

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Г.А. Клещарева, С.Ю. Решетов, Ю.А. Чирков

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СИЛОВОГО ПРИВОДА

Методические указания

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 24.03.04 Авиастроение, 27.03.01 Стандартизация и метрология, 27.03.02 Управление качеством

Оренбург
2019

УДК 621.83(076.5)
ББК 34.445я7
К48

Рецензент – профессор, доктор технических наук А.Н. Поляков

Клещарева, Г.А.
К48 Кинематический расчёт силового привода: методические указания /
Г.А. Клещарева, С.Ю. Решетов, Ю.А. Чирков; Оренбургский гос. ун-т. –
Оренбург: ОГУ, 2019. – 32 с.

Методические указания предназначены для выполнения кинематических расчетов силовых приводов машин в курсовых проектах, работах и других видах самостоятельной работы по дисциплинам «Детали машин», «Детали машин и основы конструирования», «Механика», «Прикладная механика» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 24.03.04 Авиастроение, 27.03.01 Стандартизация и метрология, 27.03.02 Управление качеством. Данные указания также могут быть полезны при выполнении отдельных разделов выпускных квалификационных работ.

УДК 621.83(076.5)
ББК 34.445я7

© Клещарева Г.А.,
Решетов С.Ю.,
Чирков Ю.А., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение	4
1 Описание кинематических схем силовых приводов	7
2 Исходные данные для проектирования приводов	12
3 Последовательность кинематического расчета	14
4 Общие сведения о рассматриваемых силовых приводах.....	15
4.1 Общие сведения о приводе, выполненном по варианту 13	15
4.2 Общие сведения о приводе, выполненном по варианту 21	16
4.3 Общие сведения о приводе, выполненном по варианту 26	17
5 Выбор электродвигателя	18
6 Определение основных кинематических характеристик привода.....	26
7 Вопросы для самопроверки.....	30
Список использованных источников	31

Введение

В процессе изучения дисциплин «Детали машин», «Детали машин и основы конструирования», «Прикладная механика» обучающиеся получают теоретические знания по расчету и конструированию деталей и узлов общего назначения, встречающихся в различных механизмах и машинах. Полученные знания закрепляются выполнением курсовых проектов (работ) и расчетно-графических заданий, в которых обучающиеся на практике выполняют расчеты и конструирование механизмов, чаще всего силовые приводы различных машин, содержащие детали и узлы общего назначения.

Расчет силового привода является неотъемлемой частью расчетов, выполняемых обучающимися в процессе работы над курсовыми проектами (работами) и расчетно-графическими заданиями. Результаты расчета являются исходными данными для дальнейшей работы при проектировании и конструировании механических приводов.

В настоящих методических указаниях даны рекомендации, справочный материал и примеры расчетов типовых механических приводов машин.

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

Данные методические указания способствуют не только ускорению разработки и оформления кинематических расчетов, а также реализации некоторых компетенций, которые должны формироваться у обучающихся в процессе изучения соответствующих дисциплин.

Компетенции или их части, формируемые у обучающихся в процессе работы с данными методическими указаниями, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции или их части, формируемые у обучающихся в процессе работы с данными методическими указаниями

№ п/п	Направление подготовки (специальность)	Наименование дисциплины	Обозначение компетенции	Содержание компетенции
1	13.03.02 Электро- энергетика и электротехника	«Механика»	ПК-4	способностью проводить обоснование проектных решений
			ПК-5	готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности
2	23.03.01 Технология транспортных процессов	«Прикладная механика»	ОПК-3	способность применять систему фундаментальных знаний (математических, естественно-научных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем в области технологии, организации, планирования и управления технической и коммерческой эксплуатацией транспортных систем
3	23.03.03 Эксплуатация транспортно- технологических машин и комплексов	«Детали машин и основы конструирова- ния»	ОК-3	способность к самоорганизации и самообразованию
			ОПК-3	готовность применять систему фундаментальных знаний (математических, естественно-научных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов
4	24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика	«Детали машин»	ОПК-2	способность использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественно-научных дисциплин
			ПК-3	способностью и готовностью участвовать в составлении технических заданий на конструирование систем, механизмов и агрегатов, входящих в проектируемое изделие ракетно-космического комплекса, а также технологической оснастки

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Направление подготовки (специальность)	Наименование дисциплины	Обозначение компетенции	Содержание компетенции
5	24.03.04 Авиастроение	«Детали машин»	ОПК-4	способность разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных конструкторских работ
			ОПК-5	способностью владеть навыками обращения с нормативно-технической документацией и владение методами контроля соответствия разрабатываемой технической документации стандартам, техническим условиям и нормативным документам
6	27.03.01 Стандартизация и метрология	«Детали машин и основы конструирования»	ОПК-2	способность и готовность участвовать в организации работы по повышению научно-технических знаний, в развитии творческой инициативы, рационализаторской и изобретательской деятельности, во внедрении достижений отечественной и зарубежной науки, техники, в использовании передового опыта, обеспечивающих эффективную работу учреждения, предприятия
			ПК-7	способность осуществлять экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования, выявлять резервы, определять причины существующих недостатков и неисправностей в его работе, принимать меры по их устранению и повышению эффективности использования
7	27.03.02 Управление качеством	«Детали машин и основы конструирования»	ПК-3	способность применять знание задач своей профессиональной деятельности, их характеристики (модели), характеристики методов, средств, технологий, алгоритмов решения этих задач

1 Описание кинематических схем силовых приводов

Кинематические схемы силовых механических приводов, как правило, состоят из электродвигателя, редуктора (закрытой передачи), открытой передачи, муфты (или муфт) и приводного (рабочего) вала рабочего органа машины (при этом, некоторые элементы могут отсутствовать).

Каждый структурный элемент кинематической схемы привода имеет свое индивидуальное обозначение в соответствии с ГОСТ 2.770-68 [1].

Для рассматриваемых приводов рекомендуется выбирать трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии – АИР, выполненные по ТУ 16–525.564–84 [2], имеющие простую конструкцию, небольшую стоимость и достаточно высокую надежность.

Эти двигатели характеризуются:

- номинальной мощностью $P_{эд.ном}$, кВт;
- синхронной частотой вращения ротора n_c , об/мин;
- асинхронной частотой вращения ротора $n_{эд}$, об/мин;
- кратностью максимального (пикового, при включении двигателя) и номинального вращающих моментов $T_{max}/T_{ном}$.

Синхронная (теоретическая) частота вращения ротора (вала) электродвигателя определяется зависимостью:

$$n_c = \frac{60 \cdot f}{p},$$

где f – промышленная частота тока, Гц;

p – число пар полюсов электродвигателя.

Значения n_c в зависимости от числа пар полюсов p при $f = 50$ Гц приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Синхронная частота вращения вала электродвигателя n_c

p , число пар полюсов	1	2	3	4	5	6
n_c , об/мин	3000	1500	1000	750	600	500

Как видно из таблицы 2, с увеличением числа пар полюсов уменьшается частота вращения электродвигателя, но увеличивается его стоимость, так как при этом растут габаритные размеры электродвигателя.

Поскольку электродвигатели с большим числом пар полюсов имеют большие габариты, то тихоходные электродвигатели с синхронной частотой вращения рабочего вала n_c менее 750 об/мин в механических приводах применять не рекомендуется.

В кинематических расчетах следует использовать асинхронную (фактическую) частоту вращения вала электродвигателя $n_{эд}$, об/мин, которая наряду с синхронной частотой вращения n_c , об/мин, указана в таблице технических характеристик электродвигателей:

$$n_{эд} = n_c \cdot (1 - S),$$

где S – электромагнитное скольжение электродвигателя, от 2 % до 10 % .

Технические характеристики трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором приведены в таблицах 7 и 8.

Форма исполнения и способ установки электродвигателей серии АИР обозначаются следующим образом:

IM 1081 – электродвигатели горизонтальные со станиной на лапах;

IM 2081 – электродвигатели горизонтальные на лапах и с фланцем на щите;

IM 3081 – электродвигатели со станиной без лап и с фланцем на щите.

Одним из основных узлов привода является *редуктор* – механизм, состоящий из зубчатых или (и) червячных передач (рисунок), выполненный в виде отдельного агрегата и *служащий для передачи вращательного движения с понижением угловой скорости и с повышением вращающего момента.*

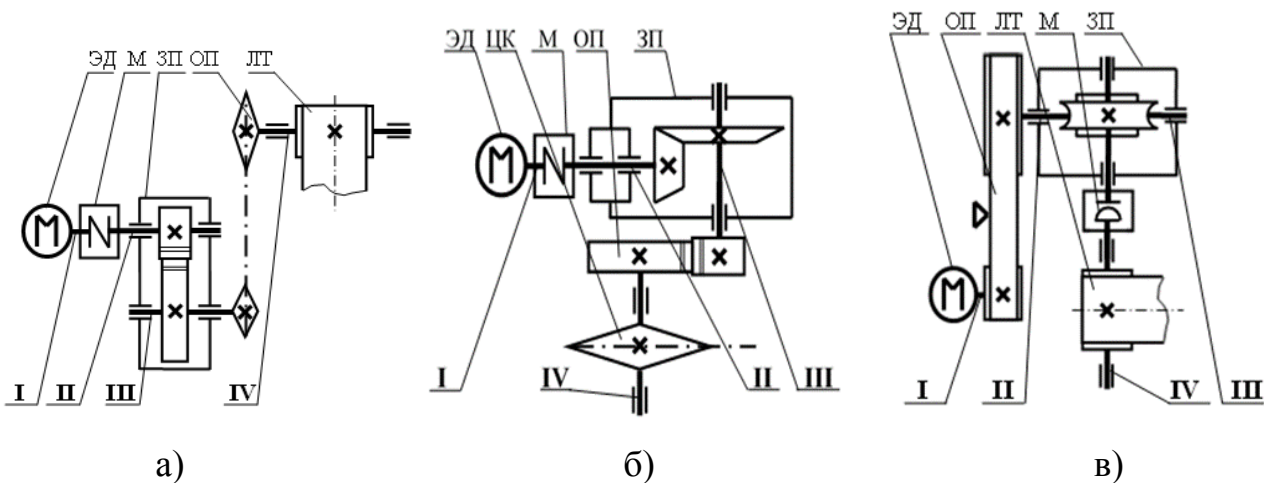


Рисунок 2 – Внешний вид редукторов и мотор-редукторов

С типами и конструкцией редукторов, назначением и конструкцией всех их деталей, а также с определением основных параметров зацепления следует ознакомиться по работам [2, 11–14]. Кроме того, с элементами кинематических схем и основными правилами оформления этих схем можно ознакомиться по работе [1].

В связи с тем, что редукторы предпочтительно имеют стандартные передаточные числа, то из конструктивных соображений в приводах часто используются открытые передачи, позволяющие получить требуемое (нестандартное) передаточное отношение, а также рационально и удобно скомпоновать привод. В приводах машин в основном применяются открытые ременные, цепные и зубчатые передачи. С данными передачами, их расчетом и назначением деталей можно ознакомиться по работам [11–14].

Примеры кинематических схем силовых приводов с различными типами механических передач и вариантами их расположения в кинематической цепи приведены на рисунке 3.



- а) привод ленточного транспортёра с цилиндрическим эвольвентным прямозубым редуктором и открытой цепной передачей с роликовой цепью;
- б) привод цепного конвейера с коническим прямозубым редуктором и открытой зубчатой передачей; в) привод ленточного транспортёра с открытой клиноременной передачей и червячным редуктором.

Рисунок 3 – Примеры кинематических схем силовых приводов подъёмно-транспортного оборудования

На рисунке 3 буквенные сокращения означают следующее:

ЭД – электродвигатель;

М – муфта (ее тип, рисунок 1);

ЗП – закрытая передача или редуктор;

ОП – открытая передача;

ЛТ – обозначение приводного вала ленточного транспортёра, соответственно, такое же название имеет и привод в целом («Привод ленточного транспортёра»);

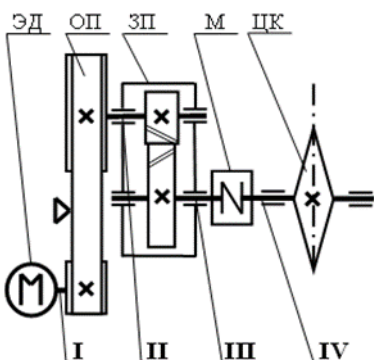
ЦК – обозначение приводного вала цепного конвейера, соответственно, такое же название имеет также и привод («Привод цепного конвейера»).

2 Исходные данные для проектирования приводов

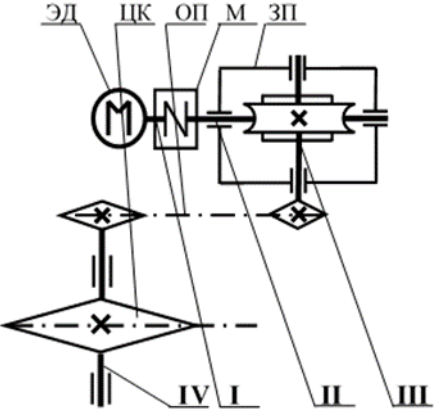
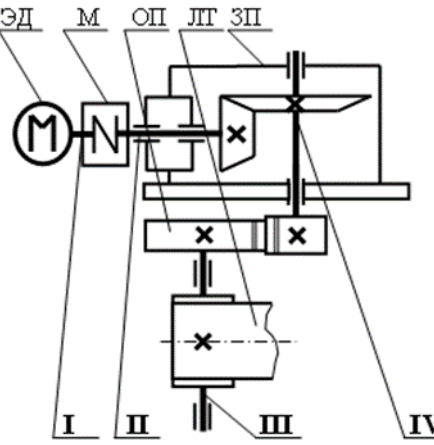
В качестве исходных данных на проектирование выдаются кинематические схемы силового привода и исходные данные на проектирование, которые включают в себя тяговое усилие F , H (κH), на рабочем органе, скорость движения рабочего органа V , m/c , и его диаметр D , m . Кроме того, для последующего расчета и конструирования передач привода обычно задаются: типовой режим нагружения, наличие или отсутствие реверса и срок службы привода L_h , *час*. В некоторых случаях вместо параметров F , H (κH), V , m/c , и D , m , задаются вращающий момент на рабочем валу T_{PB} , $H\cdot m$, и угловая скорость этого вала ω_{PB} , rad/c . Обычно номер кинематической схемы берется в соответствии с порядковым номером студента по списку группы (в соответствии с журналом группы), а исходные данные к расчету назначаются руководителем курсового проекта (работы).

Эти данные, как правило, приводятся в фонде оценочных средств, разрабатываемых ведущими преподавателями на каждое направление подготовки.

Таблица 3 – Примеры вариантов кинематических схем на проектирование силовых приводов

№ варианта задания и схема	Описание схемы	Параметры исходных данных	Значение
Вариант 13 	ЭД – электродвигатель; ОП – открытая передача: ременная, клиновым ремнем; ЗП – закрытая передача: цилиндрический косозубый горизонтальный редуктор; М – муфта: упругая компенсирующая; ЦК – приводная звездочка цепного конвейера; I, II, III, IV – номера валов привода в порядке передачи движения.	Диаметр звездочки $D_{зв}$, m	0,4
	Тяговое усилие на цепи F_{PB} , κH	4,0	
	Скорость цепи V_{PB} , m/c	1,5	
	Вращающий момент на рабочем валу T_{PB} , $H\cdot m$	-	
	Угловая скорость рабочего вала ω_{PB} , rad/c	-	
	Режим нагрузки	0	
	Наличие реверса	Нет	
	Срок службы привода, L_h , <i>час</i>	10000	

Продолжение таблицы 3

№ варианта задания и схема	Описание схемы	Параметры исходных данных	Значение
<p>Вариант 21</p> 	<p>ЭД – электродвигатель; М – муфта: упругая компенсирующая; ЗП – закрытая передача: червячный горизонтальный редуктор; ОП – открытая передача: цепная, роликовой цепью; ЦК – приводная звездочка цепного конвейера; I, II, III, IV – номера валов привода в порядке передачи движения.</p>	<p>Диаметр звездочки $D_{зв}, м$</p> <p>Тяговое усилие на цепи $F_{PB}, кН$</p> <p>Скорость цепи $V_{PB}, м/с$</p> <p>Вращающий момент на рабочем валу $T_{PB}, Н·м$</p> <p>Угловая скорость рабочего вала $\omega_{PB}, с^{-1}$</p> <p>Режим нагрузки</p> <p>Наличие реверса</p> <p>Срок службы привода, $L_h, час$</p>	<p>0,3</p> <p>3,5</p> <p>1,2</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>0</p> <p>Нет</p> <p>20000</p>
<p>Вариант 26</p> 	<p>ЭД – электродвигатель; М – муфта: упругая компенсирующая; ЗП – закрытая передача: конический прямозубый редуктор с вертикальным тихоходным валом; ОП – открытая передача: зубчатая цилиндрическая прямозубая; ЛТ – барабан ленточного транспортера; I, II, III, IV – номера валов привода в порядке передачи движения.</p>	<p>Диаметр барабана $D_{б}, м$</p> <p>Тяговое усилие на ленте $F_{PB}, кН$</p> <p>Скорость ленты $V_{PB}, м/с$</p> <p>Вращающий момент на рабочем валу $T_{PB}, Н·м$</p> <p>Угловая скорость рабочего вала $\omega_{PB}, с^{-1}$</p> <p>Режим нагрузки</p> <p>Наличие реверса</p> <p>Срок службы привода, $L_h, час$</p>	<p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>700</p> <p>5,0</p> <p>0</p> <p>Нет</p> <p>15000</p>

3 Последовательность кинематического расчета

1 Прежде всего, при проектировании механических приводов выбирают электродвигатель. Для этого производят расчет параметров для выбора необходимого электродвигателя: требуемой мощности электродвигателя $P_{эд}^{тр}$, кВт, и требуемой частоты вращения вала электродвигателя $n_{эд}^{ср}$, об/мин.

2 Выбрав электродвигатель, удовлетворяющий вышеназванным параметрам, определяют общее передаточное число u_{Σ} привода и разбивают его между отдельными ступенями.

3 Затем определяют кинематические и силовые параметры валов привода: частоты вращения n , об/мин; угловые скорости ω , рад/с; мощности на валах P , Вт; вращающие моменты на валах T , Н·м.

4 Полученные результаты сводят в таблицу для удобства дальнейшего использования при расчетах закрытых и открытых передач.

В данных методических указаниях все примеры кинематических расчетов силовых приводов сведены в таблицы 4, 10 – 13, 15 – 18. Результаты кинематических расчетов силовых приводов представлены в таблицах 19 – 21.

4 Общие сведения о рассматриваемых силовых приводах

4.1 Общие сведения о приводе, выполненном по варианту 13

На рисунке 4 представлены: а) объемный общий вид цилиндрического горизонтального редуктора в разрезе; б) кинематическая схема привода цепного конвейера с открытой клиноременной передачей, цилиндрическим горизонтальным (косозубым) редуктором и упругой компенсирующей муфтой.

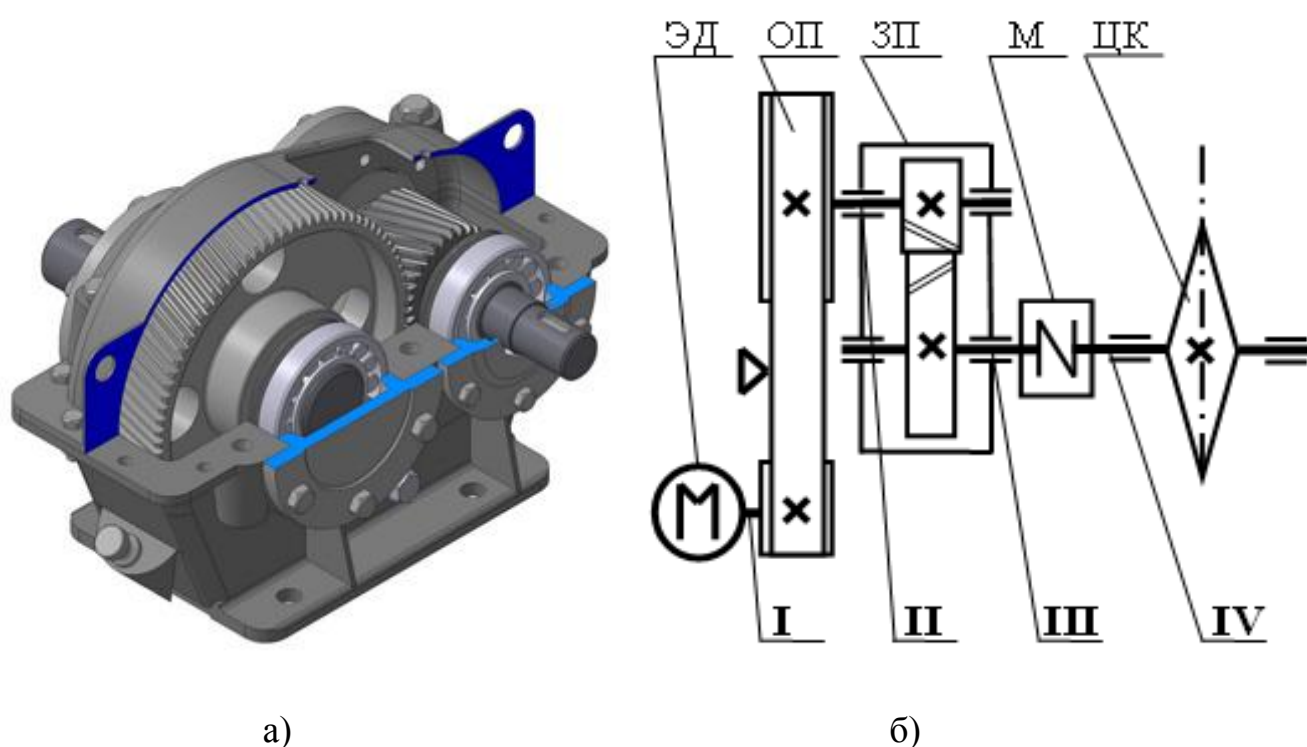


Рисунок 4 – Привод, выполненный по варианту 13

Данный привод применяется в цепном конвейере, который используется для перемещения штучных либо сыпучих грузов. С вала электродвигателя I (ЭД) вращение передается на входной вал II закрытой передачи редуктора при помощи открытой клиноременной передачи (ОП). При помощи упругой компенсирующей муфты (М) вращение с выходного вала редуктора III передается на рабочий вал IV цепного конвейера (ЦК) (рисунок 4).

Редуктор одноступенчатый, цилиндрический с горизонтальным расположением валов и с косозубой передачей. Зубчатые колеса смазываются окунанием в общую масляную ванну (картерная смазка).

4.2 Общие сведения о приводе, выполненном по варианту 21

На рисунке 5 представлены: а) объемный общий вид червячного редуктора (с верхним расположением червяка) в разрезе; б) кинематическая схема привода цепного конвейера с упругой компенсирующей муфтой, с червячным редуктором и открытой цепной передачей.

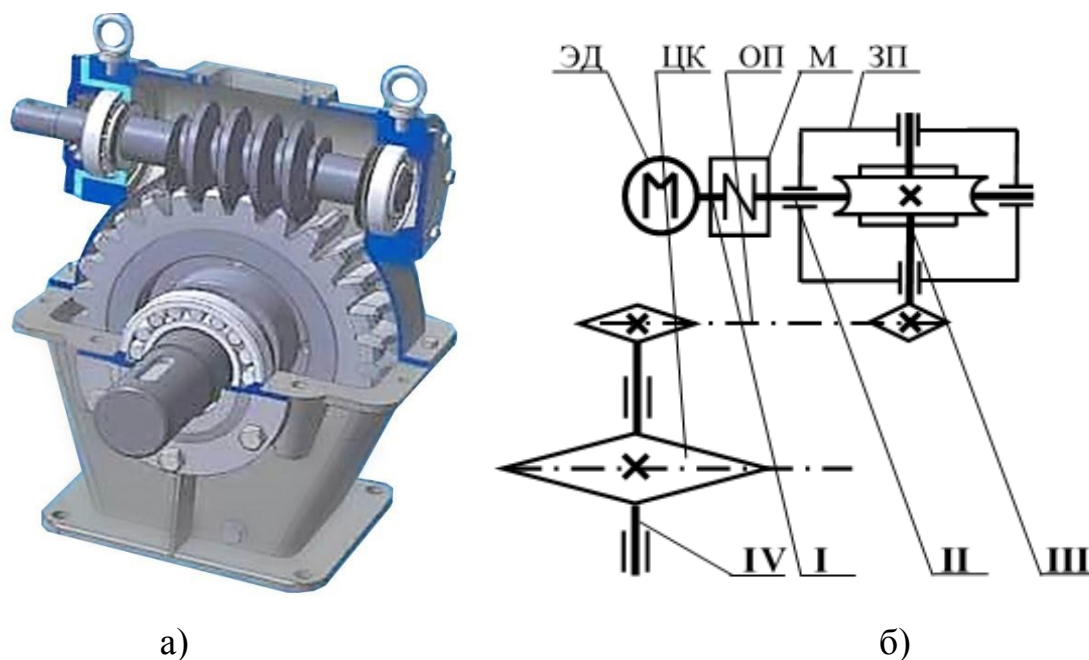


Рисунок 5 – Привод, выполненный по варианту 21

Данный привод применяется в цепном конвейере, который используется для перемещения штучных грузов. С вала электродвигателя I (ЭД) вращение передается на входной вал II закрытой передачи червячного редуктора при помощи упругой компенсирующей муфты (М), вращение с выходного вала редуктора III передается на рабочий вал IV цепного конвейера (ЦК) через открытую цепную передачу (ОП).

Редуктор одноступенчатый, червячный с верхним расположением червяка. Червячная пара смазывается окунанием колеса в общую масляную ванну (картерная смазка).

Расчет данного варианта аналогичен расчету по варианту 26, поэтому вариант 21 представлен без промежуточных расчетов – только задание и результаты, сведенные в таблицы 3, 12 и 21.

4.3 Общие сведения о приводе, выполненном по варианту 26

На рисунке 6 представлены: а) объемный общий вид конического редуктора (с вертикальным тихоходным валом – выход вверх) в разрезе; б) кинематическая схема привода ленточного транспортера с упругой компенсирующей муфтой, коническим редуктором (с вертикальным тихоходным валом – выход вниз) и открытой цилиндрической (прямозубой) передачей.

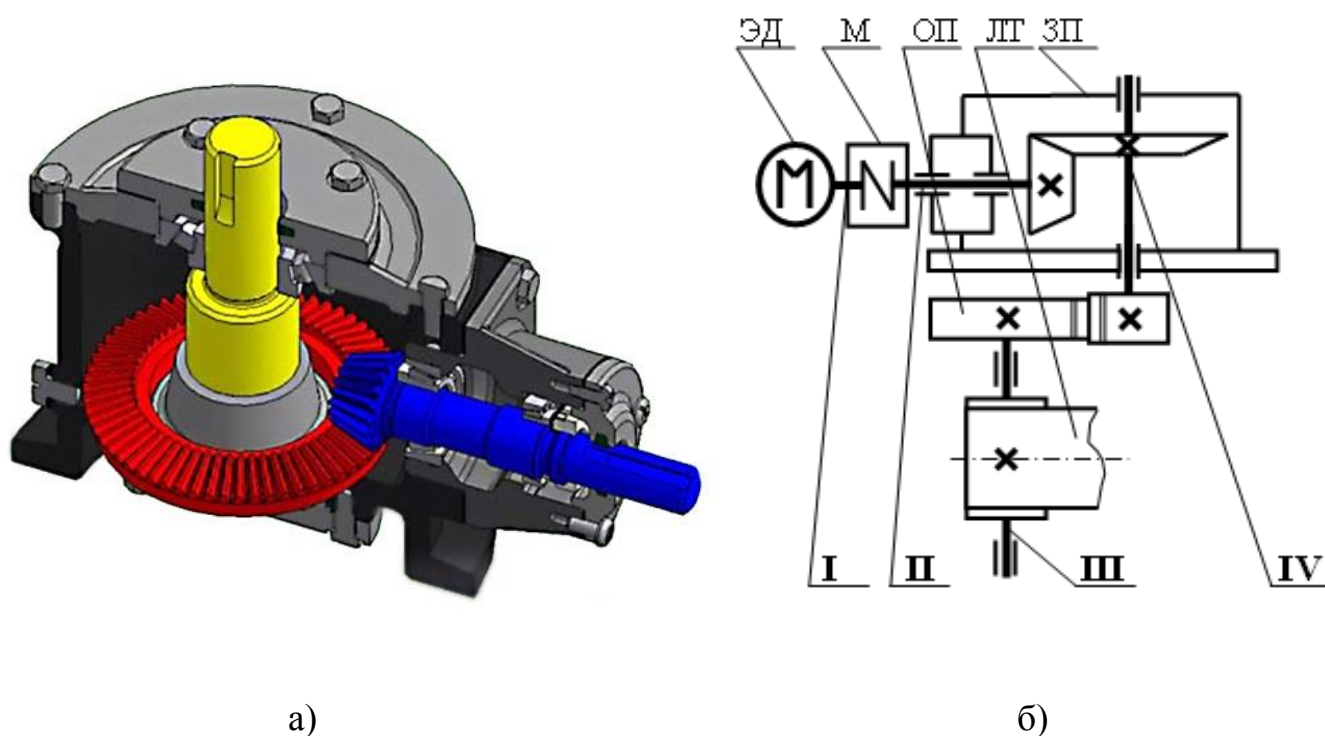


Рисунок 6 – Привод, выполненный по варианту 26

Данный привод применяется в ленточном транспортере, который используется для перемещения штучных грузов. С вала электродвигателя I (ЭД) вращение передается на входной вал II закрытой передачи конического редуктора при помощи упругой компенсирующей муфты (М). Вращение с выходного вала редуктора III передается на рабочий вал IV ленточного транспортера (ЛТ) через открытую цилиндрическую передачу (ОП).

Редуктор одноступенчатый, конический с прямозубой передачей и вертикальным расположением тихоходного вала. Зубчатые колеса смазываются окунанием в общую масляную ванну (картерная смазка).

5 Выбор электродвигателя

Расчет кинематических и энергетических параметров, необходимых для подбора электродвигателя приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет параметров для выбора электродвигателя

Параметр	Вариант	Формула	Расчет	Результат
Мощность на рабочем валу привода $P_{р.в}, Вт, кВт$	13	$P_{р.в} = F_{р.в} \cdot V_{р.в}$	$4000 \cdot 1,5$	6000 Вт 6,0 кВт
	26	$P_{р.в} = T_{р.в} \cdot \omega_{р.в}$	$700 \cdot 5,0$	3500 Вт 3,5 кВт
Общий коэффициент полезного действия привода η_o (КПД)	13	$\eta_o = \eta_{оп} \cdot \eta_{зп} \cdot \eta_m \cdot \eta_{пп}$	$0,95 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 0,992$	0,914
	26	$\eta_o = \eta_m \cdot \eta_{зп} \cdot \eta_{оп} \cdot \eta_{пп}$	$1 \cdot 0,97 \cdot 0,94 \cdot 0,992$	0,905
Требуемая мощность электродвигателя, $P_{эд}^{тр}, Вт, кВт$	13	$P_{эд}^{тр} = \frac{P_{р.в}}{\eta_o}$	$\frac{6000}{0,914}$	6565 Вт 6,57 кВт
	26		$\frac{3500}{0,905}$	3867 Вт 3,87 кВт
Среднее значение передаточных чисел привода u_{Σ}^{cp}	13	$u_{\Sigma}^{cp} = u_{оп}^{cp} \cdot u_{зп}^{cp}$	$4 \cdot 3$	12
	26		$3 \cdot 5$	15
Частота вращения рабочего вала привода $n_{рв}, об/мин$	13	$n_{рв} = \frac{60 \cdot V_{р.в}}{\pi \cdot D_{б(зв)}}$	$\frac{60 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 0,4}$	71,66
	26	$n_{рв} = \frac{30 \cdot \omega_{рв}}{\pi}$	$\frac{30 \cdot 5,0}{3,14}$	47,77
Требуемая частота вращения вала электродвигателя (средняя) $n_{эд}^{cp}, об/мин$	13	$n_{эд}^{cp} = n_{рв} \cdot u_{\Sigma}^{cp}$	$71,66 \cdot 12$	859,92
	26		$47,77 \cdot 15$	716,55

где $D_{б(зв)}$ – диаметр рабочего органа;

η_m – коэффициент полезного действия муфты, обычно (таблица 5);

$\eta_{пп}$ – коэффициент полезного действия пары подшипников (качения), принимают $\eta_{пп} = 0,992$ (таблица 5);

$\eta_{зп}$ – коэффициент полезного действия закрытой передачи, принимают в зависимости от вида закрытой передачи (таблица 5);

$\eta_{оп}$ – коэффициент полезного действия открытой передачи, принимают в зависимости от вида открытой передачи (таблица 5);

$u_{зп}^{cp}$ – среднее значение передаточных чисел закрытых передач редуктора, принимают в зависимости от вида закрытой передачи (таблица 6);

$u_{оп}^{cp}$ – диапазон возможных передаточных чисел открытых передач привода, принимают в зависимости от вида открытой передачи (таблица 6).

Таблица 5 – Значение η (КПД) механических передач, муфт, подшипников

Элемент привода			Закрытые	Открытые	
Тип механических передач (значения КПД передач указаны с учетом потерь в опорах)	Зубчатые	цилиндрические (прямозубые, косозубые, шевронные)	от 0,96 до 0,98	от 0,93 до 0,95	
		конические	от 0,95 до 0,97	от 0,92 до 0,94	
	Червячные	на этапе кинематического расчета принимают		от 0,70 до 0,80	–
		в остальных случаях принимают в зависимости от числа заходов червяка	$z_1 = 1$	от 0,65 до 0,70	от 0,50 до 0,60
			$z_1 = 2$	от 0,70 до 0,75	от 0,60 до 0,70
			$z_1 = 3$	от 0,80 до 0,85	–
	$z_1 = 4$		от 0,85 до 0,90	–	
	Цепные			от 0,95 до 0,97	от 0,90 до 0,93
Ременные			–	от 0,94 до 0,96	
Муфта (любого типа)	в проектировочных студенческих расчетах		1,0		
	в других случаях		от 0,98 до 1,00		
Одна пара подшипников	качения (обычно используемые)		от 0,99 до 0,995		
	скольжения (в особых случаях)		от 0,98 до 0,99		

Таблица 6 – Значения передаточных чисел передач

Вид передачи		Значения передаточных чисел		
		минимальное	среднее	максимальное
Цепная	открытая	2	4	6
Ременная		1	3	5
Зубчатая	закрытая	3	5	7
		2	4	6,3
		2	3	4
Червячная		8	25	40

Электродвигатель выбирают по требуемой мощности $P_{эд}^{тр}$, Вт (кВт), и среднему значению возможной частоты вращения его вала $n_{эд}^{ср}$, об/мин.

По найденным значениям $P_{эд}^{тр}$ и $n_{эд}^{ср}$ выбирают необходимый типоразмер электродвигателя, руководствуясь нижеследующим алгоритмом.

1 По параметру $P_{эд}^{тр}$, кВт, установленному расчетом, выбирают номинальную мощность электродвигателя $P_{ном}$, кВт (таблица 7), соблюдая условие:

$$P_{ном} \geq P_{эд}^{тр}.$$

2 Допускается перегрузка электродвигателя по мощности, но не более, чем на 5 %

$$\Delta P = \frac{P_{эд}^{тр} - P_{ном}}{P_{эд}^{тр}} \cdot 100 \leq 5 \text{ \%}.$$

3 Выбранному по мощности электродвигателю обычно соответствуют четыре варианта синхронной частоты вращения n_c , об/мин, вала двигателя (таблица 7):

$$n_c = 750 \text{ об/мин}; n_c = 1000 \text{ об/мин}; n_c = 1500 \text{ об/мин}; n_c = 3000 \text{ об/мин}.$$

4 Из четырех вариантов синхронной (асинхронной) частоты вращения вала двигателя n_c , ($n_{эд}$) необходимо выбрать близкое по значению $n_{эд}^{ср}$ – средней требуемой частоты вращения вала двигателя.

5 Для оптимального выбора варианта n_c , ($n_{эд}$) необходимо помнить, что с увеличением n_c , ($n_{эд}$) растет общее передаточное число привода, хотя при этом габариты и масса приводного двигателя становятся меньше, так как уменьшается число пар полюсов, и наоборот.

6 При разбивке общего передаточного числа по ступеням передачи желательно, чтобы выбранная величина n_c , ($n_{эд}$) обеспечивала средние значения передаточных чисел отдельных ступеней привода (таблица 6).

7 Если в структурной схеме привода имеется коническая передача, но отсутствует червячная, то выбирают двигатель с наименьшим значением n_c , ($n_{эд}$).

8 Если в структурной схеме привода отсутствует червячная и коническая передачи, то выбирают двигатель со средним значением n_c , ($n_{эд}$).

9 При наличии в структурной схеме привода червячной передачи выбирают двигатель с максимальным значением n_c , ($n_{эд}$).

10 Частота вращения рабочего вала $n_{рв}$ влияет на общее передаточное число u_{Σ} привода – с увеличением $n_{рв}$ уменьшается u_{Σ} и наоборот.

11 Значение u_{Σ} должно обеспечить рациональную разбивку общего передаточного числа между ступенями привода (без максимальных значений частных передаточных чисел).

С учетом вышеизложенного окончательно выбирают частоту вращения электродвигателя.

В соответствии с кинематической схемой и особенностями компоновки привода принимают исполнение электродвигателя ИМ1081 (в соответствии с рисунком 7) или ИМ3081 (в соответствии с рисунком 8) и выполняют его эскиз в двух проекциях с простановкой габаритных, установочных и присоединительных размеров (таблицы 10 – 12).

Таблица 7 – Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые, серии АИР.
Технические данные по ТУ 16–525.564–84 [2]

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	$n_{эд}$, мин^{-1}	$\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}}$	Тип двигателя	$n_{эд}$, мин^{-1}	$\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}}$	Тип двигателя	$n_{эд}$, мин^{-1}	$\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}}$	Тип двигателя	$n_{эд}$, мин^{-1}	$\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}}$
0,37	–	–	–	–	–	–	АИР71 А6	915	2,2	–	–	–
0,55	–	–	–	АИР71 А4	1357	2,2	АИР71 В6	915	2,2	–	–	–
0,75	АИР71А2	2820	2,2	АИР71 В4	1350	2,2	АИР80 А6	920	2,2	АИР90 LA8	705	2,2
1,1	АИР71В2	2805	2,2	АИР80 А4	1395	2,2	АИР80 В6	920	2,2	АИР90 LB8	715	2,2
1,5	АИР80А2	2850	2,2	АИР80 В4	1395	2,2	АИР90 L6	925	2,2	АИР100L8	702	2,2
2,2	АИР80В2	2850	2,2	АИР90 L4	1395	2,2	АИР100L6	945	2,2	АИР112МА8	709	2,2
3	АИР90L2	2850	2,2	АИР100S4	1410	2,2	АИР112МА6	950	2,2	АИР112МВ8	709	2,2
4	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	АИР132М2	2910	2,2	АИР132М4	1447	2,2	АИР160S6	970	2,5	АИР160М8	727	2,4
15	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	АИР180S2	2919	2,7	АИР180S4	1462	2,4	–	–	–	–	–	–
30	АИР180М2	2925	2,7	АИР180М4	1470	2,7	–	–	–	–	–	–

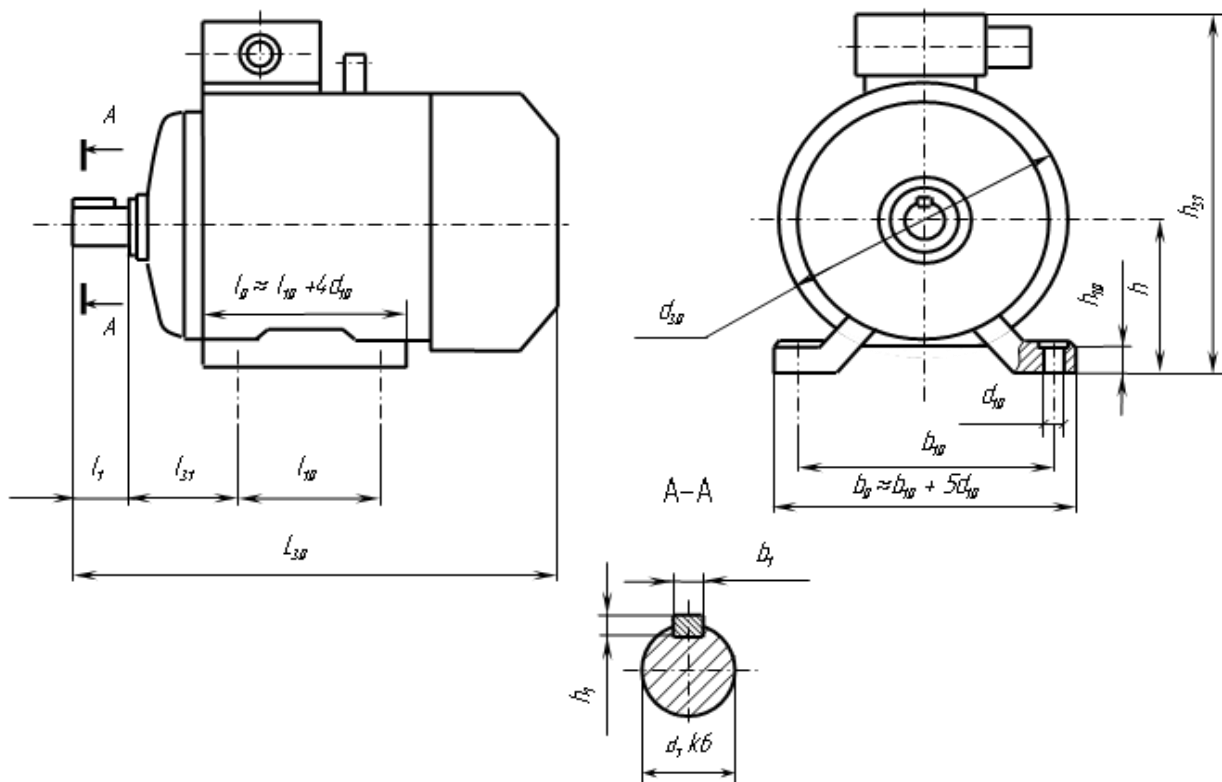


Рисунок 7 – Двигатели АИР исполнения ИМ1081 ТУ 16–525.564–84 [12]

Таблица 8 – Параметры двигателей АИР исполнения ИМ1081 ТУ 16–525.564–84

Тип двигателя	Число полюсов	Габаритные, 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	10	17,5
АИР80В		321	205			100	50	22								20
АИР90L		337	225	210		125	56	24	8	140	90	11	28,7			
АИР100S		4,6,8	360	247	240	60	112	63	28	7		160	100	12	36	
АИР100L			391	247			42									
АИР112M		2,4,6,8	435	285	246	80	140	70	32	8	12	10	190	112	56	
АИР132S			460	325	288										89	38
АИР132M		498	93													
АИР160S		2	630	385	334	110	178	108	42	9	15	12	254	160	18	130
АИР160M	4,6,8	14														135
	2	660	448	375	110	210	108	42	8	15	12	254	160	18	145	
4,6,8	14														160	
АИР180S	2	630	448	375	110	203	121	48	9	15	14	279	180	20	165	
АИР180M	4,6,8														16	175
	2	680	448	375	110	241	121	48	9	15	14	279	180	20	185	
4,6,8	16														195	

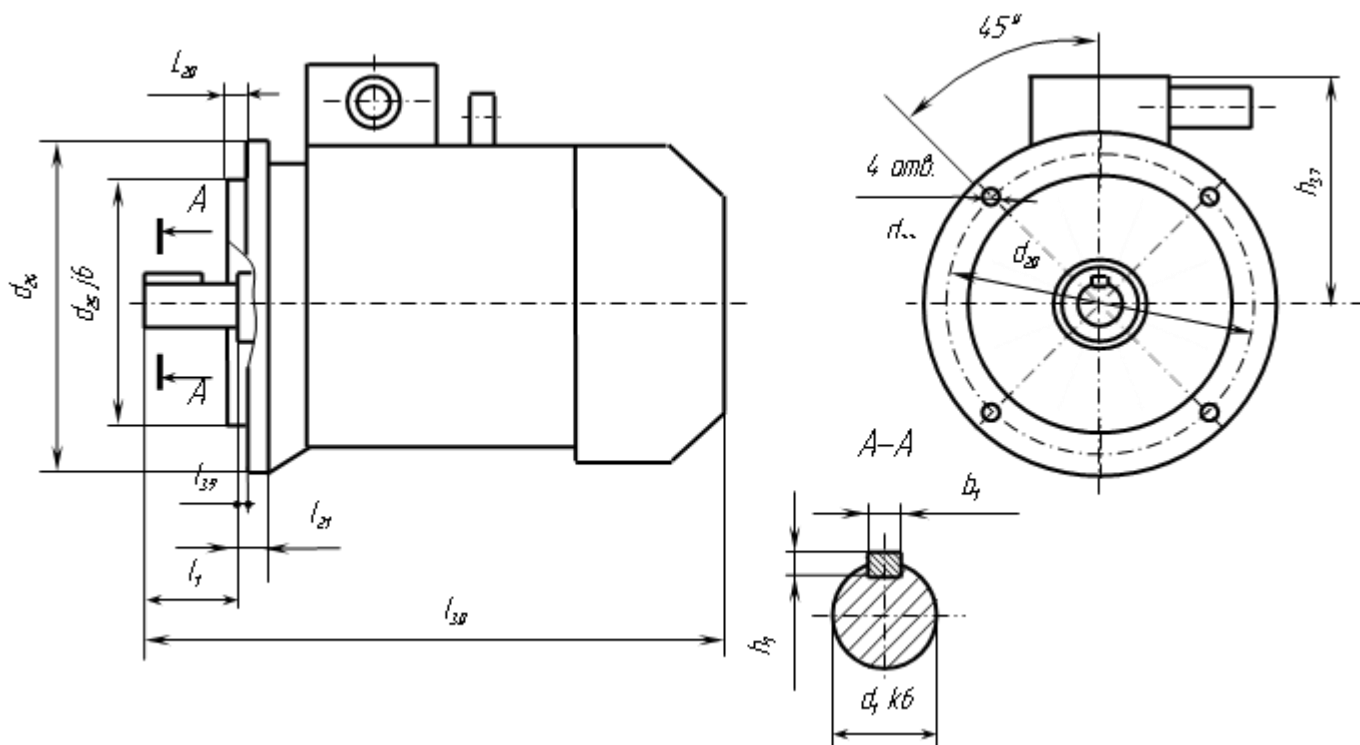


Рисунок 8 – Двигатели АИР исполнения ИМ3081 ТУ 16–525.564–84 [12]

Таблица 9 – Параметры двигателей АИР исполнения ИМ3081 ТУ 16–525.564–84

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	14	28						215	15	180	8	7	30	
АИР100S		360	147																37	
АИР100L		391	147	300	80	5	15	42						300	19	250	12	9	42,8	
АИР112M		435	173																58	
АИР132S		4,6,8	460	193	350	110	5	18						38	300	19	250	10	8	82
АИР132M		2,4,6,8	498																	97
АИР160M		2	630	225	350	110	5	15						42	300	19	250	12	9	145
	4,6,8	48							160											
АИР160S	2	660	225	350	110	5	15	42	300	19	250	12	8	130						
	4,6,8							48						135						
АИР180S	2	630	260	400	110	5	18	48	350	19	300	14	9	170						
	4,6,8							55						180						
АИР180M	2	680	260	400	110	5	18	48	350	19	300	14	9	190						
	4,6,8							55						200						

Характеристики выбранных электродвигателей для примеров трех рассматриваемых схем сведены в таблицы. Для цилиндрического редуктора таблица 10, для конического - таблица 10, для червячного - таблица 10.

Исходя из полученных ранее данных и вышеизложенных рекомендаций, принимаются электродвигатели переменного тока с короткозамкнутым контуром согласно техническим характеристикам, представленным в таблице 7.

Таблица 10 – Технические характеристики выбранного электродвигателя для варианта 13

Тип двигателя	Исполнение	Число пар полюсов	Мощность $P_{эд}, кВт$	Частота вращения $n_{эд}, об/мин$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Диаметр вала $d_1, мм$
АИР132М6	IM1081	3	7,5	960	2,2	38

Таблица 11 – Технические характеристики выбранного электродвигателя для варианта 26

Тип двигателя	Исполнение	Число пар полюсов	Мощность $P_{эд}, кВт$	Частота вращения $n_{эд}, об/мин$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Диаметр вала $d_1, мм$
АИР132S8	IM1081	4	4,0	716	2,2	38

Таблица 12 – Технические характеристики выбранного электродвигателя для варианта 21

Тип двигателя	Исполнение	Число пар полюсов	Мощность $P_{эд}, кВт$	Частота вращения $n_{эд}, об/мин$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	Диаметр вала $d_1, мм$
АИР100L2	IM1081	2	5,5	2850	2,2	28

Перегрузка выбранного электродвигателя по мощности составляет:

$$\Delta P = \frac{P_{эд}^{тр} - P_{ном}}{P_{ном}} \cdot 100 = \frac{5753 - 5500}{5500} \cdot 100 = 4,6 \leq 5 \%,$$

что допустимо.

6 Определение основных кинематических характеристик

привода

Определение общего передаточного числа и разбивка его между ступенями привода приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Определение общего передаточного числа привода и разбивка его между отдельными ступенями

Параметр	Вариант	Формула	Расчет	Результат	
Общее передаточное число привода u_{Σ}	13	$u_{\Sigma} = \frac{n_{эд}}{n_{рв}}$	$\frac{960}{71,66}$	13,397	
	26		$\frac{716}{47,77}$	14,988	
<i>Предварительно</i> принимают среднее значение передаточного числа открытой передачи $u_{оп}^{ср}$	13	среднее значение принимают из таблицы 6	$u_{оп}^{ср} = 3$		
	26		$u_{оп}^{ср} = 5$		
Передаточное число редуктора (закрытой передачи) $u_{ред}$ округлить по таблице 14*	13	$u_{ред} = \frac{u_{\Sigma}}{u_{оп}^{ср}}$	$\frac{13,397}{3}$	4,47	ГОСТ 4,5*
	26		$\frac{14,988}{5}$	2,988	ГОСТ 3,15*
<i>Уточняют</i> передаточное число открытой передачи (с точностью до трех знаков после запятой) $u_{оп}$	13	$u_{оп} = \frac{u_{\Sigma}}{u_{ред}}$	$\frac{13,397}{4,5}$	2,98	
	26		$\frac{14,988}{3,15}$	4,75	
*Значение $u_{ред}$ – принимают из ряда стандартных чисел (таблица)					

Таблица 14 – Рекомендуемые передаточные числа редукторов, $u_{ред}$

1 Редукторы червячные одноступенчатые по ГОСТ 2144-76 [15]								
1-й ряд предпочтительный	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
2-й ряд	11,2	14	18	22,4	28	35,5	45	56
2 Редукторы конические одноступенчатые по ГОСТ 12289-76 [16]								
1-й ряд предпочтительный	2,0		2,5		3,15		4,0	
2-й ряд	2,24		2,80		3,55		4,50	
3 Редукторы цилиндрические одноступенчатые по ГОСТ 2185-66 [17]								
1-й ряд предпочтительный	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3		
2-й ряд	2,24	2,8	3,55	4,5	5,6	7,1		

Таблица 15 – Определение частот вращения валов привода n , об/мин

Вал	Параметр	Вариант	Формула	Расчет	Результат
I (ЭД)	Вал электродвигателя	13	$n_I = n_{эд}$	960 = 960	960
		26		716 = 716	716
II	Входной вал редуктора	13	$n_{II} = \frac{n_I}{u_{оп}}$	$\frac{960}{2,98}$	322,15
		26	$n_{II} = n_I$	716 = 716	716
III	Выходной вал редуктора	13	$n_{III} = \frac{n_{II}}{u_{зп}}$	$\frac{322,15}{4,5}$	71,59
		26	$n_{III} = \frac{n_{II}}{u_{зп}}$	$\frac{716}{3,15}$	227,3
IV (РВ)	Рабочий вал привода	13	$n_{IV} = n_{III}$	71,59 = 71,59	71,59
		26	$n_{IV} = \frac{n_{III}}{u_{оп}}$	$\frac{227,3}{4,75}$	47,85
Проверка (обязательна)		$n_I \geq n_{II} \geq n_{III} \geq n_{IV} \approx n_{р.в.}$			

Таблица 16 – Определение угловых скоростей валов привода ω , рад/с

Вал	Параметр	Вариант	Формула	Расчет	Результат
I (ЭД)	Вал электродвигателя	13	$\omega_I = \frac{\pi \cdot n_I}{30}$	$\frac{3,14 \cdot 960}{30}$	100,48
		26		$\frac{3,14 \cdot 716}{30}$	74,94
II	Входной вал редуктора	13	$\omega_{II} = \frac{\pi \cdot n_{II}}{30}$	$\frac{3,14 \cdot 322,15}{30}$	33,72
		26		$\frac{3,14 \cdot 716}{30}$	74,94
III	Выходной вал редуктора	13	$\omega_{III} = \frac{\pi \cdot n_{III}}{30}$	$\frac{3,14 \cdot 71,59}{30}$	7,49
		26		$\frac{3,14 \cdot 227,3}{30}$	23,79
IV (РВ)	Рабочий вал привода	13	$\omega_{IV} = \frac{\pi \cdot n_{IV}}{30}$	$\frac{3,14 \cdot 71,59}{30}$	7,49
		26		$\frac{3,14 \cdot 47,85}{30}$	5,01
Проверка (обязательна)		$\omega_I \geq \omega_{II} \geq \omega_{III} \geq \omega_{IV} \approx \omega_{рв}$			

Таблица 17 – Определение мощностей на валах привода $P, Вт$

Вал	Параметр	Вариант	Формула	Расчет	Результат
I (ЭД)	Вал электро- двигателя	13	$P_I = P_{ЭД}^{тр}$	$6565 = 6565$	6565
		26		$3867 = 3867$	3867
II	Входной вал редуктора	13	$P_{II} = P_{ЭД}^{тр} \cdot \eta_{оп}$	$6565 \cdot 0,95$	6237
		26	$P_{II} = P_{ЭД}^{тр} \cdot \eta_m$	$3867 \cdot 1,0$	3867
III	Выходной вал редуктора	13	$P_{III} = P_{II} \cdot \eta_{зп}$	$6237 \cdot 0,97$	6050
		26	$P_{III} = P_{II} \cdot \eta_{зп}$	$3867 \cdot 0,97$	3751
IV (РВ)	Рабочий вал привода	13	$P_{IV} = P_{III} \cdot \eta_m \cdot \eta_{пп}$	$6050 \cdot 1 \cdot 0,992$	6001
		26	$P_{IV} = P_{III} \cdot \eta_{оп} \cdot \eta_{пп}$	$3751 \cdot 0,94 \cdot 0,992$	3499
Проверка (обязательна)		$P_I \geq P_{II} \geq P_{III} \geq P_{IV} \approx P_{р.в.}$			

Таблица 18 – Определение вращающих моментов на валах привода $T, Н\cdot м$

Вал	Параметр	Вариант	Формула	Расчет	Результат
I (ЭД)	Вал электро- двигателя	13	$T_I = \frac{P_I}{\omega_I}$	$\frac{6565}{100,48}$	65,34
		26		$\frac{3867}{74,94}$	51,60
II	Входной вал редуктора	13	$T_{II} = \frac{P_{II}}{\omega_{II}}$	$\frac{6237}{33,72}$	184,96
		26		$\frac{3867}{74,94}$	51,60
III	Выходной вал редуктора	13	$T_{III} = \frac{P_{III}}{\omega_{III}}$	$\frac{6050}{7,49}$	807,74
		26		$\frac{3751}{23,79}$	157,67
IV (РВ)	Рабочий вал привода	13	$T_{IV} = \frac{P_{IV}}{\omega_{IV}}$	$\frac{6001}{7,49}$	801,20
		26		$\frac{3499}{5,01}$	698,40
Проверка (обязательна)		$T_I \leq T_{II} \leq T_{III} \leq T_{IV} \approx T_{рв}$			

Таблица 19 – Результаты кинематического расчета привода (вариант 13)

Валы привода	Величины				
	Частота вращения $n_k, \text{об/мин}$	Угловая скорость $\omega_k, \text{рад/с}$	Мощность $P_k, \text{Вт}$	Вращающий момент $T_k, \text{Н·м}$	Передаточные числа
I (ЭД)	960	100,48	6565	65,34	$u_{\text{оп}} = 2,98$ $u_{\text{ред}} = u_{\text{зп}} = 4,5$ Валы соединены муфтой
II	322,15	33,72	6237	184,96	
III	71,59	7,49	6050	807,74	
IV (РВ)	71,59	7,49	6001	801,20	

Таблица 20 – Результаты кинематического расчета привода (вариант 26)

Валы привода	Величины				
	Частота вращения $n_k, \text{об/мин}$	Угловая скорость $\omega_k, \text{рад/с}$	Мощность $P_k, \text{Вт}$	Вращающий момент $T_k, \text{Н·м}$	Передаточные числа
I (ЭД)	716	74,94	3867	51,60	$u_{\text{ред}} = u_{\text{зп}} = 3,15$ $u_{\text{оп}} = 4,75$
II	716	74,94	3867	51,60	
III	227,3	23,79	3751	157,67	
IV (РВ)	47,85	5,01	3499	699,40	

Таблица 21 – Результаты кинематического расчета привода (вариант 21)

Валы привода	Величины (после расчета червячной передачи, возможно, некоторые значения необходимо будет скорректировать)				
	Частота вращения $n_k, \text{об/мин}$	Угловая скорость $\omega_k, \text{рад/с}$	Мощность $P_k, \text{Вт}$	Вращающий момент $T_k, \text{Н·м}$	Передаточные числа
I (ЭД)	2850	298,3	5753	19,29	$u_{\text{ред}} = u_{\text{зп}} = 25$ $u_{\text{оп}} = 2,49$
II	2850	298,3	5753	19,29	
III	114	11,93	4602	385,75	
IV (РВ)	45,78	4,79	4200	876,83	

7 Вопросы для самопроверки

1. По каким критериям подбирается приводной двигатель для электромеханического привода?
2. Назовите основные конструктивные исполнения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.
3. Назовите рекомендуемые диапазоны передаточных чисел для закрытых (цилиндрических, конических, червячных) передач.
4. Назовите рекомендуемые диапазоны передаточных чисел для открытых (цилиндрических, ременных, цепных) передач.
5. Каково назначение передач в машинах?
6. Какие различают виды зубчатых передач?
7. Приведите примеры применения зубчатых передач в машинах.
- 8 Назовите виды передач с гибкой связью и их область применения.
9. Как определяются значения угловых скоростей и частот вращения на валах привода?
10. Каким образом рассчитываются значения мощностей на валах привода?
11. По каким зависимостям определяются величины вращающих моментов на валах привода?

Список использованных источников

1. ГОСТ 2.770-68 . Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики. – Введен 1971-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 13 с.
2. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учебное пособие / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 11-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия». – 2008. – 496 с. : ил. – (Высшее профессиональное образование). – Библиогр. : с. 493. – ISBN 978-5-7695-4929-8.
3. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введен 1971-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2010. – 58 с.
4. ГОСТ 21424-93. Муфты упругие втулочно-пальцевые. Параметры и размеры. – Введен 1996-07-01. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
5. ГОСТ Р 50894-96. Муфты упругие со звездочкой. Технические условия. – Введен 1997-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 31 с.
6. ГОСТ Р 50892-96. Муфты упругие с торообразной оболочкой. Технические условия. – Введен 1997-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 27 с.
7. ГОСТ Р 50895-96. Муфты зубчатые. Технические условия. – Введен 1997-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 16 с.
8. ГОСТ 20742-93. Муфты цепные. Параметры и размеры. – Введен 1996-07-01. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Изд-во стандартов, 2001. – 17 с.
9. ГОСТ 24246-96. Муфты втулочные. Параметры, конструкция и размеры. – Введен 2000-07-01. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Изд-во стандартов, 2000. – 18 с.

10. ГОСТ 20761-96. Муфты фланцевые. Параметры, конструкция и размеры. – Введен 2000-07-01. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М. : Изд-во стандартов, 2000. – 22 с.

11. Чернилевский, Д.В. Детали машин. Проектирование приводов технологического оборудования : учебное пособие / Д.В. Чернилевский. – 3-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 2003. – 560 с. : ил. – ISBN 5-217-03190-2.

12. Чернавский, С.А. Проектирование механических передач: учебное пособие / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : НИЦ Инфра-М, 2013. – 536 с. : 60x90 1/16. – (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-004470-5. – Режим доступа <http://znanium.com/bookread2.php?book=368442>.

13. Кушнаренко, В.М. Основы проектирования передаточных механизмов : учебное пособие для высших учебных заведений / В.М. Кушнаренко, В.П. Ковалевский, Ю.А. Чирков. – Оренбург : РИК ГОУ ОГУ, 2003. – 251 с. : ил.

14. Кушнаренко, В.М. Прикладная механика : механизмы приборов : учебное пособие / В.М. Кушнаренко, Р.Н. Узяков, Г.А. Клещарева. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005. – 441 с. : ил.

15. ГОСТ 2144-76. Передачи червячные цилиндрические Основные параметры. – Введен 1977-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 3 с.

16. ГОСТ 12289-76. Передачи зубчатые конические. Основные параметры. – Введен 1977-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 6 с.

17. ГОСТ 2185-66. Передачи зубчатые цилиндрические. Основные параметры. – Введен 1968-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 3 с.