2.
7. Шейнблит, А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие. Изд-е 2-е. перераб. и дополн. – Калининград: Янтар. сказ, 2002. – 454 с.: ил., черт. – Б. ц.

## Приложение А

(справочное)

Таблица А.1 – Диапазон значений КПД механических передач, муфт и подшипников качения

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая цилиндрическая	0,96–0,98	0,93–0,95
Зубчатая коническая	0,95–0,97	0,92–0,94
Червячная при числе заходов червяка		
$z_1 = 1$	0,65–0,70	0,50–0,60
$z_1 = 2$	0,70–0,75	0,60–0,70
$z_1 = 4$	0,85–0,90	
Цепная передача	0,95–0,97	0,90–0,93
Ременная передача		0,94–0,97
Муфта	0,98–1,00	
Одна пара подшипников конечная	0,990–0,995	

Таблица А.2 – Диапазоны передаточных чисел передач

Вид передачи	Минимальные значения	Максимальные значения	Предельные значения
Зубчатая цилиндрическая закрытая	2	6,3	12,5
Зубчатая коническая закрытая	2	4	6,3
Червячная закрытая	10	40	80
Зубчатая цилиндрическая открытая	3	7	15–20
Цепная передача	2	6	8
Ременная передача	2	5	6

Таблица А.3 – Стандартные передаточные числа редукторов и их отдельных ступеней

1. Одноступенчатый цилиндрический								
1-й ряд	2	2,5	3,15	4	5	6,3		
2-й ряд	2,24	2,8	3,55	4,5	5,6	7,1		
2. Одноступенчатый конический								
1-й ряд	2	2,5	3,15	4				
2-й ряд	2,24	2,8	3,55	4,5				
3. Червячный одноступенчатый								
1-й ряд	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50

Таблица А.4 – Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые, серии АИР.

Технические данные по ТУ16–525.564–84

Мощность $P_{эд}$ , кВт	$n_c = 3000 \text{ мин}^{-1}$			$n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$			$n_c = 1000 \text{ мин}^{-1}$			$n_c = 750 \text{ мин}^{-1}$		
	Тип двигателя	$n_{эд}$ , $\text{мин}^{-1}$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Тип двигателя	$n_{эд}$ , $\text{мин}^{-1}$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Тип двигателя	$n_{эд}$ , $\text{мин}^{-1}$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Тип двигателя	$n_{эд}$ , $\text{мин}^{-1}$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$
0,37	–	–	–	–	–	–	АИР71А6	915	2,2	–	–	–
0,55	–	–	–	АИР71А4	1357	2,2	АИР71В6	915	2,2	–	–	–
0,75	АИР71А2	2820	2,2	АИР71В4	1350	2,2	АИР80А6	920	2,2	АИР90LА8	705	2,2
1,1	АИР71В2	2805	2,2	АИР80А4	1395	2,2	АИР80В6	920	2,2	АИР90LВ8	715	2,2
1,5	АИР80А2	2850	2,2	АИР80В4	1395	2,2	АИР90L6	925	2,2	АИР100L8	702	2,2
2,2	АИР80В2	2850	2,2	АИР90L4	1395	2,2	АИР100L6	945	2,2	АИР112МА8	709	2,2
3,0	АИР90L2	2850	2,2	АИР100S4	1410	2,2	АИР112МА6	950	2,2	АИР112МВ8	709	2,2
4,0	АИР100S2	2850	2,2	АИР100L4	1410	2,2	АИР112МВ6	950	2,2	АИР132S8	716	2,2
5,5	АИР100L2	2850	2,2	АИР112М4	1432	2,2	АИР132S6	960	2,2	АИР132М8	712	2,2
7,5	АИР112М2	2895	2,2	АИР132S4	1440	2,2	АИР132М6	960	2,2	АИР160S8	727	2,4
11,0	АИР132М2	2910	2,2	АИР132М4	1447	2,2	АИР160S6	970	2,5	АИР160М8	727	2,4
15,0	АИР160S2	2910	2,7	АИР160S4	1455	2,9	АИР160М6	970	2,6	АИР180М8	731	2,2
18,5	АИР160М2	2910	2,7	АИР160М4	1455	2,9	АИР180М6	980	2,4	–	–	–
22,0	АИР180S2	2919	2,7	АИР180S4	1462	2,4	–	–	–	–	–	–
30,0	АИР180М2	2925	2,7	АИР180М4	1470	2,7	–	–	–	–	–	–

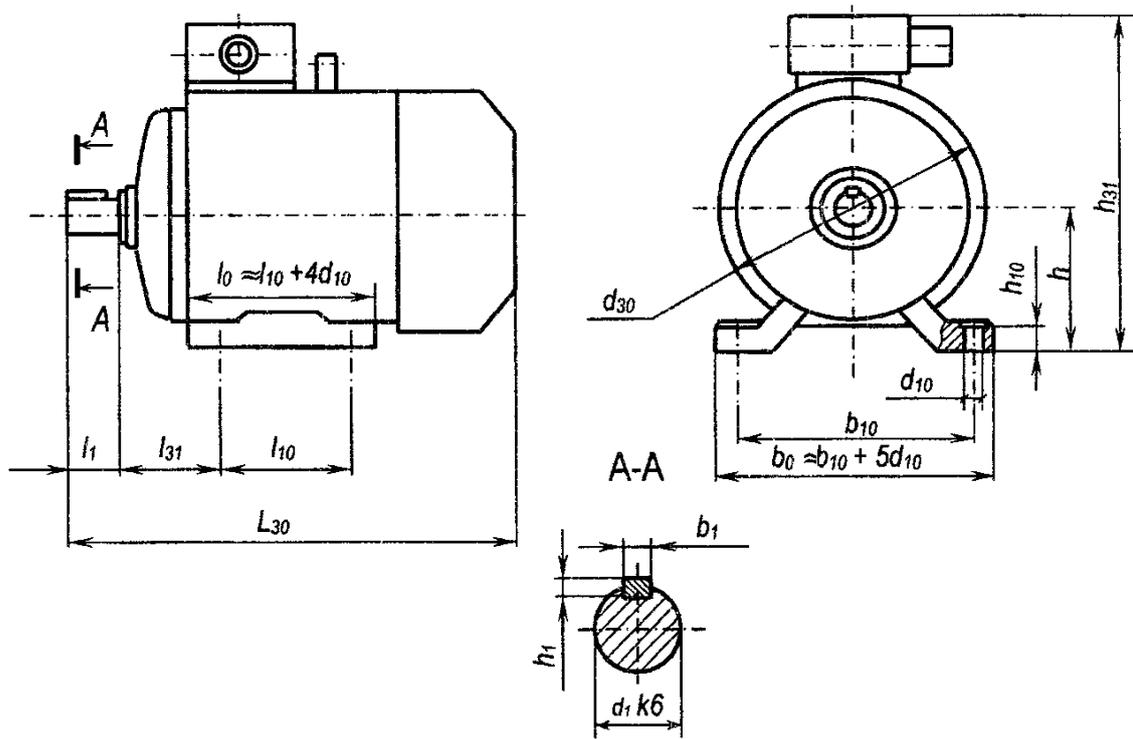
Таблица А.5 – Двигатели АИР исполнения 1М1081 ТУ16–525.564–84. Основные размеры

Тип двигателя	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочные и присоединительные размеры, мм										Масса, кг
		$l_{30}$	$h_{31}$	$d_{30}$	$l_1$	$l_{10}$	$l_{31}$	$d_1$	$h_1$	$d_{10}$	$b_1$	$b_{10}$	$h$	$h_{10}$	
АИР71	2,4,6,8	273	188	170	40	90	45	19	6	7	6	112	71	9	15,1
АИР80А		297	205	190	50	100	50	22		10		125	80	10	17,5
АИР80В		321	205			125	80	20							
АИР90L		337	225	210		125	56	24	8	140	90	11	28,7		
АИР100S		360	247	240	60	112	63	28	7			160	100	12	36
АИР100L		391	247		60	112	63	28							42
АИР112M		435	285	246	80	140	70	32	8	12	10	190	112	12	56
АИР132S		4,6,8	460	325			288	140							70
АИР132M	2,4,6,8	498	178			89			38	216	132	13	93		
АИР160S	2	630	385	334	178	108	42	9	15	12	254	160	18	130	
	4,6,8						48			14				135	
АИР160M	2	660	385	334	210	108	42	8	15	12	254	160	18	145	
	4,6,8						48			14				160	
АИР180S	2	630	448	375	110	203	48	9	15	14	279	180	20	165	
	4,6,8						55			10				16	175
АИР180M	2	680	448	375	241	121	48	9	15	14	279	180	20	185	
	4,6,8						55			10				16	195

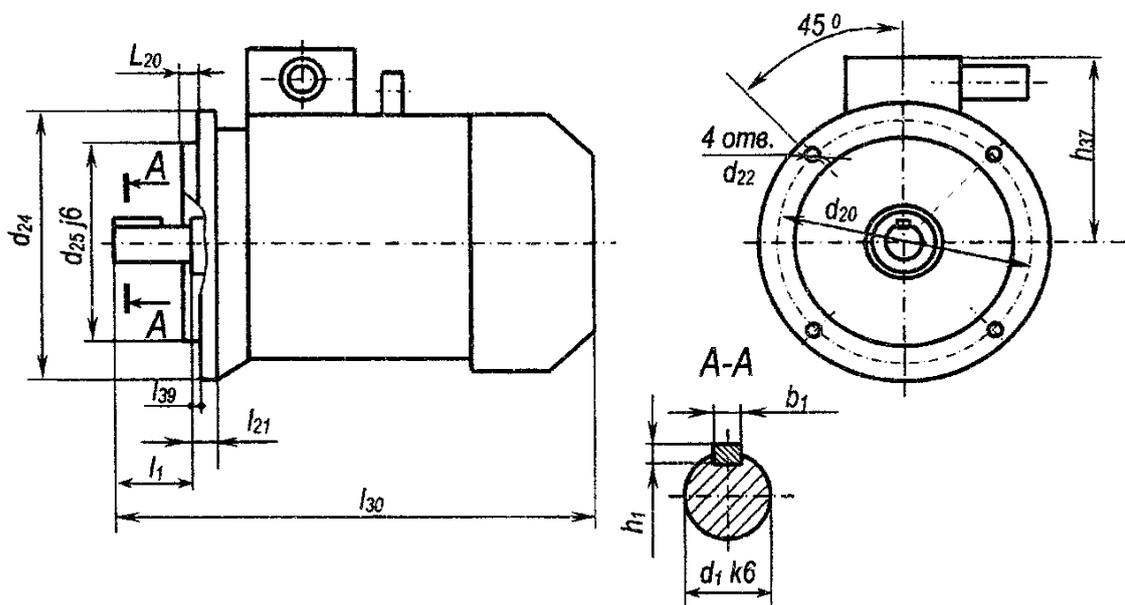
Таблица А.6 – Двигатели АИР исполнения 1М3081 ТУ16–525.564–84. Основные размеры

Тип двигателя	Число полюсов	Габаритные, установочные и присоединительные размеры, мм											Масса, кг						
		$L_{30}$	$h_{37}$	$d_{24}$	$l_1$	$l_{20}$	$l_{21}$	$d_1$	$d_{20}$	$d_{22}$	$d_{25}$	$b_1$		$h_1$					
АИР71	2,4,6,8	273	117	200	40	3,5	10	19	165	12	130	6	6	15,7					
АИР80А		297	125		50			22						215	15	180	8	7	18,3
АИР80В		321																	20,3
АИР90L		337	135	250	60	4	12	24	265	15	230	10	8	30					
АИР100S		360	147				80							14	28	19	215	15	180
АИР100L		391		42,8															
АИР112М		435	173	300	110	5	15	42	300	19	250	12	9	58					
АИР132S		4,6,8	460	193										18	38	48	300	19	250
АИР132М	2,4,6,8	498	97																
АИР160М	2	630	225	350	110	5	15	42	300	19	250	12	8	145					
	4,6,8													14	9	160			
АИР160S	2	660	260	400	110	5	15	42	300	19	250	12	8	130					
	4,6,8													14	9	135			
АИР180S	2	630	260	400	110	5	18	48	350	19	300	14	9	170					
	4,6,8													16	10	180			
АИР180М	2	680	260	400	110	5	18	48	350	19	300	14	9	190					
	4,6,8													16	10	200			

Примечание –  $c = l_2 - l_1$



a)



б)

Рисунок А.1 – Электродвигатели исполнений:

а) 1М1081;

б) 1М3081.