

**ОПД.Ф.02.04 ДЕТАЛИ МАШИН**  
**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  
Методические указания

Методические указания разъясняют порядок и содержание этапов проектирования механических приводов технологических установок и оборудования для химической промышленности. Разработаны технические задания на курсовой проект для студентов заочной формы обучения. Материал излагается в соответствии со стадиями проектирования, предусмотренными ЕСКД, и служит «проводником» по процессу конструирования. Тематика методических указаний и уровень изложения материала соответствуют требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям подготовки бакалавров и специалистов: 08.03.01 – Строительство; 15.03.02 – Технологические машины и оборудование; 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств; 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии; 18.05.01 – Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий. Методические указания предназначены для студентов механических специальностей заочного и дневного обучения при выполнении задач, расчетно-графических работ и курсовых проектов.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	4
1 Составление технического задания. . . . .	5
2 Разработка технического предложения. . . . .	8
2.1 Выбор двигателя привода. . . . .	8
2.2 Определение передаточного отношения привода . . . . .	11
2.3 Кинематический расчет привода . . . . .	12
3 Разработка эскизного проекта. . . . .	13
3.1 Выбор материалов зубчатой (червячной) передачи. Определение допускаемых напряжений. . . . .	14
3.2 Расчёт зубчатой (червячной) передачи редуктора. . . . .	14
3.3 Разработка эскиза (компоновки) общего вида редуктора. . . . .	14
4 Разработка технического проекта . . . . .	16
4.1 Составление схемы нагружения валов редуктора. Расчет валов редуктора . . . . .	16
4.2 Расчёт подшипников редуктора. . . . .	16
4.3 Разработка сборочного чертежа редуктора . . . . .	18
4.4 Расчёт открытой передачи . . . . .	21
4.5 Расчет технического уровня редуктора . . . . .	21
4.6 Разработка компоновки общего вида привода . . . . .	24
5 Рабочая конструкторская документация. . . . .	24
ЛИТЕРАТУРА. . . . .	25
Приложение А. Варианты технических заданий . . . . .	26
Приложение Б. Календарный план выполнения курсового проекта. . . . .	36
Приложение В. Бланк заполнения технического задания . . . . .	37
Приложение Г. Титульный лист пояснительной записки. . . . .	42

## ВВЕДЕНИЕ

Современное технологическое оборудование включает в себя разнообразные объекты (изделия), важнейшими из которых являются машины. *Изделие* – любой продукт машиностроения. *Машина* это устройство, совершающее механические движения с целью выполнения полезной работы за счет преобразования энергии. Курсовой проект по деталям машин и основам конструирования (основам проектирования) является первой конструкторской работой, в результате которой студент приобретает навыки самостоятельной творческой деятельности в области проектирования и конструирования приводов технологических машин общего назначения.

Выполнение проекта базируется на полученных ранее знаниях математики, механики, сопротивления материалов и инженерной графики.

Основные требования, предъявляемые к создаваемой машине: высокая производительность, надежность, технологичность, минимальные габариты и масса, экономичность. Эти требования учитывают в процессе конструирования и проектирования.

*Проектирование* - это разработка общей конструкции изделия.

*Конструирование* - это определение формы и размеров всех элементов общей конструкции изделия, необходимых для воплощения принципиальной схемы в реальное изделие.

*Проект* – комплекс текстовых, расчётных и графических документов, полученных в результате проектирования и конструирования, и предназначенных для изготовления, контроля и эксплуатации изделия.

Полученная в результате проектирования и конструирования техническая документация, делится на исходную и проектную.

К исходной документации относится *техническое задание* (ГОСТ 15.001-88), которое содержит общие сведения о назначении создаваемого изделия, предъявляемые к нему эксплуатационные требования и его основные характеристики (геометрические, силовые, кинематические). В *календарном плане*, т.е. в приложении к техническому заданию (ТЗ), конкретизируются этапы, объем, сроки разработки конструкторской документации и сроки выполнения этапов расчетов (Приложение А, Б). Техническое задание заполняется по определенной форме на бланке (Приложение В) и включается в пояснительную записку (ПЗ) после титульного листа (Приложение Г).

Проектная документация, как конечный результат выполнения требований ТЗ, включает в себя, как правило: *техническое предложение*

(ГОСТ 2.118-73); *эскизный проект* (ГОСТ 2.119-73); *технический проект* (ГОСТ 2.120-73); *рабочую конструкторскую документацию* (ГОСТ 2.109-73).

## 1 Составление технического задания

В методических указаниях приводятся технические задания по проектированию приводов к ленточному и подвесному конвейерам, шнеку-смесителю, лебедке, мешалке и тарельчатому питателю. Электромеханический привод размещается на едином основании (литой плите или сварной раме) и состоит из *электродвигателя, механических передач*, и аппаратуры управления (аппаратура управления изучается в курсе электроника и электротехника и др.). Привод при помощи муфты соединяется с *исполнительным устройством машины (рабочим органом)*, т.е. с устройством, выполняющим технологическую или технологически-транспортную операцию, например, с конвейером, шнеком, барабаном лебёдки и т.д.

В приводах, разрабатываемых в рамках данного курсового проекта, предлагается использовать двигатели серии АИР общепромышленного применения. Двигатель преобразует электрическую энергию в механическую энергию вращающегося вала, что позволяет обеспечить высокий КПД электродвигателей (от 60 до 95%) при их малых габаритах и малой металлоёмкости, в том числе и по дорогостоящей меди. Частота вращения ротора  $n_{ном}$  асинхронного двигателя всегда меньше синхронной частоты вращения  $n_c$  магнитного поля, создаваемого током обмотки статора. При работе двигателя под нагрузкой частота вращения вала уменьшается на величину относительного скольжения ( $s$ ), которое определяется из технических данных двигателя. Поэтому номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин:

$$n_{ном} = n_c(1 - s/100).$$

Скорость вращения вала электродвигателя, рад/с:

$$\omega_d = \pi n_{ном}/30.$$

Механические передачи передают механическую энергию на расстояние и выполняют функцию «механического трансформатора», т.е. согласуют кинематические и силовые параметры вала двигателя и вала рабочего органа (уменьшая скорость вращения вала, пропорционально увеличивают крутящий момент на нём).

В состав предлагаемых к разработке приводов входят закрытые передачи в виде нестандартных одноступенчатых редукторов различных типов

(цилиндрические, конические, червячные), а также открытые передачи (ременные, цепные, зубчатые). Закрытые передачи размещаются в закрытых корпусах и работают в условиях непрерывной смазки. Для соединения входного и выходного валов механических передач с валом двигателя и рабочим валом исполнительного устройства машины используют муфты (преимущественно упругие втулочно-пальцевые муфты), или же используют шпоночные соединения вала и детали привода (шкивы, звёздочки и т.д.).




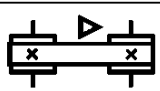

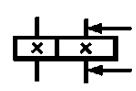
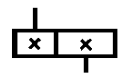
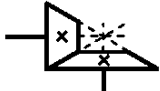
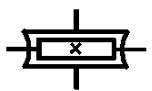
Каждое из 9 технических заданий содержит 25 вариантов и включает общую схему машинного агрегата и исходные данные для проектирования приводного устройства (Приложение А). Срок службы привода в часах подсчитывают по формуле:

$$L_h = 365L_t t_c L_c,$$

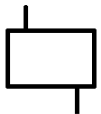
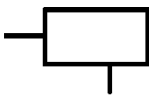


где  $L_t$  – срок службы в годах,  $t_c$  – продолжительность смены в часах,  $L_c$  – число смен.

В рамках работы над оформлением технического задания (ТЗ) студент анализирует и уточняет устройство машинного агрегата на основании принципиальной и структурной схем, содержащихся в техническом задании. При изучении структурной схемы следует руководствоваться ГОСТ 2.770 – 68 (табл. 1).

Таблица 1 – Условные обозначения элементов кинематики на структурных схемах

Обозначение	Наименование
	Вал с подшипниками качения или скольжения
	Муфта (без уточнения типа)
	Муфта упругая нерасцепляемая
	Передача клиноременная (  - знак для клинового, — - для плоского ремня)
	Передача фрикционная с цилиндрическими катками
	Передача зубчатая цилиндрическая (без уточнения типа зубьев)
	Передача зубчатая коническая (без уточнения типа зубьев)
	Передача червячная с цилиндрическим червяком

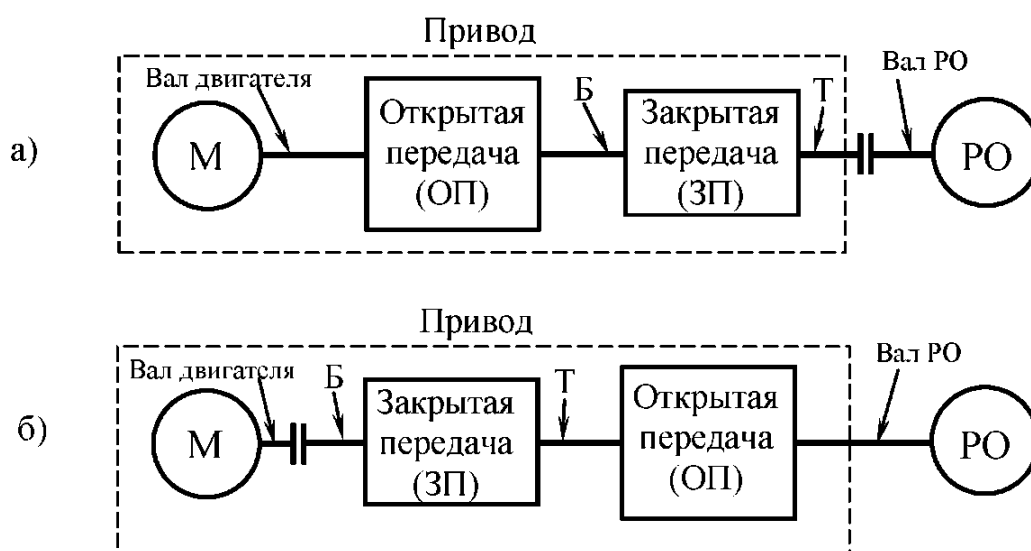
Продолжение таблицы 1

Обозначение	Наименование
	Редуктор цилиндрический одно – или многоступенчатый (блок – схема)
	Редуктор конический или конически – цилиндрический (блок – схема)
	Электродвигатель (мотор)
	Рабочий орган (исполнительное устройство) машины

В техническом задании используются два основных варианта блок-схем с различной последовательностью составных частей:

блок-схема I: двигатель - открытая механическая передача - закрытая механическая передача - муфта - вал рабочего органа машины (рис. 1, а);

блок-схема II: двигатель - муфта - закрытая передача - открытая передача - вал рабочего органа машины (рис. 1, б).



Б – быстроходный вал редуктора; Т – тихоходный вал редуктора;

Рисунок 1 – Блок-схемы для привода машин

## 2 Разработка технического предложения

### 2.1 Выбор двигателя привода

Двигатель привода выбирается из унифицированной серии АИР (А – асинхронный, И – интерэлектро, Р – вариант привязки мощности к установочным размерам в соответствии с ГОСТ Р 51689-2000) по номинальной мощности и номинальной синхронной частоте вращения вала без нагрузки (табл. 2). *Номинальная*, т.е. максимальная, мощность  $N_{н.д.}$ , которую может обеспечивать электродвигатель в штатном режиме эксплуатации, должна превышать суммарную требуемую мощность  $N_{р.м.}$ , необходимую для проведения технологического процесса и мощность потерь на трение в элементах механических передач (учитывается введением в расчёты коэффициента полезного действия – КПД).

Таблица 2 – Технические данные двигателей серии АИР закрытые обдуваемые

$N_{н.д.}$ кВт	$n_c = 3000$ об/мин				$n_c = 1500$ об/мин			
	Типоразмер	КПД, %	$S$ , %	$T_{max}/T_{ном}$	Типоразмер	КПД, %	$S$ , %	$T_{max}/T_{ном}$
0,25	АИР56В2	69,0	9,0	2,2	АИР63А4	68,0	12,0	2,2
0,37	АИР63А2	72,0	9,0	2,2	АИР63В4	68,0	12,0	2,2
0,55	АИР63В2	75,0	9,0	2,2	АИР71А4	70,5	9,5	2,2
0,75	АИР71А2	78,5	6,0	2,2	АИР71В4	73,0	10,0	2,2
1,10	АИР71В2	79,0	6,5	2,2	АИР80А4	75,0	7,0	2,2
1,50	АИР80А2	81,0	5,0	2,2	АИР80В4	78,0	7,0	2,2
2,20	АИР80В2	83,0	5,0	2,2	АИР90L4	81,0	7,0	2,2
3,00	АИР90L2	84,5	5,0	2,2	АИР100S4	82,0	6,0	2,2
4,00	АИР100S2	87,0	5,0	2,2	АИР100L4	85,0	6,0	2,2
5,50	АИР100L2	88,0	5,0	2,2	АИР112M4	85,5	4,5	2,5
7,50	АИР112M2	87,5	3,5	2,2	АИР132S4	87,5	4,0	2,5
11,0	АИР132M2	88,0	3,0	2,2	АИР132M4	87,5	3,5	2,7
15,0	АИР160S2	90,0	3,0	2,7	АИР160S4	90,0	3,0	2,9
18,5	АИР160M2	90,5	3,0	2,7	АИР160M4	90,5	3,0	2,9
22,0	АИР180S2	90,5	2,7	2,7	АИР180S4	90,5	2,5	2,4
30,0	АИР180M2	91,5	2,5	3,0	АИР180M4	92,0	2,0	2,7
37,0	АИР200M2	91,5	2,0	2,8	АИР200M4	92,5	2,0	2,7
45,0	АИР200S2	92,0	2,0	2,8	АИР200L4	92,5	2,0	2,7

Продолжение таблицы 2

N <sub>н.д.</sub> , кВт	n <sub>c</sub> = 1000 об/мин				n <sub>c</sub> = 750 об/мин			
	Типоразмер	КПД, %	S, %	T <sub>max</sub> / T <sub>ном</sub>	Типоразмер	КПД, %	S, %	T <sub>max</sub> / T <sub>ном</sub>
0,25	АИР63В6	59,0	14,0	2,2	АИР71В8	56,0	8,0	1,9
0,37	АИР71А6	65,0	8,5	2,2	АИР80А8	60,0	6,5	1,9
0,55	АИР71В6	68,5	8,5	2,2	АИР80В8	64,0	6,5	1,9
0,75	АИР80А6	70,0	8,0	2,2	АИР90L8	70,0	7,0	1,7
1,10	АИР80В6	74,0	8,0	2,2	АИР90LВ8	72,0	7,0	1,7
1,50	АИР90L6	76,0	7,5	2,2	АИР100L8	76,0	6,0	1,7
2,20	АИР100L6	81,0	5,5	2,2	АИР112МA8	76,5	5,5	2,2
3,00	АИР112МA6	81,0	5,0	2,2	АИР112МВ8	79,0	5,5	2,2
4,00	АИР112МВ6	82,0	5,0	2,2	АИР132S8	83,0	4,5	2,2
5,50	АИР132S6	85,0	4,0	2,2	АИР132М8	83,0	5,0	2,2
7,50	АИР132М6	85,5	4,0	2,2	АИР160S8	87,0	3,0	2,4
11,0	АИР160S6	88,0	3,0	2,7	АИР160М8	87,5	3,0	2,4
15,0	АИР160М6	88,0	3,0	2,7	АИР180М8	89,0	2,5	2,2
18,5	АИР180М6	89,5	2,0	2,4	АИР200М8	89,0	2,5	2,3
22,0	АИР200М6	90,0	2,0	2,4	АИР200L8	90,0	2,5	2,3
30,0	АИР200L6	90,0	2,5	2,4	АИР225М8	90,5	2,5	2,3
37,0	АИР225М6	91,0	2,0	2,3	АИР250S8	92,5	2,0	2,3
45,0	АИР250S6	92,5	2,0	2,3	АИР250М8	92,5	2,0	2,2

Примечание: T<sub>ном</sub> – номинальный (расчетный) момент; T<sub>max</sub> – максимальный момент двигателя при пуске

Требуемая мощность рабочей машины в кВт находится по формулам:

$N_{р.м.} = F \cdot V$  – если в исходных данных указано значение тяговой силы  $F$  и линейной скорости  $V$  тягового органа машины ( $F$  подставляется в кН,  $V$  – в м/с).

$N_{р.м.} = T \cdot \omega$  – если указано значение вращающего момента в кН·м и угловой скорости  $\omega$  в рад/с.

Общий коэффициент полезного действия (КПД) привода:

$$\eta = \eta_{з.п.} \cdot \eta_{о.п.} \cdot \eta_{м.} \cdot \eta_{пк.}$$

где  $\eta_{з.п.}$  – КПД закрытой передачи,  $\eta_{о.п.}$  – открытой передачи,  $\eta_{м.}$  – муфты,  $\eta_{пк.}$  – одной пары подшипников качения.

Значения КПД передач и подшипников определяются по таблице 3.

Таблица 3 – Значения КПД механических передач

Тип (параметр)	Открытая	Закрытая
Зубчатая		
цилиндрическая	0,93...0,95	0,96...0,97
коническая	0,92...0,94	0,95...0,97
Червячная (при передаточном числе $u$ )		
$u$ свыше 30	–	0,70...0,75
$u$ от 14 до 30	–	0,80...0,85
$u$ от 8 до 14	–	0,85...0,95
Цепная		
роликовая	0,90...0,93	0,95...0,97
Ременная		
с плоским ремнем	0,96...0,98	–
с клиновым ремнем	0,95...0,97	–
Пара подшипников		
качения	0,99...0,995	0,99...0,995
скольжения	0,98...0,99	0,98...0,99
Муфта упругая втулочно-пальцевая (ГОСТ 21424-93)		
0,98		

Расчетная мощность двигателя:

$$N_{р.д.} = \frac{N_{р.м.}}{\eta}, \text{ кВт.}$$

Значение номинальной мощности двигателя выбирается из таблицы 2 по ближайшей большей величине к расчетной мощности:

$$N_{н.д.} > N_{р.д.}$$

Для одной и той же мощности соответствуют двигатели с синхронными частотами вращения 3000, 1500, 1000 и 750 об/мин. При этом надо учитывать, что двигатели с частотой 3000 об/мин имеют низкий рабочий ресурс, а двигатели с 750 об/мин весьма металлоемки, поэтому их нежелательно применять без особой необходимости. Исходя из вышесказанного рекомендуется использовать двигатели с частотами 1500 об/мин или 1000 об/мин. Из них следует выбрать тот двигатель, который дает минимальные отклонения от расчетного передаточного отношения.

## 2.2 Определение передаточного отношения привода

Передаточное отношения привода определяется отношением номинальной частоты вращения двигателя  $n_{po}$  к частоте вращения рабочего органа машины  $n_{р.о.}$  при минимальной нагрузке и равно произведению передаточных отношений закрытой  $u_{з.п.}$  и открытой  $u_{о.п.}$  передач:

$$u = n_{ном} / n_{po} = u_{з.п.} \cdot u_{о.п.}$$

Частота вращения приводного вала рабочей машины:

а) для ленточных конвейеров, шнеков-смесителей, лебедок и мешалок:

$$n_{р.о.} = 60 \cdot 1000 \cdot V / (\pi D),$$

где  $V$  – скорость тягового органа, м/с;

$D$  – диаметр барабана, шнека или диска питателя, мм.

б) для цепных конвейеров:

$$n_{р.о.} = 60 \cdot 1000 \cdot V / (zt),$$

где  $V$  – скорость цепи, м/с;  $z$  – количество зубьев ведущей звездочки тягового органа;  $t$  – шаг тяговой цепи, мм.

Далее необходимо осуществить разбивку общего передаточного отношения (числа) на  $u_{зп}$  и  $u_{оп}$ . Здесь необходимо руководствоваться данными, приведенными в таблице 4. Для того, чтобы габариты передач не были чрезмерно большими, нужно придерживаться некоторых средних значений  $u_{зп}$  и  $u_{оп}$ , по возможности доводя их до наибольших, допускаемых в отдельных случаях.

Таблица 4 – Рекомендуемые значения передаточных чисел

<p>Закрытые зубчатые передачи.          Одноступенчатые цилиндрические и конические редукторы:          1-й ряд: 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.</p>
<p>Закрытые червячные передачи.          Одноступенчатые редукторы для червяка с числом витков <math>z_1 = 1; 2; 4</math>:          1-й ряд: 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5.          2-й ряд: 11,2; 14,0; 18; 22,4; 28; 35,5.</p>
<p>Открытые зубчатые передачи: 3...7</p>
<p>Цепные передачи 2...4          Ременные передачи 2...3</p>

*Значения первого ряда следует предпочесть значениям второго ряда.*

### 2.3 Кинематический расчет привода

Кинематический расчет привода позволяет получить исходные данные для прочностного расчёта элементов механических передач, определения размеров передач.

Энергетические параметры (мощность), кинематические параметры (частота вращения и угловая скорость) и силовые параметры (вращающий момент) на всех валах привода (двигателя, быстроходном (Б), тихоходном (Т), рабочего органа (РО)) определяются, исходя из расчетной мощности и номинальной частоты вращения двигателя при установившемся режиме движения.

Для принятых в техническом задании принципиальных схем I и II (см. рис. 1) расчеты выполняются согласно последовательности, приводимой в таблице 5.

Таблица 5 – Определение силовых и кинематических параметров привода

Параметр		Вал (см. ТЗ)	Принятая кинематическая схема (по рис. 1)			
			I		II	
Мощность N, кВт		Двигателя	$N_d$		$N_d$	
		Б	$N_1 = N_d \eta_{оп} \eta_{пк}$		$N_1 = N_d \eta_m \eta_{пк}$	
		Т	$N_2 = N_1 \eta_{зп} \eta_{пк}$		$N_2 = N_1 \eta_{зп} \eta_{пк}$	
		Вал РО	$N_{ро} = N_2 \eta_m \eta_{пк}$		$N_{ро} = N_2 \eta_{оп} \eta_{пк}$	
Частота вращения n, об/мин	Угловая скорость $\omega$ , с <sup>-1</sup>	Двигателя	$n_{ном}$	$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}$	$n_{ном}$	$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}$
		Б	$n_1 = \frac{n_{ном}}{u_{оп}}$	$\omega_1 = \frac{\omega_{ном}}{u_{оп}}$	$n_1 = n_{ном}$	$\omega_1 = \omega_{ном}$
		Т	$n_2 = \frac{n_1}{u_{зп}}$	$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{зп}}$	$n_2 = \frac{n_1}{u_{зп}}$	$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{зп}}$
		Вал РО	$n_{ро} = n_2$	$\omega_{ро} = \omega_2$	$n_{ро} = n_2 / u_{оп}$	$\omega_{ро} = \omega_2 / u_{оп}$
Вращающий момент T, Н·м		Двигателя	$T_d = \frac{N_d \cdot 10^3}{\omega_{ном}}$		$T_d = \frac{N_d \cdot 10^3}{\omega_{ном}}$	
		Б	$T_1 = T_d u_{оп} \eta_{оп} \eta_{пк}$		$T_1 = T_d \eta_m \eta_{пк}$	
		Т	$T_2 = T_1 u_{зп} \eta_{зп} \eta_{пк}$		$T_2 = T_1 u_{зп} \eta_{зп} \eta_{пк}$	
		Вал РО	$T_{ро} = T_2 \eta_m \eta_{пк}$		$T_{ро} = T_2 u_{оп} \eta_{оп} \eta_{пк}$	

### 3 Разработка эскизного проекта

Эскизный проект выполняется на основании данных, полученных при разработке технического предложения. Данный этап включает расчёты зубчатых (червячных) передач редуктора, а также разработку эскиза компоновки редуктора.

Здесь следует учитывать технический уровень проектируемого редуктора. Критерием  $j$  технического уровня является отношение массы редуктора  $M$ , в килограммах, к моменту на тихоходном валу. В эскизном проектировании предварительно можно принять средний технический уровень:

$$j = M / T_2 = (0,1 \dots 0,2) \text{ кг}/(\text{Н}\cdot\text{м}).$$

Это дает возможность ориентировочно прогнозировать значения главного геометрического параметра редуктора ( $a_w$  – межосевое расстояние для цилиндрической по ГОСТ 2185-66 и червячной по ГОСТ 2144-76 передачи;  $d_{e2}$  – внешний делительный диаметр колеса для конической передачи по ГОСТ 12289-76).

Поэтому рекомендуется поступать в следующей последовательности:

а) определить диапазон массы редуктора (в кг), ориентируясь вначале на среднее значение массы в диапазоне:

$$M = (0,1 \dots 0,2)T_2;$$

б) по величине массы  $M$  определить предполагаемый диапазон главного параметра редуктора из таблицы 6.

Таблица 6 – Главный параметр одноступенчатого редуктора

Цилиндрические редукторы											
Масса редуктора $M$ , кг	30	40	50	60	70	85	110	140	180	230	290
Межосевое расстояние $a_w$ , мм	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280
Конические редукторы											
Масса редуктора $M$ , кг	15	20	25	30	40	60	80	110	150	200	
Внешний делительный диаметр $d_{e2}$ , мм	$u = 2 \dots 2,8$	100	112	125	140	160	180	200	225	250	280
	$u = 3,15 \dots 5$	112	125	140	160	180	200	225	250	280	315
Червячные редукторы											
Масса редуктора $M$ , кг	40	50	60	70	85	110	140	190	240	300	360
Межосевое расстояние $a_w$ , мм	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280

### 3.1 Выбор материалов зубчатой (червячной) передачи. Определение допускаемых напряжений

На этой стадии проектирования, в соответствии с техническим заданием и календарным планом (Приложение А, Б), выбирают материалы для зубчатых (червячных) колёс механизмов передач, а также рассчитывают величины допускаемых напряжений для данных материалов. Зубчатые колёса изготавливают из стали [1-9], червяк (ведущее звено червячной передачи) изготавливается из стали, а червячное колесо изготавливают из чугуна или делают составным венцом (обод с зубьями) из бронзы, а диск со ступицей из чугуна или стали [1-9].

### 3.2 Расчёт зубчатой (червячной) передачи редуктора

Затем выполняют *проектный расчёт* закрытой зубчатой передачи редуктора – определяют размеры (геометрические параметры) зубчатой передачи исходя из необходимого сопротивления контактной усталости зубьев. После уточнения полученных параметров (межосевое расстояние  $a_w$ , модуль зацепления  $m$ , число зубьев  $z$ ) выполняют *проверочный расчёт* зубьев на сопротивление контактной усталости и на изгиб. Сравнивают полученные значения с предварительно выбранным главным параметром редуктора.

При выполнении расчетов передач одноступенчатых редукторов пользуются методиками, изложенными в пособиях [1-6] и методических указаниях [7-9]:

- цилиндрический редуктор [1, стр. 31-35], [2, стр. 61-67];
- конический редуктор [1, стр. 68-72], [2, стр. 68-73];
- червячный редуктор [1, стр. 97-100], [2, стр. 74-79].

На данном этапе целесообразно выполнить также предварительный проектный расчет валов. Поскольку на данном этапе проектирования размеры валов (длины) не известны, соответственно расчёт на изгиб невозможен, то расчет выполняют только по условию прочности на кручение. Для косвенного учёта деформации изгиба – расчет на кручение проводится по пониженным касательным напряжениям. Пониженные допускаемые касательные напряжения для быстроходного вала рекомендуется принять  $[\tau] \approx 15$  МПа, для промежуточного вала –  $[\tau] \approx 20$  МПа, а для тихоходного –  $[\tau] \approx 25$  МПа.

### 3.3 Разработка эскиза (компоновки) общего вида редуктора

По полученным геометрическим параметрам закрытой передачи разрабатывается (на миллиметровой бумаге) компоновка общего вида редуктора [1, стр. 115-123], [2, стр. 111-133].

Для одноступенчатых цилиндрических редукторов компоновку выполняют в последовательности [1, стр. 116-117], вспомогательные данные для компоновки приведены [1, стр. 115]. Компоновку одноступенчатых конических редукторов следует выполнять по схеме, приведенной в [1, стр. 120-121]. Компоновку одноступенчатых червячных редукторов выполняют в последовательности, изложенной в [1, стр. 123].

Компоновка выполняется путём поэтапного переработки и дополнения составленной кинематической схемы (схемы в масштабе) до получения эскиза главного вида редуктора. Исходными данными являются структурная схема редуктора (схема без масштаба), вычисленные межосевые расстояния передач  $a_w$ , размеры колёс (делительные диаметры, диаметры вершин, ширины венцов), ориентировочные диаметры валов (длины валов определяются окончательно лишь на последних этапах эскизного конструирования).

Рекомендуется придерживаться следующего порядка работы по эскизному конструированию редуктора:

- по исходным данным подбирается стандартный масштаб изображения – масштаб должен позволить разместить главный вид на формате А2, оставив при этом место для простановки размеров и штампа;

- на миллиметровой бумаге первоначально изображается кинематическая схема редуктора, которая выглядит, так же как и структурная, но выполняется в масштабе, например, межосевые расстояния  $a_w$  должны соответствовать расчетным значениям;

- на первом этапе доработки кинематической схемы, контурно по габаритным размерам (диаметры и ширины венцов колес, диаметры валов) в виде прямоугольников схематически изображаются колеса и валы;

- на втором этапе доработки схематически изображается внутренний контур редуктора в виде прямоугольника, охватывающего зубчатую передачу; причём, между вращающимися деталями должны быть предусмотрены определённые зазоры: между торцами зубчатых колёс  $\Delta_1 \approx 0,5\delta$ ; между торцом колеса и внутренними деталями корпуса  $\Delta_2 \approx 0,8\delta$ ; между вершинами зубьев колёса и корпусом  $\Delta_3 \approx 1,25\delta$  (здесь  $\delta$  – толщина литой стенки картера,  $\delta = 2(0,1T)^{0,25} \geq 6$  мм, где  $T$  – вращающий момент на тихоходном валу, Н·м).

- на третьем этапе, согласно кинематической схеме, намечаются места расположения подшипников; предварительно по диаметрам валов  $d$  подбираются подшипники средней серии (для цилиндрических редукторов – шариковые радиальные, для конических и червячных – роликовые радиально-упорные); основными габаритными размерами подшипников являются их наружный диаметр  $D$  и ширина  $B$ .

- на четвертом этапе схематически изображается внешний контур редуктора, для чего намечаются размеры фланцев разъема картера (нижней части корпуса) для её соединения с крышкой; ширина фланцев в местах

расположения подшипников должна быть больше ширины В подшипников тихоходного вала примерно на  $15\div 20\%$ ;

- на пятом этапе назначаются длины вылетов (консолей для размещения муфт) входного и выходного валов, величиной  $1,6 - 2$  диаметра вала по ГОСТ 12080-66 для цилиндрического и ГОСТ 12081-72 для конического конца вала;

- на заключительном этапе – на полученном эскизе (рис. 2) должны быть проставлены необходимые размеры, полученные расчетом или принятые конструктивно: габаритные, межосевые расстояния, диаметры валов и колёс, длины участков валов (границами являются середины колёс, середины подшипников, середины консольных участков).

## **4 Разработка технического проекта**

Технический проект направлен на разработку конструкции редуктора и привода технологической машины. На данном этапе проектирования выполняются расчёты валов, расчёты подшипников редуктора, расчёт открытой передачи. Графическая часть включает сборочный чертёж редуктора и компоновку привода.

Результаты технического проекта являются основанием для разработки пакета рабочей конструкторской документации.

### **4.1 Составление схемы нагружения валов редуктора.**

#### **Расчет валов редуктора**

Расчёту валов предшествует составление схемы нагружения валов редуктора [1, стр. 125-128]; [10]. При составлении силовой схемы учитывают крутящие моменты; силы, возникающие в зацеплении; силы, действующие со стороны элементов открытой передачи и муфт; опорные реакции со стороны подшипников.

Расчет валов редуктора выполняют согласно методике представленной в работе [10]. Конечная цель – определение коэффициента запаса прочности по переменным напряжениям.

### **4.2 Расчёт подшипников редуктора**

Целью расчёта подшипников является определение их долговечности, которая не должна быть меньше срока службы привода. Исходными данными являются значения радиальных и осевых реакций в опорах вала (подшипниках), а также параметры выбранного подшипника. При невыполнении условия

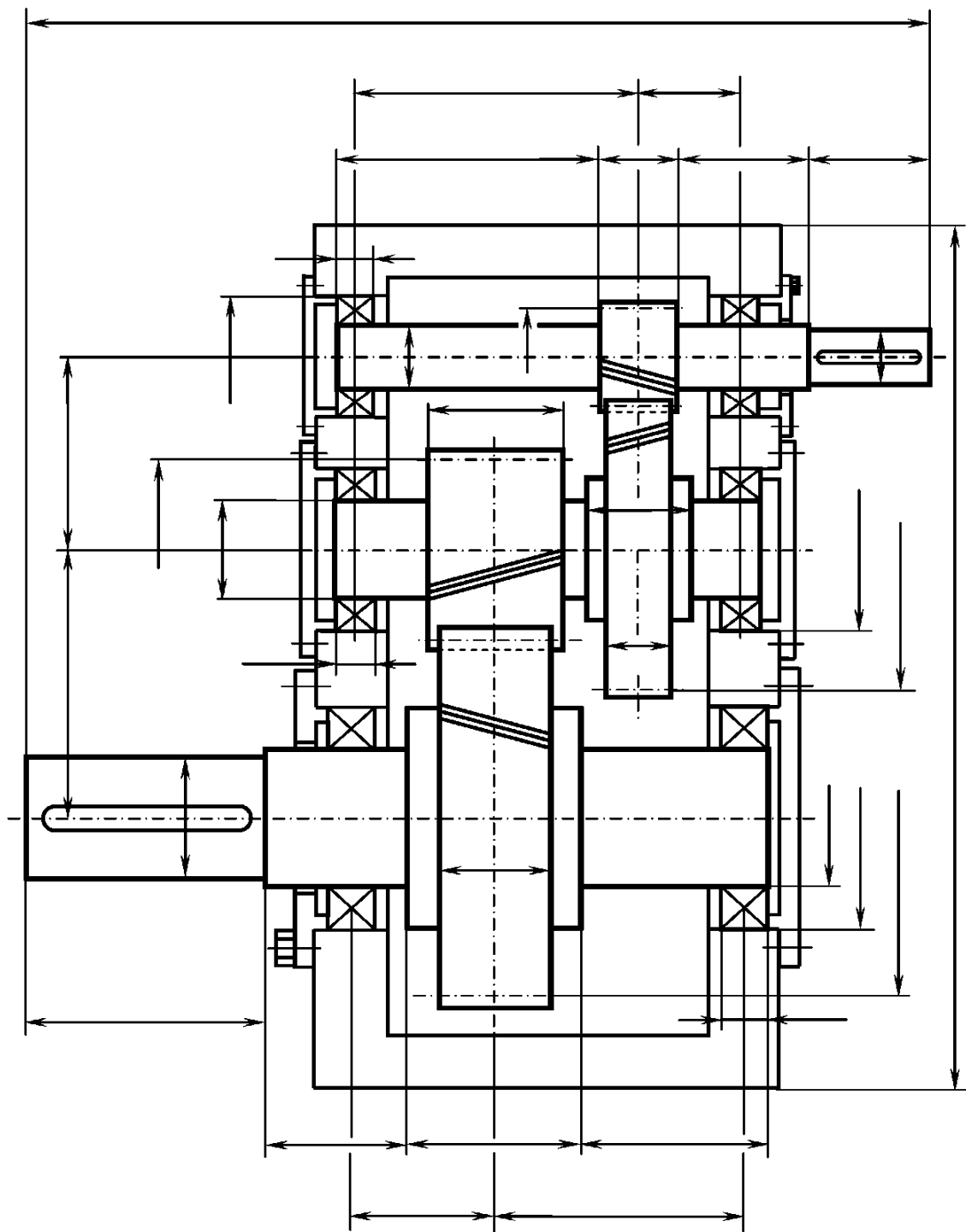


Рисунок 2 – Эскиз компоновки двухступенчатого горизонтального цилиндрического редуктора

долговечности, необходимо использовать подшипники более тяжелых серий. Расчет выполняется согласно методике, представленной в работе [11].

### 4.3 Разработка сборочного чертежа редуктора

Сборочный чертёж редуктора разрабатывается на основании эскиза компоновки. Масштаб чертежа, как правило, совпадает с масштабом компоновки. При необходимости в эскизную конструкцию вносятся изменения, например, уточняются типоразмеры подшипников, уточняются длины и диаметры консольных участков валов для размещения на них стандартных полумуфт и др. Примеры выполнения сборочных чертежей редукторов представлены в пособиях [1, стр. 242-299]; [2, стр. 280-298, стр. 352-387].

Корпус редуктора служит для правильного взаимного положения зубчатых передач, восприятия усилий, возникающих при работе, защиты от загрязнений, как ёмкость для смазки. Корпусы редукторов обычно бывают литыми (чугун), реже сварными. Конструктивные особенности корпусных деталей в их взаимосвязи с элементами передачи целесообразно рассмотреть на примере устройства цилиндрического редуктора (рис. 3).

Толщину стенки картера принятую при эскизном проектировании можно уточнить в зависимости от приведённого габарита  $L_{пр}$  корпуса (табл. 7):

$$L_{пр} = (2L + B + H)/4,$$

где  $L$ ,  $B$ ,  $H$  – соответственно длина, ширина и высота корпуса.

Таблица 7 – Зависимость толщины стенок литого корпуса редуктора от приведённого габарита

$L_{пр}, м$	0,4	0,75	1,0	1,5	1,8
$\delta, мм$	6	8	10	12	14

Элементы корпуса должны сопрягаться одинаковым радиусом  $r \approx 0,25\delta$ .

Толщина стенки крышки составляет примерно  $0,8\delta$  (где  $\delta$  – толщина стенки картера).

Для повышения жёсткости корпус усиливают рёбрами, расположенными по осям опор валов. Поперечные сечения рёбер жёсткости имеют литейный уклон.

Корпус редуктора для удобства монтажа выполняют разъемным (рис. 3). Нижняя часть 1 называется *картером*, а верхняя – *крышкой* 2. По всему контуру разъёма предусмотрены *фланцы*, в которых размещаются *болты* 3, стягивающие картер и крышку (диаметры болтов принимаются примерно равными  $d_{\delta} \approx (T)^{1/3}$ ). Толщина каждого фланца по разъёму составляет примерно

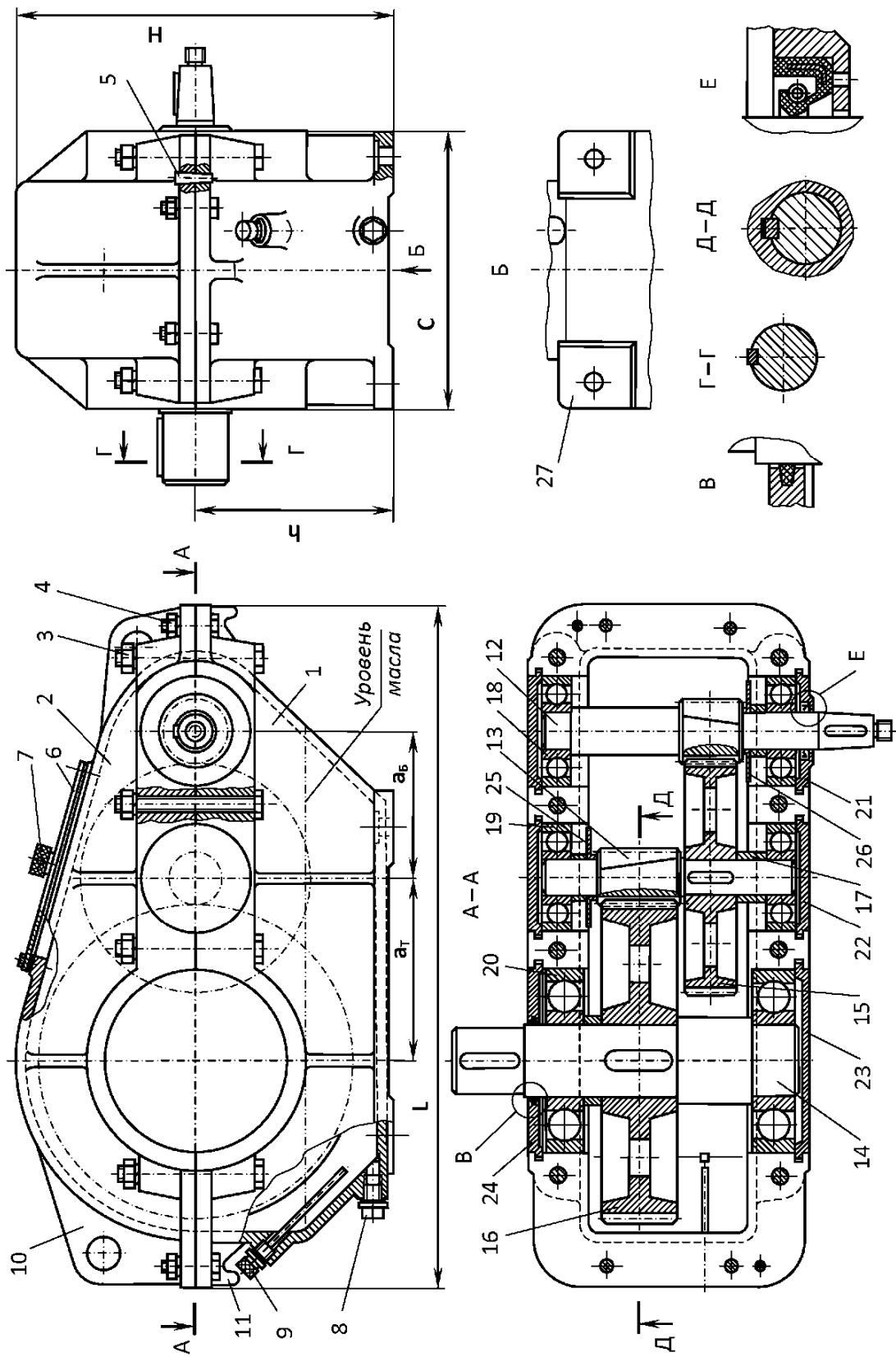


Рисунок 3 — Двухступенчатый горизонтальный цилиндрический редуктор

1,5 $\delta$ . Основные стяжные болты 3 стремятся максимально приблизить к *подшипникам* 18, 19, 20 для увеличения жёсткости соединения. Остальные болты 4 располагают с шагом  $(12 \div 15)d_6$ . Ширина самого фланца  $(2,7d_6)$  устанавливается такой, чтобы на ней свободно размещались шестигранные гайки, и была бы возможность поворота гаечного ключа на 60°.

Плотность прилегания крышки к картеру достигается соответствующей обработкой рабочей поверхности фланцев (шабрение и шлифовка); при сборке на поверхности наносят герметик.

В крышке редуктора с целью заливки масла в картер (картерная смазка), а так же для визуального контроля над правильностью зацепления зубьев колёс 15 и 16 с зубьями валов-шестерней 13 и 12 при регулировке имеется окно, закрытое прямоугольной крышкой 6 с *отдушиной* 7. Отдушина служит для выравнивания давления внутри корпуса с атмосферным, что предотвращает утечку масла через уплотнения. При картерной смазке венец колеса быстроходной ступени погружается в масло на высоту зуба. При вращении колёс масло попадает, как в зону зацепления, так и в подшипники. Уровень масла контролируют щупом 9, на котором имеются соответствующие риски.

Для слива отработанного масла в картере имеется отверстие, заглушенное пробкой 8 и медной шайбой, подкладываемой под головку винта-пробки 8. Масло сливают без разборки редуктора – стекание происходит благодаря дну картера, выполненному с уклоном примерно 1,5° в сторону спускного отверстия. Для полного удаления отработанного масла возле отверстия на дне делается местное углубление.

Герметичность быстроходного вала 12, промежуточного вала-шестерни 13, тихоходного вала 14 и их точная установка относительно корпуса обеспечивается закладными глухими крышками 22, 23 и закладными сквозными крышками 21 и 24. Герметичность прохождения консольных частей быстроходного и тихоходного валов через сквозные крышки 21 и 24 достигается применением войлочных колец (вид В) и уплотнительных манжет (вид Е). Во избежание попадания в подшипники продуктов износа зубчатых колёс, а так же излишнего полива маслом, подшипники расположенные ближе к зубчатому колесу закрываются маслозащитными шайбами 25 и 26.

В данной конструкции редуктора валы установлены наиболее распространённым способом – «враспор». Для осевой фиксации валов использованы распорные втулки 17. Между вращающимися деталями, как указывалось выше, должны быть предусмотрены определённые зазоры: между торцами зубчатых колёс  $\Delta_1 \approx 0,5\delta$ , между торцом колеса и внутренними деталями корпуса  $\Delta_2 \approx 0,8\delta$ , между вершинами зубьев колёса и корпусом  $\Delta_3 \approx 1,25\delta$ .

Для размещения подшипников на боковых стенках корпуса предусмотрены *приливы*. Отверстия под подшипники растачивают в сборке

картера 1 с крышкой 2, при этом точность стыковки этих двух деталей обеспечивается установочными *штифтами* 5.

Для установки редуктора на раме или плите привода в нижней части картера 1 делают фланцы, в которых имеются отверстия под болты (диаметры болтов  $d_{\phi} \approx 1,25d_{\phi}$ ). Число фундаментных болтов при  $a_r \leq 250$  мм  $z_{\phi} = 4$ , при  $a_r > 250$  мм  $z_{\phi} = 6$ . Опорная поверхность корпуса редуктора (вид Б) выполнена в виде четырёх обработанных *платиков* 27. Поскольку поверхности под головками болтов или под шайбами должны быть перпендикулярны к осям отверстий, то их обрабатывают: фрезеруют, если имеется пластик, или зенкуют для гладких фланцев.

Для перемещения крышки и картера используют проушины 10 и крючья 11.

Подобные рекомендации справедливы и для корпусов червячных редукторов.

На сборочном чертеже должны быть проставлены несколько групп основных размеров:

- габаритные;
- установочные;
- присоединительные (размеры входного и выходного валов с указанием допусков);
- посадочные (в местах расположения колёс, подшипников, крышек и т.д.).

Могут указываться также справочные размеры, которые облегчают понимание конструктивных особенностей изделия.

#### 4.4 Расчёт открытой передачи

Необходимым этапом является расчёт открытой передачи. С этой целью, в зависимости от типа открытой передачи, приведенной в техническом задании на структурной схеме привода, выполняются проектные и проверочные расчёты в соответствии с методиками, изложенными в литературе [1, 2]:

- открытые цилиндрические передачи [1, стр. 45];
- открытые конические передачи [1, стр. 78];
- плоскоремённые передачи [1, стр. 326-329]; [2, стр. 79-85];
- клиноремённые передачи [1, стр. 333-336]; [2, стр. 85-91];.

#### 4.5 Расчет технического уровня редуктора

Для количественной оценки технического уровня редуктора используют параметр, отражающий соотношение затраченных средств и полученного результата. «Результатом» для редуктора является его

нагрузочная способность – вращающий момент  $T$  (в кН·м) на тихоходном (выходном) валу. Мерой затраченных средств считают массу редуктора  $M$ . Таким образом, критерий технического уровня характеризуется расходом материала на передачу крутящего момента:

$$\gamma = M / T.$$

На стадии эскизного проекта масса редуктора определялась ориентировочно. На стадии технического проекта, когда разработана окончательная конструкция редуктора и установлены его максимальные габариты ( $L$ ,  $B$ ,  $H$ ), следует определить действительную массу ( $M$ , кг) и фактический критерий технического уровня  $\gamma$ .

Определение массы редуктора необходимо проводить в следующей последовательности:

- для цилиндрического и конического редукторов:

$$M = \phi \cdot \rho \cdot V \cdot 10^{-9} \text{ (кг)},$$

где  $\phi$  – коэффициент заполнения, зависящий от межосевого расстояния;

$a_w$  – для цилиндрического редуктора (рис. 4) или в зависимости от внешнего конусного расстояния  $R_e$  – для конического редуктора (рис. 5);

$\rho = 7,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  – плотность чугуна;

$V$  – условный объем редуктора, определяемый как произведение наибольшей длины, ширины и высоты редуктора,  $\text{мм}^3$ :

$$V = L \times B \times H,$$

- для червячного редуктора:

$$M = \phi \cdot \rho \cdot d_1 \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot 10^{-9} \text{ (кг)},$$

где  $\phi$  – коэффициент заполнения, определяемый по графику (рис. 6) в зависимости от делительного диаметра колеса  $d_2$ , мм;

$d_1$  – делительный диаметр червяка, мм;

$\rho$  – плотность чугуна.

Критерий технического уровня позволяет сравнить спроектированный редуктор со стандартной конструкцией. Следует иметь в виду, что конструкции редукторов, изготавливаемых в условиях индивидуального или мелкосерийного производства, могут существенно не дотягивать до высоких значений критерия технического уровня.

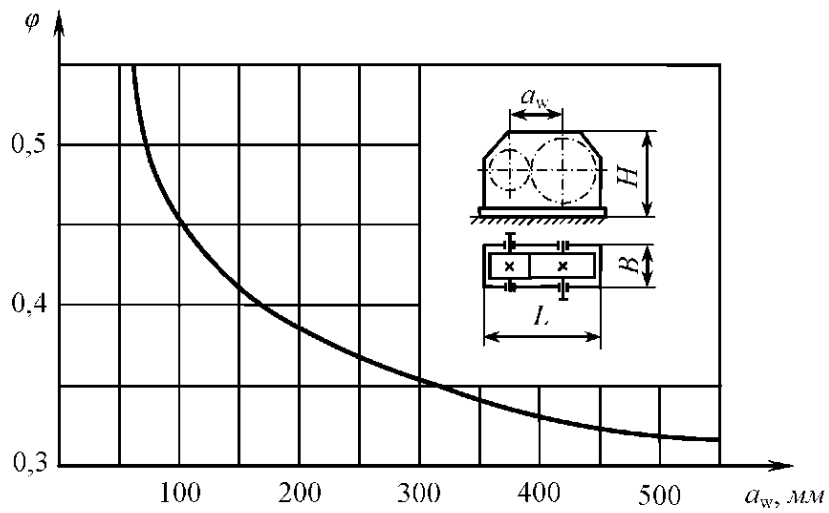


Рисунок 4 – Коэффициент заполнения цилиндрического одноступенчатого редуктора

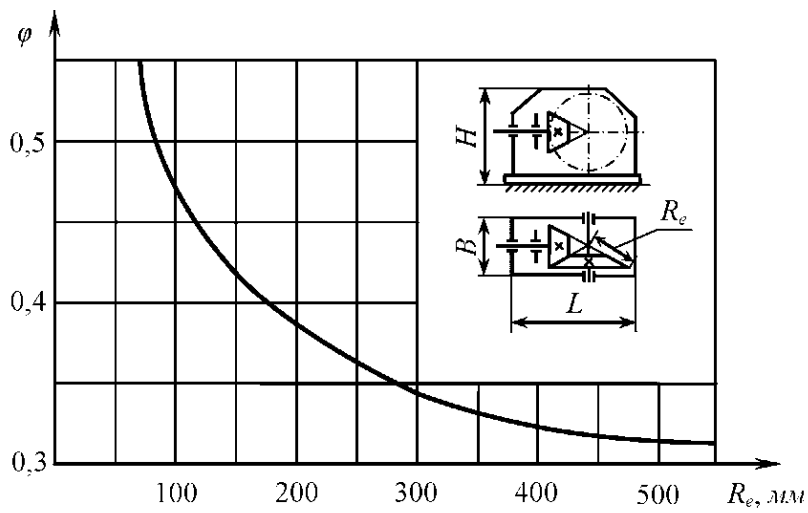


Рисунок 5 – Коэффициент заполнения конического одноступенчатого редуктора

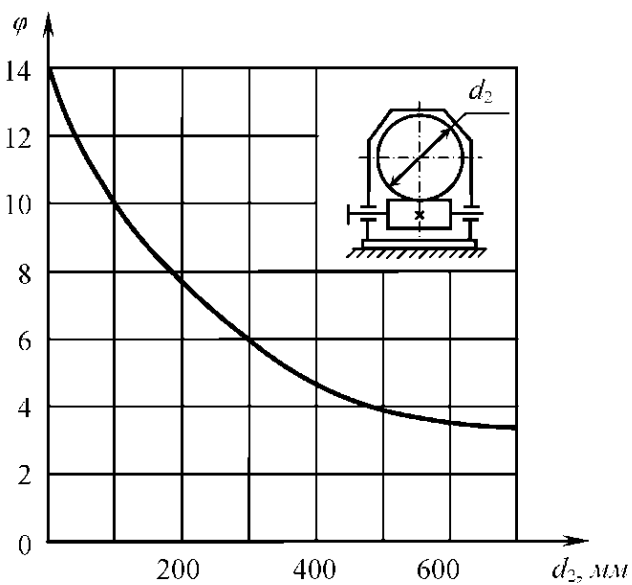


Рисунок 6 – Коэффициент заполнения червячного одноступенчатого редуктора

#### 4.6 Разработка компоновки общего вида привода

Целью разработки компоновки общего вида привода является взаимная конструкторская увязка редуктора, открытой передачи, двигателя, муфт и других узлов на единой основе – литой плите или раме. При составлении компоновки необходимо добиваться такого расположения узлов и деталей, при котором создается наибольшее удобство для их монтажа и эксплуатации [1, стр. 312-325]; [2, стр. 158-165];.

Компоновка привода должна содержать:

- изображение (упрощенное) привода в двух проекциях с необходимыми выносными видами и разрезами, а также таблицу перечня составных частей (*Покупные изделия, Вновь разрабатываемые изделия*), помещаемую над основной надписью на том же листе или отдельно на формате А4;

- габаритные, установочные, присоединительные размеры;

- техническую характеристику, в которой указывают момент и скорость тягового органа рабочей машины, общее передаточное число привода.

#### 5 Рабочая конструкторская документация

В состав рабочей документации входят сборочные чертежи узлов, рабочие чертежи деталей. На данном этапе курсового проектирования выполняются рабочие чертежи деталей. Детали, подлежащие разработке, назначаются преподавателем. Для одноступенчатого редуктора такими деталями обычно являются ведомое колесо и тихоходный вал. Рабочие чертежи деталей выполняются на форматах А3 в соответствии с ГОСТ 2.109-73 желательным с использованием масштаба 1:1, 2:1, 1:2. Рабочий чертеж детали содержит изображение детали с нанесенными размерами, предельными отклонениями размеров, допуски форм и расположения поверхностей, параметры шероховатости поверхностей, технические требования.

Изображение детали на чертеже должно содержать минимальное количество видов, разрезов и сечений, но достаточное для выявления формы детали и простановки размеров.

Текстовая часть рабочего чертежа необходима для лучшего понимания изображения детали и точного её изготовления. Для рабочих чертежей валов применяют только технические требования [1]. Текстовая часть рабочих чертежей зубчатых и червячных колес, а также валов-червяков содержит таблицу параметров зацепления и технические требования [1].

## ЛИТЕРАТУРА

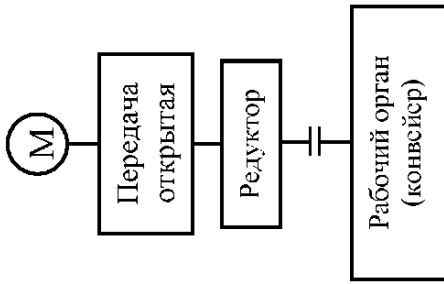
1. Курмаз, Л. В. Конструирование узлов и деталей машин : учебное пособие для вузов / Л. В. Курмаз, О. Л. Курмаз. – М. : Высш. шк., 2007. – 455 с.
2. Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин : Учеб. пособие / А. Е. Шейнблит. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Калининград : Янтар. сказ, 2005. 456 с.
3. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 11-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 496 с.
4. 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.
5. Курсовое проектирование деталей машин : Учебное пособие / С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И. М. Чернин, Г. М. Ицкович, В. П. Козинцов. – 3-е изд., стереотипное. – М. : ООО ТИД «Альянс», 2005. – 416 с.
6. Марцулевич, Н. А. Техническая механика, Часть II. Сопротивление материалов, Детали машин: Учебное пособие / Н. А. Марцулевич, А. Н. Луцко, Д. А. Баргенов ; под ред. Н. А. Марцулевича. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2010. – 493 с.
7. Матюшин, Е. Г. Расчет закрытой зубчатой передачи : методические указания / Е. Г. Матюшин, А. Н. Луцко. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2014. – с.
8. Матюшин, Е. Г. Расчет червячной передачи : методические указания / Е. Г. Матюшин, А. Н. Луцко. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2014. – с.
9. Матюшин, Е. Г. Расчет конической зубчатой передачи : методические указания / Е. Г. Матюшин, А. Н. Луцко. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2014. – с.
10. Телепнев, М. Д. Расчеты валов редуктора: методические указания / М. Д. Телепнев, А. Н. Луцко. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2014. – 47 с.
11. Телепнев, М. Д. Расчет подшипников редуктора: методические указания / М. Д. Телепнев, А. Н. Луцко. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2014. – 40 с.

## Варианты к техническому заданию 1

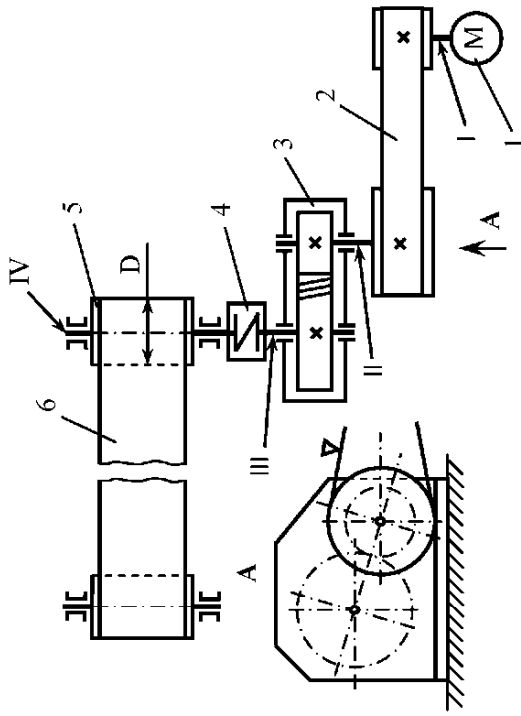
Привод ленточного конвейера:

- 1 – двигатель (мотор);
  - 2 – клиноременная передача;
  - 3 – цилиндрический редуктор с косозубой передачей;
  - 4 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 5 – барабан;
  - 6 – лента конвейера.
- I – вал двигателя;  
 II – быстроходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – вал рабочей машины.

Блок-схема привода ленточного конвейера



Структурная схема привода ленточного конвейера



Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

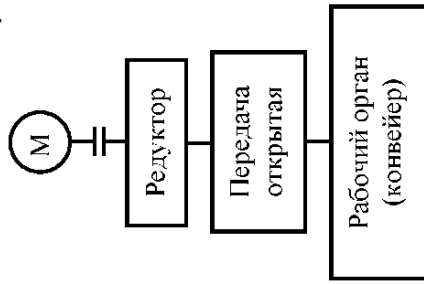
Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Тяговая сила ленты $F$ , кН	1,2	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1
Скорость ленты $V$ , м/с	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,6	1,7
Диаметр барабана $D$ , мм	200	200	225	225	250	250	275	275	250	250	180	180	190	190	210	210	225	225	260	260	280	280	280	300	300
Срок службы привода $L_r$ , лет	5	6	7	4	6	7	5	6	3	4	5	8	4	6	5	4	8	3	5	7	6	4	6	7	8
Сменность работы $t_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
Продолжительность смены $t_c$ , ч	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	8	6	8	10	8	6	10	6	8	10	6	8	6	8
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

## Варианты к техническому заданию 2

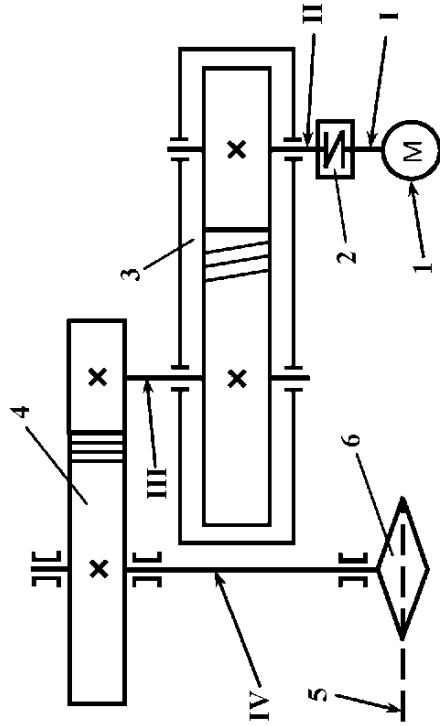
Приводная станция подвесного конвейера:

- 1 – двигатель (мотор);
- 2 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
- 3 – цилиндрический редуктор с косозубой передачей;
- 4 – цилиндрическая прямозубая открытая передача;
- 5 – грузовая цепь;
- 6 – звездочка цепи.
- I – вал двигателя;
- II – быстросходный вал редуктора;
- III – тихоходный вал редуктора;
- IV – вал рабочей машины.

Блок-схема привода подвесного конвейера



Структурная схема привода подвесного конвейера (вид сверху)



Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Тяговая сила ленты $F$ , кН	3,0	3,4	3,8	4,0	4,2	4,6	4,8	5,0	5,2	5,5	2,5	2,8	3,0	3,1	3,2	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3
Скорость грузовой цепи $V$ , м/с	0,55	0,60	0,65	0,60	0,65	0,65	0,60	0,65	0,55	0,63	0,50	0,60	0,65	0,68	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,65
Шаг грузовой цепи $p$ , мм	80	80	100	80	100	80	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80
Число зубьев звездочки $z$	7	9	8	7	9	8	8	9	7	8	7	9	8	7	9	8	7	9	8	7	9	8	7	9	8
Срок службы привода $t_n$ , лет	5	5	7	6	7	7	5	4	4	6	5	4	6	7	5	4	6	7	5	4	8	6	7	5	8
Сменность работы $L_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_s$ , ч	8	10	8	6	8	10	6	8	10	6	8	10	8	6	8	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

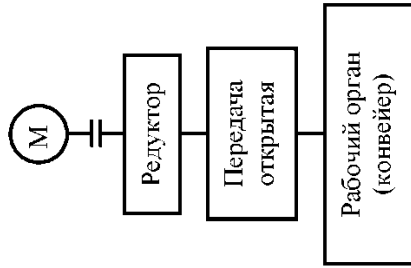
### Варианты к техническому заданию 3

Приводная станция подвесного конвейера:

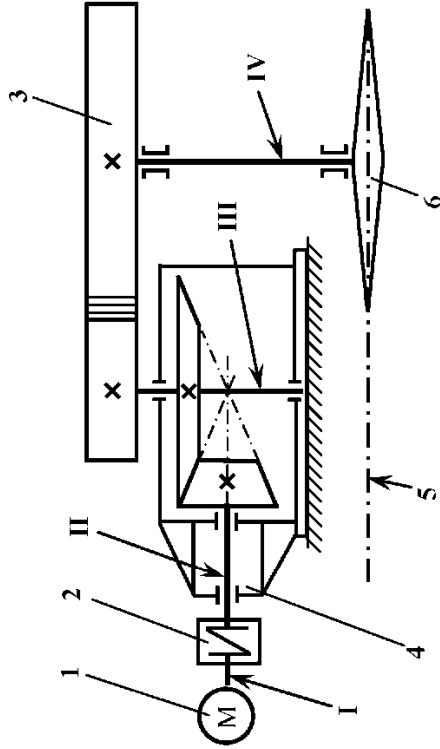
- 1 – двигатель (мотор);
  - 2 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 3 – открытая цилиндрическая прямозубая передача;
  - 4 – конический редуктор;
  - 5 – грузовая цепь;
  - 6 – звездочка цепи.
- I – вал двигателя;  
 II – быстроходный вал редуктора,  
 III – тихоходный вал редуктора,  
 IV – вал рабочей машины.

Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Блок-схема привода подвесного конвейера



Структурная схема привода подвесного конвейера



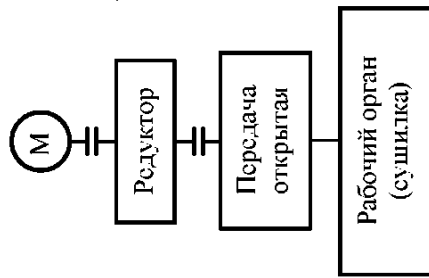
Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Тяговая сила ленты $F$ , кН	3,0	3,4	3,8	4,0	4,2	4,6	4,8	5,0	5,2	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,2	3,8	3,6	3,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,5
Скорость грузовой цепи $V$ , м/с	0,55	0,60	0,65	0,60	0,65	0,65	0,60	0,65	0,55	0,63	0,52	0,55	0,58	0,60	0,65	0,68	0,70	0,72	0,75	0,66	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55
Шаг грузовой цепи $p$ , мм	80	80	100	80	100	80	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80
Число зубьев звездочки $z$	7	9	8	7	9	8	8	9	7	8	7	9	8	7	9	8	7	9	8	7	9	8	7	9	8
Срок службы привода $t_{р}$ , лет	5	5	7	6	7	7	5	4	4	6	5	4	6	7	4	7	6	5	4	5	6	7	6	5	4
Суммарность работы $t_e$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_c$ , ч	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

## Варианты к техническому заданию 4

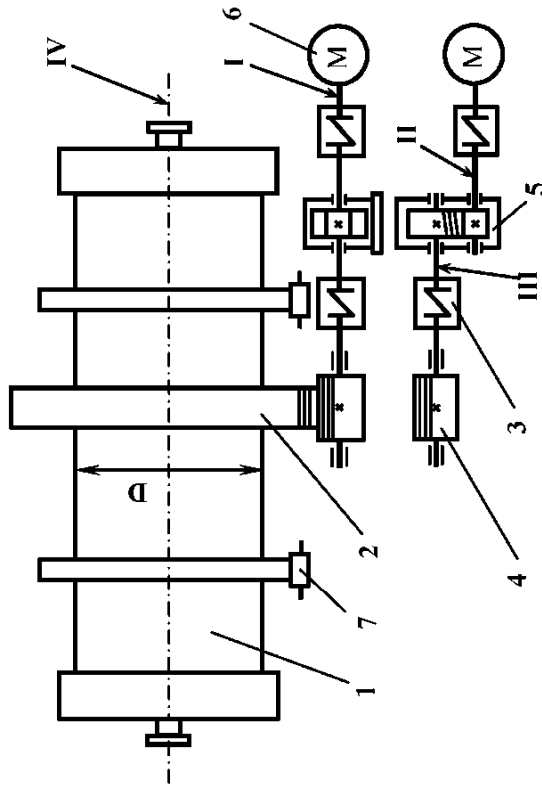
Приводная станция сушилки:

- 1 – сушилка (печь для сушения сыпучих материалов);
  - 2 – венец зубчатого колеса на барабане сушилки;
  - 3 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 4 – шестерня открытой передачи;
  - 5 – цилиндрический редуктор с косозубой передачей;
  - 6 – электродвигатель (мотор);
  - 7 – опорные ролики барабана.
- I – вал двигателя;  
 II – быстросходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – ось барабанной сушилки.

Блок-схема привода сушилки



Структурная схема привода сушилки



Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Окружная сила в зацеплении венцового колеса на барабане с шестерней $F_t$ , кН	3.0	3.2	3.5	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	5.5	4.0
Диаметр барабана сушилки $D$ , мм	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2500	2000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2500	1000
Скорость вращения барабана в точках приложения сил $V$ , м/с	0.4	0.45	0.48	0.50	0.45	0.48	0.50	0.55	0.35	0.40	0.45	0.48	0.50	0.55	0.60	0.65	0.45	0.48	0.50	0.55	0.60	0.65	0.68	0.70	0.30
Срок службы привода $L_p$ , лет	5	6	7	8	4	6	8	5	7	4	6	5	8	6	7	5	4	6	8	7	5	6	4	7	8
Сменность работы $L_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_c$ , ч	8	6	10	6	8	10	8	6	10	6	8	10	8	6	10	6	8	10	8	6	10	6	8	10	6
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

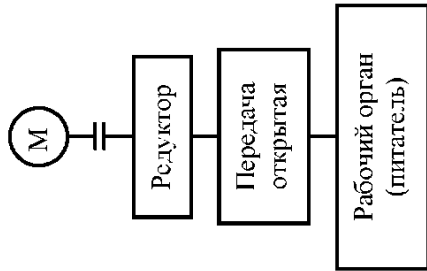
## Варианты к техническому заданию 5

Привод к тарельчатому питателю для формовочной земли:

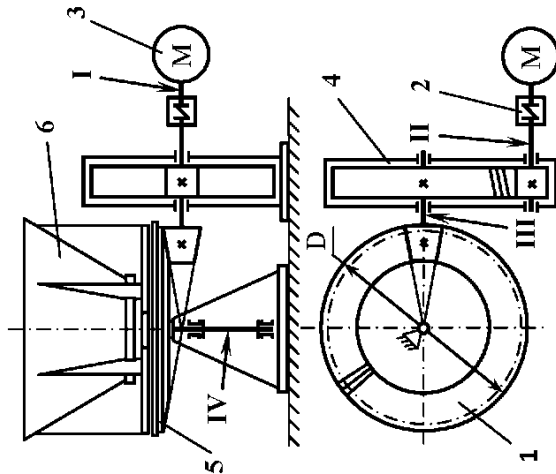
- 1 – открытая коническая зубчатая передача;
  - 2 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 3 – двигатель (мотор);
  - 4 – цилиндрический редуктор с косозубой передачей;
  - 5 – диск питателя;
  - 6 – загрузочный бункер.
- I – вал двигателя;  
 II – быстроходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – вал рабочей машины.

Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Блок-схема привода питателя



Структурная схема привода питателя



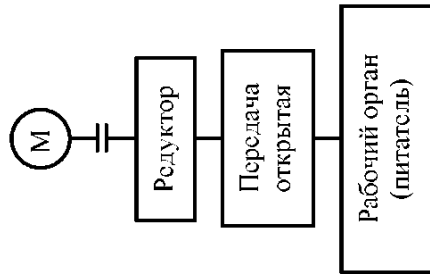
Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Окружная сила на диске $F$ , кН	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2	3,4	3,6	3,8	4,2	4,4	4,6
Скорость подачи земли $V$ , м/с	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00	1,05	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,00	0,90	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,60
Диаметр диска $D$ , мм	700	750	800	800	900	1000	1000	900	900	1000	990	850	800	750	700	720	760	780	820	840	860	880	920	950	980
Срок службы привода $L_n$ , лет	6	5	7	6	7	7	6	5	5	6	7	5	6	8	4	5	6	7	8	5	4	6	7	5	8
Сменность работы $I_{сн}$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_{сн}$ , ч	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

## Варианты к техническому заданию 6

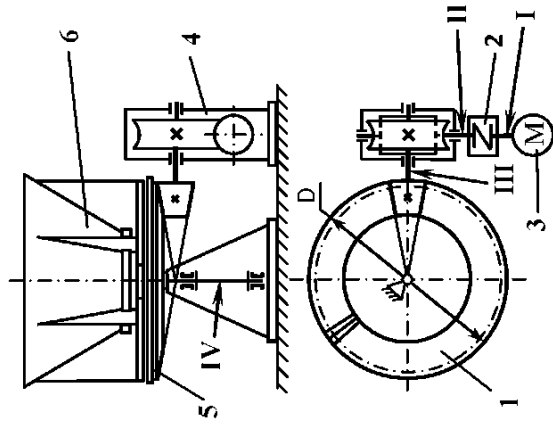
Привод к тарельчатому питателю для формовочной земли:

- 1 – открытая коническая зубчатая передача;
  - 2 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 3 – двигатель (мотор);
  - 4 – червячный редуктор;
  - 5 – диск питателя;
  - 6 – загрузочный бункер.
- I – вал двигателя;  
 II – быстросходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – вал рабочей машины.

Блок-схема привода питателя



Структурная схема привода питателя



Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

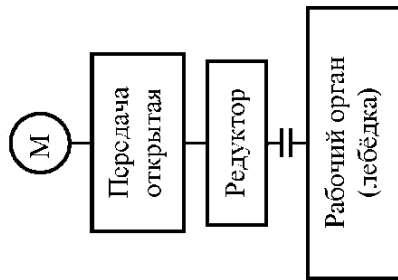
Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Окружная сила на диске $F$ , кН	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,5	3,2	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,4	3,8	3,6	3,5
Скорость подачи земли $V$ , м/с	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	0,60	0,55	0,70	0,65	0,55	0,45	0,50	0,80	0,85	0,90	0,72	0,85	0,92	0,98	1,05
Диаметр диска $D$ , мм	700	750	800	800	900	1000	1000	900	900	1000	750	780	820	850	780	830	850	900	950	890	870	980	940	760	790
Срок службы привода $L_p$ , лет	6	5	7	6	7	7	6	5	5	6	7	5	8	6	9	5	7	6	8	5	8	6	7	8	5
Сменность работы $L_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_c$ , ч	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10	8	6	10	8	6	10	6	8	10	8	6	10	8
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

## Варианты к техническому заданию 7

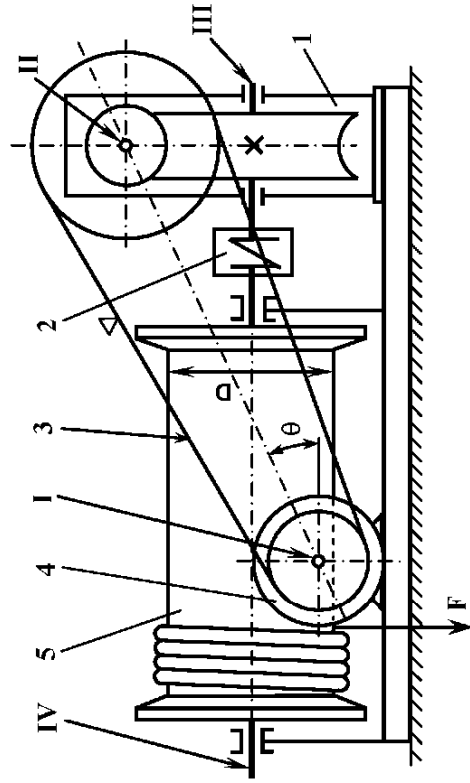
Привод электрической лебёдки:

- 1 – червячный редуктор;
  - 2 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 3 – клиноременная открытая передача;
  - 4 – двигатель (мотор);
  - 5 – барабан.
- I – вал двигателя;  
 II – быстросходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – вал рабочей машины.

Блок-схема привода лебёдки



Структурная схема привода лебёдки



Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Грузоподъемность лебёдки $F$ , кН	1,0	1,5	1,8	2,0	2,5	2,8	3,0	3,2	3,5	4,0	1,2	1,4	1,5	2,1	1,7	1,8	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8
Скорость подъема $V$ , м/с	0,17	0,20	0,25	0,26	0,27	0,20	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,22	0,25	0,19	0,28	0,17	0,19	0,22	0,20	0,25	0,18	0,24	0,26	0,22	0,26
Диаметр барабана $D$ , мм	200	200	250	250	300	300	350	350	300	250	180	210	240	260	190	250	280	300	320	240	310	280	250	340	350
Угол наклона ременной передачи $\theta$ , град	60	60	30	45	30	45	60	30	45	45	30	60	45	30	60	45	30	60	45	30	60	45	30	60	45
Срок службы привода $L_c$ , лет	7	6	5	6	4	7	5	4	7	6	4	5	8	6	4	7	5	6	8	4	7	6	5	4	8
Сменность работы $L_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_c$ , ч	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	9	8	10	6	8	9	7	6	10	8	6	10	8	7	6
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

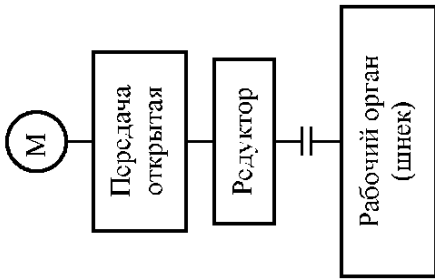
## Варианты к техническому заданию 8

Привод шнека-смесителя:

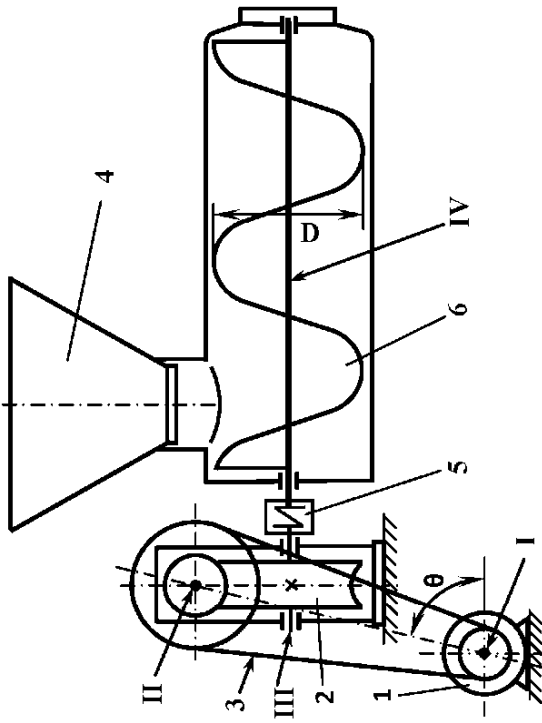
- 1 – двигатель (мотор);
  - 2 – червячный редуктор;
  - 3 – плоскоременная передача;
  - 4 – загрузочный бункер;
  - 5 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 6 – шнек.
- I – вал двигателя;  
 II – быстроходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – вал рабочей машины.

Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Блок-схема привода шнека-смесителя



Структурная схема привода шнека-смесителя



Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Тяговая сила шнека $F$ , кН	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	2,7	2,6	2,9	3,0	3,2
Скорость перемещения смеси $V$ , м/с	0,8	0,9	1,1	1,3	1,2	1,0	1,1	0,9	1,3	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	1,3	0,7	1,2	1,0	1,4	0,9	1,0	1,2
Наружный диаметр шнека $D$ , мм	400	400	450	550	500	500	550	550	500	450	500	400	600	450	500	400	550	600	400	450	500	550	400	450	600
Угол наклона ременной передачи $\theta$ , град	45	30	60	45	45	60	30	45	60	30	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45
Срок службы привода $L_r$ , лет	6	5	7	7	5	6	4	4	5	6	5	4	6	7	5	4	6	7	5	4	6	7	5	4	6
Сменность работы $L_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_c$ , ч	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	8	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

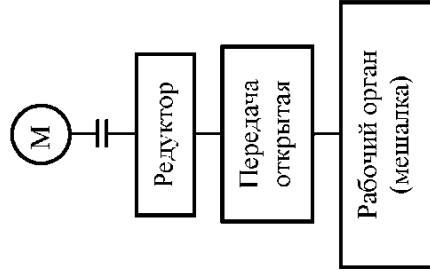
## Варианты к техническому заданию 9

Привод мешалки аппарата (смесителя):

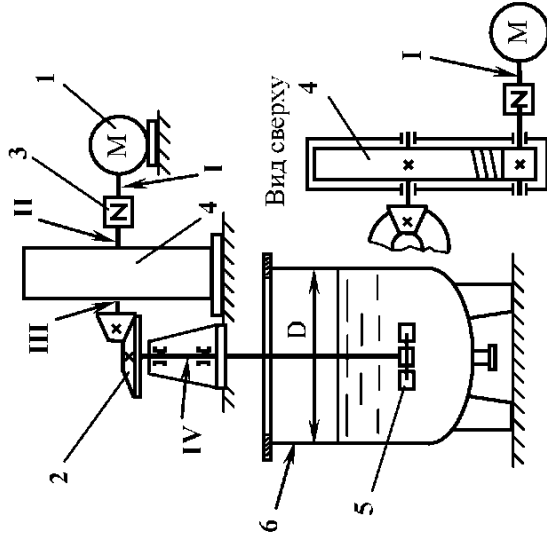
- 1 – двигатель (мотор);
- 2 – открытая коническая зубчатая передача;
- 3 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
- 4 – цилиндрический редуктор с косозубой передачей;
- 5 – мешалка;
- 6 – аппарат.
- I – вал двигателя;
- II – быстросходный вал редуктора;
- III – тихоходный вал редуктора;
- IV – вал мешалки.

Режим работы машины: Л – легкий; С – средний; Т – тяжелый.

Блок-схема привода мешалки



Структурная схема привода мешалки



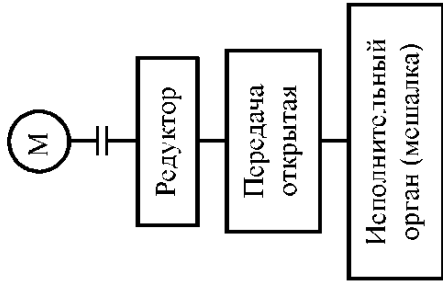
Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Момент сопротивления вращению $T$ , кНм	0,15	0,18	0,20	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,38	0,40	0,42	0,45	0,16	0,19	0,22	0,23	0,26	0,29	0,31	0,36	0,39	0,41	0,43	0,17	0,33
Частота вращения мешалки $n$ , об/мин	60	65	70	75	80	70	65	60	70	80	82	73	63	67	72	73	77	75	70	65	72	74	76	85	70
Диаметр аппарата $D$ , мм	700	750	800	800	900	1000	1000	900	900	1000	1100	1200	700	750	800	820	850	900	1150	840	860	880	920	950	980
Срок службы привода $L_f$ , лет	3	5	4	6	4	5	6	7	5	3	7	5	6	8	4	5	6	7	8	5	4	6	7	5	8
Сменность работы $L_c$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Продолжительность смены $t_c$ , ч	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8
Режим работы машины	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л

## Варианты к техническому заданию 10

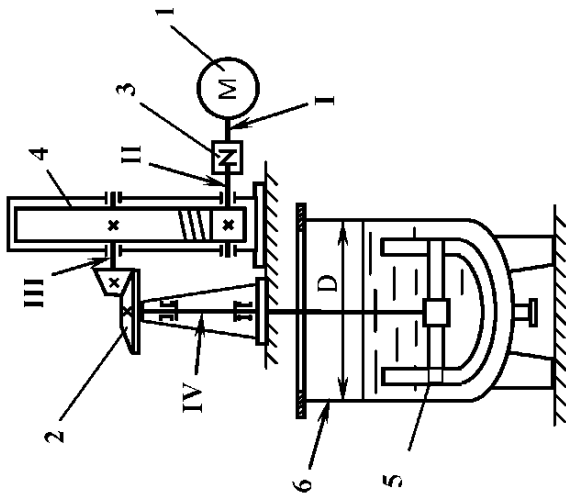
Привод рамной мешалки аппарата (смесителя):

- 1 – двигатель (мотор);
  - 2 – открытая коническая зубчатая передача;
  - 3 – упругая втулочно-пальцевая муфта;
  - 4 – вертикальный цилиндрический редуктор с косозубой передачей;
  - 5 – мешалка рамная;
  - 6 – аппарат.
- I – вал двигателя;  
 II – быстросходный вал редуктора;  
 III – тихоходный вал редуктора;  
 IV – вал мешалки.

Блок-схема привода мешалки



Структурная схема привода мешалки



Режим работы машины: Л – легкий, С – средний, Т – тяжелый.

Исходные данные	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Момент сопротивления вращению $T$ , кНм	0,17	0,20	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,40	0,42	0,44	0,47	0,18	0,21	0,24	0,25	0,28	0,31	0,33	0,38	0,41	0,43	0,45	0,19	0,35
Частота вращения мешалки $n$ , об/мин	62	67	72	77	82	72	67	62	72	82	84	75	65	69	74	75	79	77	72	67	74	76	78	87	72
Диаметр аппарата $D$ , мм	700	750	800	800	900	1000	1000	900	900	1000	1100	1200	700	750	800	820	850	900	1150	840	860	880	920	950	980
Срок службы привода $L_c$ , лет	4	6	5	7	5	6	7	8	6	4	8	6	7	9	5	6	7	8	9	6	5	7	8	6	5
Сменность работы $L_c$	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Продолжительность смены $t_c$ , ч	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6	8
Режим работы машины	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С

**Приложение Б**  
(рекомендуемое)

**Календарный план  
выполнения курсового проекта**

Этапы проектирования. Содержание этапов	Примерный срок выполнения	Отчетность
<b>1 Техническое задание</b>		
1.1 Ознакомление с общим устройством привода машины 1.2 Заполнение бланка технического задания	1-я неделя	Заполненный бланк ТЗ
<b>2 Техническое предложение</b>		
2.1 Выбор двигателя привода [методические указания] 2.2 Определение передаточного отношения привода 2.3 Кинематический расчёт привода (определение кинематических и силовых параметров) [методические указания]	2-я неделя	Раздел пояснительной записки (ПЗ)
<b>3 Эскизный проект</b>		
3.1 Выбор материалов зубчатой (червячной) передачи. Определение допускаемых напряжений [1, 2, 3] 3.2 Расчёт зубчатой (червячной) передачи редуктора [1, 2, 7-9] 3.3 Разработка эскиза (компоновки) общего вида редуктора [1, 2] 3.4 Расчёт открытой передачи [1]	6-я неделя	Раздел ПЗ. Эскиз на миллиметровой бумаге, формат А2
<b>4 Технический проект</b>		
4.1 Составление схемы нагружения валов редуктора. Расчет валов редуктора [10] 4.2 Проверочные расчёты валов и подшипников [11] 4.3 Разработка сборочного чертежа редуктора [1,2] 4.4 Расчёт технического уровня редуктора [1,2] 4.5 Разработка компоновки общего вида привода [1,2]	14 -я неделя	Чертёж редуктора формата А1. Чертёж привода формата А1. Раздел ПЗ
<b>5 Рабочая конструкторская документация</b>		
5.1 Разработка рабочих чертежей деталей (по указанию преподавателя) [1,2]	16-я неделя	Два чертежа формата А3
<b>6 Защита проекта</b>		
6.1 Подготовка к защите проекта 6.2 Защита проекта	17-я неделя	4-с чертежа. Сброшюрованные листы ПЗ