

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

*Методические указания по курсовому проектированию
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра машиностроения

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

*Методические указания по курсовому проектированию
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 621.01:531.8 (073)

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА: Методические указания к курсовому проектированию / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Большунов, А.Ю. Кузькин*. СПб, 2021. 51 с.

Изложены основные этапы выполнения курсового проекта по дисциплине «Прикладная механика» для студентов специализации «Горные машины и оборудование» специальности 21.05.04 «Горное дело».

Предложены задания на курсовое проектирование, требования к оформлению и содержанию курсового проекта, методические основы расчета различных типов передач. В приложениях представлена справочная информация, используемая при выполнении курсового проекта.

Научный редактор проф. *И.П. Тимофеев*

Рецензент проф., д-р. техн. наук, *А.А.Тихонов* (Санкт-Петербургский государственный университет).

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

***Методические указания по курсовому проектированию
для студентов специальности 21.05.04***

Сост.: *А.В. Большунов, А.Ю. Кузькин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
машиностроения

Ответственный за выпуск *А.В. Большунов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.03.2021. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 3,0. Усл.кр.-отт. 3,0. Уч.-изд.л. 2,8. Тираж 75 экз. Заказ 175.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование способствует закреплению, углублению и обобщению теоретических знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Прикладная механика», и приобретению практических навыков комплексного решения инженерных задач, связанных с расчетом и проектированием механических приводов и деталей машин.

Курсовое проектирование является необходимым этапом подготовки студента к самостоятельной проектной и научно-исследовательской работе.

Курсовое проектирование базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин: «Математика», «Начертательная геометрия», «Инженерная и компьютерная графика», «Теоретическая механика», «Сопrotивление материалов», «Материаловедение».

Курсовое проектирование требует умения пользоваться государственными стандартами, технической и справочной литературой, системами автоматизированного проектирования.

Знания и практические навыки, полученные при выполнении курсового проекта по дисциплине «Прикладная механика», способствуют успешному решению студентами различных инженерно-технических задач в курсовом проектировании по специальным дисциплинам и в дипломном проектировании.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В курсовом проекте по дисциплине «Прикладная механика» проектируется механический привод технологической машины. Проект должен состоять из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка курсового проекта включает в себя титульный лист, задание на выполнение проекта, аннотацию на русском и иностранном языках, оглавление, введение, текст записки, заключение, список используемых источников и приложения.

Текст пояснительной записки содержит следующее.

1. Кинематический расчет привода, с выбором электродвигателя и разбивкой общего передаточного числа по ступеням с соответствующим обоснованием, расчет крутящих моментов, угловых скоростей для каждого вала привода.

2. Выбор материалов зубчатых и червячных колес и их термообработки, определение допускаемых контактных и изгибных напряжений.

3. Расчет основных параметров передач по условию контактной и изгибной выносливости, расчет геометрии передач и усилий в зацеплениях.

4. Эскизную компоновку редуктора, расчётные схемы валов и оценку их статической и усталостной прочности.

5. Определение расчетного ресурса подшипников.

6. Проверку прочности шпоночных и шлицевых соединений.

7. Выбор посадок зубчатых колес и подшипников, сорта и объема масла, тепловой расчет червячной пары (для червячных передач), подбор соединительных муфт, проектирование сварной рамы привода с выбором фундаментных болтов и схемы их расположения.

Графическая часть курсового проекта включает.

1. Общий вид привода (формат А1).

2. Сборочный чертеж редуктора (формат А1).

3. Рабочие чертежи деталей редуктора (формат А3 или А4).

Выбор деталей и их количество согласовывается с преподавателем.

Выполнение графической части необходимо начинать со сборочного чертежа редуктора, используя ранее выполненную эскизную компоновку и полученные расчетные размеры зубчатых колес и корпуса редуктора. К чертежу общего вида и сборочному чертежу составляется спецификация.

Пояснительная записка и графическая часть курсового проекта выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД и требованиями СПГУ к оформлению курсовых проектов.

Удовлетворяющий требованиям проект, после проверки преподавателем (руководителем или рецензентом проекта) допускается к защите перед комиссией.

Во время защиты студент доказывает обоснованность принятых конструкторских решений, содержащихся в проекте, излагает технологию изготовления и сборки деталей, обосновывает принятые размеры, допуски, посадки, чистоту обработки поверхностей и пр.

2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Основные этапы выполнения курсового проекта следующие.

1. Выбор электродвигателя, уточнение и распределение общего передаточного числа между передачами привода, кинематический расчет привода. Расчет передачи гибкой связью (ременной, цепной и т.п.)

2. Выбор материалов зубчатых и червячных колес и их термообработки, оценка ресурса работы t (L_h) привода, коэффициентов долговечности K_{HL} , K_{FL} , определение допускаемых контактных и изгибных напряжений, расчет основных геометрических параметров передач из условия обеспечения контактной и изгибной выносливости. Проводятся проверочные расчёты. Определяются усилия в зацеплениях, составляются таблицы основных параметров передач.

3. Предварительное определение диаметров промежуточного и выходного валов редуктора из условия прочности при кручении, разработка эскиза валов, подбор подшипников и эскизная компоновка редуктора. Составление расчетных схем промежуточного и выходного валов и проверочный расчет запаса их усталостной прочности и проверка статической прочности при перегрузке.

4. Конструктивная разработка сборочного чертежа редуктора, определение расчетного ресурса выбранных подшипников, проверка прочности шпоночных и шлицевых соединений.

5. Окончательное оформление сборочного чертежа редуктора, составление его спецификации, выбор соединительных муфт и тепловой расчет червячной передачи. Разработка общего вида механического привода на сварной раме и его спецификации.

6. Разработка рабочих чертежей деталей редуктора (вала, зубчатого колеса, корпусных деталей редуктора).

7. Окончательное оформление документации по проекту (чертежей, спецификаций, пояснительной записки). Представление проекта на рецензию для допуска на защиту.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПЕРЕДАЧ ПО ОСНОВНЫМ КРИТЕРИЯМ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

При проектировании механических приводов следует учитывать, что их габариты и масса определяются конструктивными параметрами зубчатых, червячных и других видов передач. Поэтому рекомендуется использовать смещенные (корректированные) зацепления и новейшие способы термохимического упрочнения зубьев, что обеспечивает оптимизацию массо-габаритных характеристик привода.

3.1. Зубчатая цилиндрическая передача

Цилиндрические зубчатые передачи закрытого типа рассчитывают на контактную выносливость активных поверхностей зубьев и проверяют на изгибную прочность (ГОСТ 21354-87).

Из условия обеспечения контактной выносливости определяется межосевое расстояние передачи a_w (для редукторов общего назначения) или начальный диаметр шестерни d_{w1} (для коробок передач и планетарных редукторов) в соответствии со следующими формулами

$$a_w^* = K_a (u \pm 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H^*}{u \psi_{ba} [\sigma_H]^2}}, \text{ мм}$$

$$d_{w1}^* = K_d \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H^* (u + 1)}{u \psi_{bd} [\sigma_H]^2}}, \text{ мм}$$

где T_1 – вращающий момент на ведущей шестерни ступени, Нм; u – передаточное число рассчитываемой ступени; $[\sigma_H]$ – допускаемое контактное напряжение, МПа; $\psi_{ba} = b_w/a_w$ – коэффициент ширины колеса относительно межосевого расстояния; $\psi_{bd} = b_w/d_{w1}$ – коэффициент ширины колеса относительно начального диаметра шестерни; K_a, K_d – числовые вспомогательные коэффициенты, МПа^{1/3} (для стальных прямозубых колес $K_a = 490 \text{ МПа}^{1/3}$, $K_d = 770 \text{ МПа}^{1/3}$;

для стальных косозубых и шевронных колес $K_a = 430 \text{ МПа}^{1/3}$, $K_d = 675 \text{ МПа}^{1/3}$; K_H^* – коэффициент нагрузки (предварительный).

Проверочный расчет на контактную прочность зубьев цилиндрических передач ведется по формуле

$$\sigma_H = \frac{Z_\sigma}{a_w} \sqrt{\frac{K_H T_1 (u_\phi \pm 1)^3}{b_2 u_\phi}} \leq [\sigma_H],$$

где Z_σ – числовой вспомогательный коэффициент, $\text{МПа}^{1/2}$ (для прямозубых колес $Z_\sigma = 9600 \text{ МПа}^{1/2}$, для стальных косозубых и шевронных колес $Z_\sigma = 8400 \text{ МПа}^{1/2}$); u_ϕ – фактическое передаточное число рассчитываемой ступени; b_2 – рабочая ширина колеса передачи, мм.

Проверочный расчет зубьев цилиндрических передач на изгибную выносливость ведется по формуле

$$\sigma_F = \frac{F_t K_F}{b_2 m} Y_F Y_\beta Y_\epsilon \leq [\sigma_F],$$

где F_t – окружная сила в зацеплении, Н; m – модуль передачи, мм; K_F – коэффициент нагрузки при расчете на изгиб; Y_F – коэффициент, учитывающий форму зуба; Y_β – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона линии зуба; Y_ϵ – коэффициент, учитывающий перекрытие зубьев; $[\sigma_F]$ – допускаемое напряжение изгиба при расчёте на усталость, МПа.

3.2. Зубчатая коническая передача

Прочностные расчеты конических зубчатых передач проводятся по тем же критериям работоспособности, что и цилиндрических. Из условия контактной выносливости определяется внешний делительный диаметр шестерни

$$d_{e1}^* = K_d \cdot 3 \sqrt{\frac{T_1 K_{H\beta}^*}{(1 - \psi_{be}) \psi_{be} u [\sigma_H]^2}}, \text{ мм}$$

$\psi_{be} = b/R_e$ – коэффициент ширины зубчатого венца относительно внешнего конусного расстояния R_e ($\psi_{be} = 0,25 \div 0,33$, меньшие значения принимаются при $u > 3$, при этом $b \leq 10m_e$); K_d – вспомогательный числовой коэффициент, МПа^{1/3} (для стальных прямозубых конических колес $K_d = 1000$ МПа^{1/3}; для стальных конических колес с круговыми зубьями $K_d = 835$ МПа^{1/3}).

Внешний делительный диаметр колеса определяется по формуле

$$d_{e2}^* = d_{e1}^* u, \text{ мм}$$

с последующим согласованием его по ГОСТ 12289 – 76 .

В некоторых методиках расчета по условию контактной выносливости определяется сначала внешний делительный диаметр колеса

$$d_{e2}^* = 1050 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 u K_{H\beta}^*}{\mathcal{G}_H [\sigma_H]^2 (1 - 0,5\psi_{be}) \psi_{be}}}, \text{ мм.}$$

Проверочный расчет на изгибную выносливость зубьев конической передачи ведется по формуле

$$\sigma_F = \frac{F_t K_F}{0,85 b m_{nm}} Y_F' Y_\beta \leq [\sigma_F],$$

где m_{nm} – нормальный модуль конических колес в среднем сечении, мм; Y_F' – коэффициент, учитывающий форму зуба эквивалентного конического колеса.

3.3. Червячная передача

Из условия контактной выносливости (для передач с зубчатым венцом из оловянистых бронз) или из условия незаедания (для передач с зубчатым венцом из безоловянистых бронз) определяется межосевое расстояние передачи

$$a_w^* \cong 610 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 K_H^*}{[\sigma_H]^2}}, \text{ мм}$$

где T_2 – вращающий момент на валу червячного колеса, Нм; K_H^* – предварительное значение коэффициента нагрузки ($K_H^* = 1,1 \div 1,4$, большие значения для высокоскоростных передач и при переменной нагрузке).

Проверочный расчет на выносливость при изгибе для зубьев червячного колеса ведется по формуле

$$\sigma_{F_2} = 0,7 \frac{F_{t_2} K_F Y_{F_2}}{b_2 m_n} \leq [\sigma_F],$$

где F_{t_2} – окружная сила на червячном колесе, Н; K_F – коэффициент нагрузки при расчете на изгиб ($K_F \cong K_H$); b_2 – ширина венца червячного колеса, мм; $m_n = m \cos \gamma_w$ – модуль зацепления в нормальном сечении червяка, мм; Y_{F_2} – коэффициент, учитывающий форму зуба червячного колеса, выбирается по эквивалентному числу зубьев $z_{v_2} = z_2 / \cos^3 \gamma_w$; γ_w – начальный угол подъема винтовой линии витков червяка; $[\sigma_F]$ – допускаемое напряжение изгиба зубьев колеса при расчете на усталость, МПа.

После проведения всех кинематических, геометрических и силовых расчетов необходимо заполнить сводную таблицу основных параметров передачи с указанием их размерности (в качестве примера приведена таблица основных параметров цилиндрической передачи).

$T_1 = \dots$ Нм	$m = \dots$ мм	$d_1 = \dots$ мм	$h = \dots$ мм	$\sigma_H = \dots$ МПа
$T_2 = \dots$ Нм	$z_1 = \dots$	$d_2 = \dots$ мм	$b_w = b_2 = \dots$ мм	$\sigma_{F1} = \dots$ МПа
$n_1 = \dots$ мин ⁻¹	$z_2 = \dots$	$d_{w1} = \dots$ мм	$v = \dots$ м/с	$\sigma_{F2} = \dots$ МПа
$n_2 = \dots$ мин ⁻¹	$x_1 = \dots$	$d_{w2} = \dots$ мм	$F_t = \dots$ Н	$[\sigma_H] = \dots$ МПа
$u = \dots$	$x_2 = \dots$	$d_{a1} = \dots$ мм	$F_r = \dots$ Н	$[\sigma_{F1}] = \dots$ МПа
$a_w = \dots$ мм	$\beta = \dots$ ° ' "	$d_{a2} = \dots$ мм	$F_x = \dots$ Н	$[\sigma_{F2}] = \dots$ МПа

4. ЗАДАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Задание 1. Спроектировать привод к цепному конвейеру (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	11	35	15	40	18	50	25	60	67	48
v , м/с	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
p , мм	80	80	100	100	125	125	100	100	80	80
z	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее F – окружное усилие на тяговом органе конвейера, v – окружная скорость тягового органа, p – шаг тяговой цепи, z – число зубьев тяговой звездочки.

Задание 2. Спроектировать привод к ленточному конвейеру (рис. 2, табл. 2).

Таблица 2

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	20	30	35	40	50	60	65	70	75	80
v , м/с	0,25	0,30	0,35	0,42	0,47	0,50	0,55	0,70	0,65	0,75
D , м	0,25	0,28	0,30	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,48

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее D – диаметр тягового органа.

Задание 3. Спроектировать привод к ленточному перегружателю (рис. 3, табл. 3).

Таблица 3

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	62	110	28	38	12	100	16	30	90	25
v , м/с	1,0	0,9	1,2	1,35	1,4	1,0	1,55	1,7	0,95	1,7
D , м	0,20	0,225	0,25	0,275	0,30	0,35	0,40	0,25	0,40	0,30

Задание 4. Спроектировать привод к скребковому конвейеру (рис. 4, табл. 4).

Таблица 4

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	40	25	45	30	29	60	15	45	75	83
v , м/с	0,25	0,70	0,30	0,59	0,29	0,50	0,40	0,55	0,48	0,53
p , мм	100	100	125	125	80	80	125	125	100	100
z	8	8	9	9	10	10	12	12	11	11

Задание 5. Спроектировать привод к цепному подвесному конвейеру (рис. 5, табл. 5).

Таблица 5

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	40	67	18	90	55	95	45	50	130	160
v , м/с	0,10	0,12	0,16	0,18	0,20	0,35	0,30	0,15	0,20	0,25
p , мм	80	100	80	100	125	125	100	100	80	80
z	12	12	8	8	10	10	12	12	10	10

Задание 6. Спроектировать привод к ленточному конвейеру (рис. 6, табл. 6).

Таблица 6

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	35	40	45	50	60	70	80	105	120	130
v , м/с	0,10	0,12	0,20	0,10	0,2	0,09	0,22	0,16	0,15	0,07
D , м	0,35	0,40	0,45	0,35	0,40	0,45	0,35	0,40	0,45	0,35

Задание 7. Спроектировать привод к ленточному перегружателю (рис. 7, табл. 7).

Таблица 7

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_3 , кВт	25	34	41	50	20	17	61	100	85	21
ω_3 , с ⁻¹	3,0π	3,1π	3,2π	3,3π	3,4π	3,5π	3,6π	3,7π	3,8π	3,9π

Примечание. P_3 и ω_3 – мощность и угловая скорость вращения на ведомом валу редуктора.

Задание 8. Спроектировать привод к вертикальному валу цепного конвейера (рис. 8, табл. 8).

Таблица 8

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_4 , кВт	5,7	7,7	10,5	32	3,0	42	15	52	26	62
ω_4 , с ⁻¹	0,3π	0,4π	0,5π	0,6π	0,7π	0,8π	0,9π	0,9π	0,8π	0,7π

Примечание. P_4 и ω_4 – мощность и угловая скорость вращения на вертикальном валу конвейера.

Задание 9. Спроектировать привод к ленточному конвейеру (рис. 9, табл. 9).

Таблица 9

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_3 , кВт	83	50	17	24	33	100	41	20	85	62
n_3 , мин ⁻¹	60	65	70	75	70	65	60	65	70	75

Примечание. P_3 и n_3 – мощность и частота вращения на приводном валу конвейера.

Задание 10. Спроектировать привод к цепному подвесному конвейеру (рис. 10, табл. 10).

Таблица 10

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	69	50	32	20	55	17	79	90	120	139
v , м/с	0,7	0,85	1,0	0,9	1,2	1,1	1,0	0,88	0,4	0,46
p , мм	80	100	125	125	80	100	125	100	80	125
z	7	8	9	9	8	7	6	7	8	9

Задание 11. Спроектировать привод к ленточному конвейеру (рис. 11, табл. 11).

Таблица 11

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F , кН	17	30	27	55	42	65	50	36	47	60
v , м/с	1,5	0,9	1,2	0,9	1,1	1,0	1,3	0,9	1,0	1,3
D , м	0,7	0,8	1,0	0,9	1,2	0,8	1,4	0,7	1,2	0,9

Задание 12. Спроектировать привод к цепному конвейеру (рис. 12, табл. 12).

Таблица 12

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_4 , кВт	19,8	15	10	5,8	40	4,5	22	3,2	27	2,2
n_4 , мин ⁻¹	15	17	11	20	9	23	7	26	5	13

Примечание. P_4 и n_4 – мощность и частота вращения на валу конвейера.

Задание 13. Спроектировать привод к перегружателю (рис. 13, табл. 13).

Таблица 13

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_3 , кВт	10	14,3	9,75	19,5	7,2	24	5,3	29	3,9	3
ω_3 , с ⁻¹	1,7	1,5	2,1	1,9	0,8	1,2	1,0	3,0	2,8	3,2

Примечание. P_3 и ω_3 – мощность и угловая скорость вращения на валу перегружателя.

Задание 14. Спроектировать привод к ленточному конвейеру (рис. 14, табл. 14).

Таблица 14

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_3 , кВт	2,1	1,5	3	4,2	10,2	7,1	21	15	20	30
ω_3 , с ⁻¹	5,5	5,7	5,8	1,8	1,6	2,0	3,0	2,8	2,6	2,7

Примечание. P_3 и ω_3 – мощность и угловая скорость вращения на ведомой звездочке цепной передачи.

Задание 15. Спроектировать привод к шаровой мельнице (рис. 15, табл. 15).

Таблица 15

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_4 , кВт	20	25	16	32	12	40	60	49	4,5	6
n_4 , мин ⁻¹	22	45	13	24	49	15	28	43	17	26

Примечание. P_4 и n_4 – мощность и частота вращения на ведомом валу редуктора.

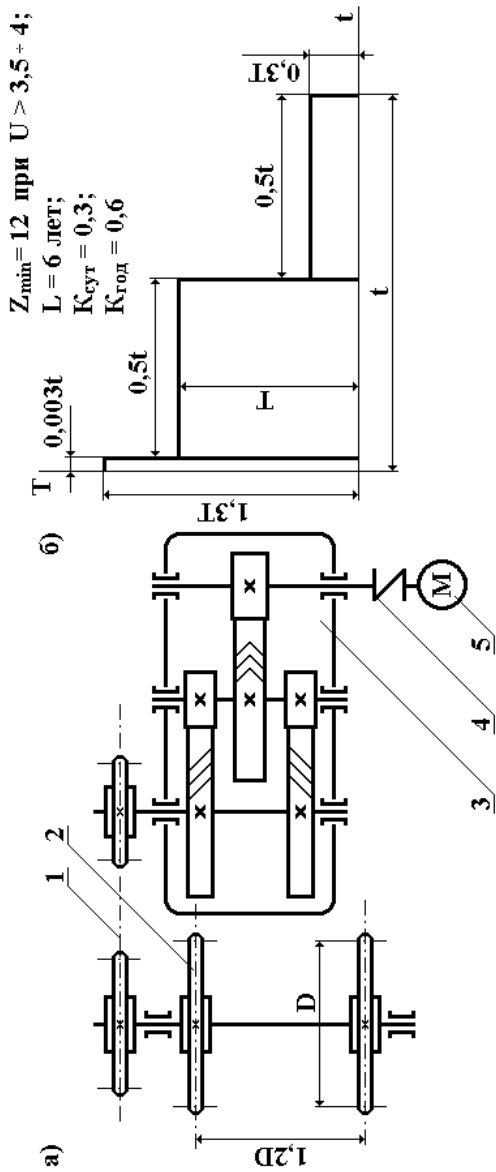


Рис. 1. Схема привода цепного конвейера (а) и график нагрузки (б)

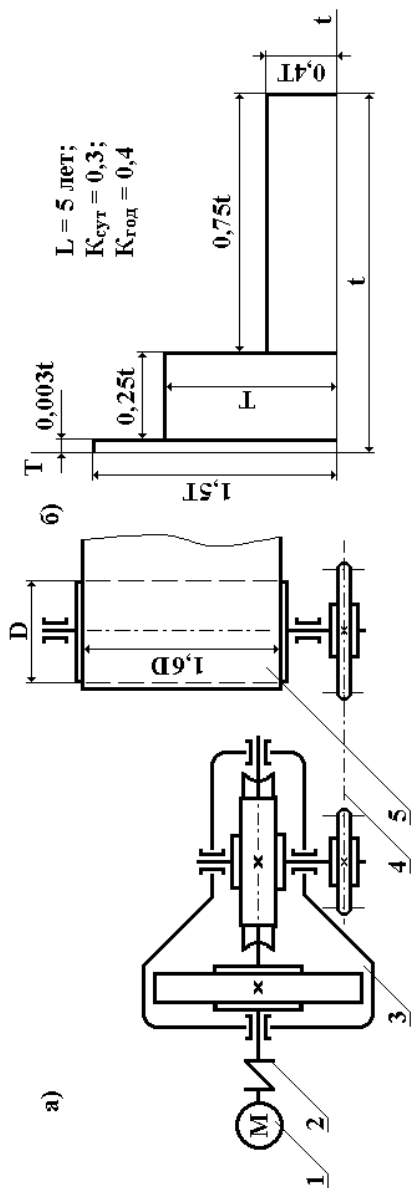


Рис. 2. Схема привода ленточного конвейера (а) и график нагрузки (б)

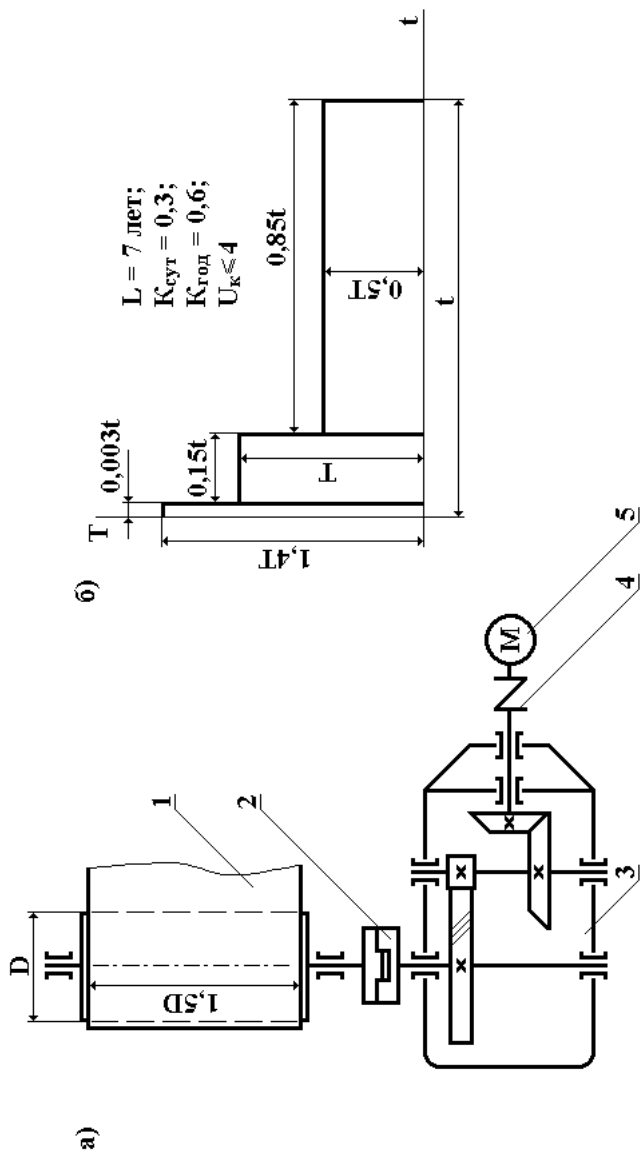


Рис. 3. Схема привода перегружателя конвейера (а) и график нагрузки (б)
 1 – барабан перегружателя; 2 – муфта сцепная; 3 – редуктор; 4 – муфта соединительная; 5 – электродвигатель

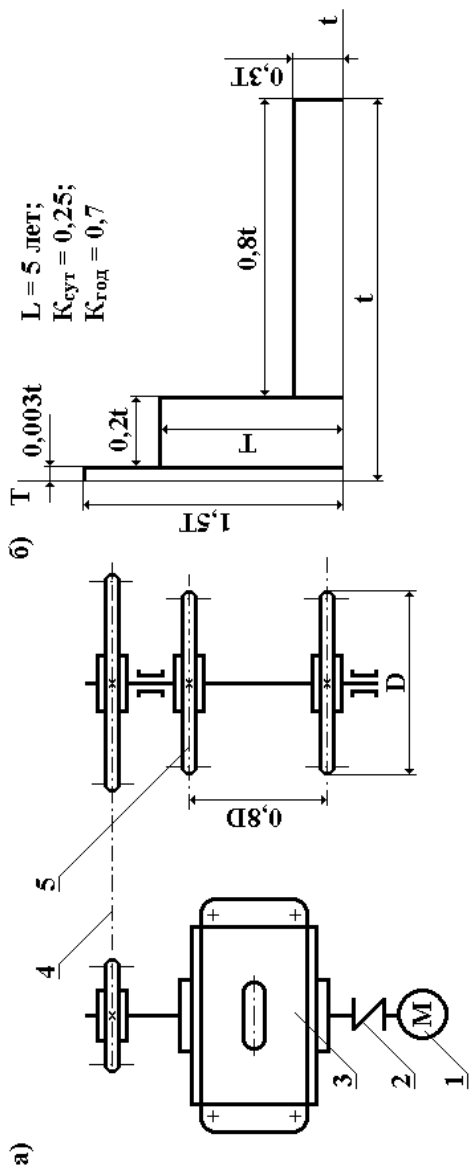


Рис. 4. Схема привода скребкового конвейера (а) и график нагрузки (б)
 1 – электродвигатель; 2 – упругая муфта; 3 – планетарный редуктор; 4 – цепная передача; 5 – звездочка тяговая

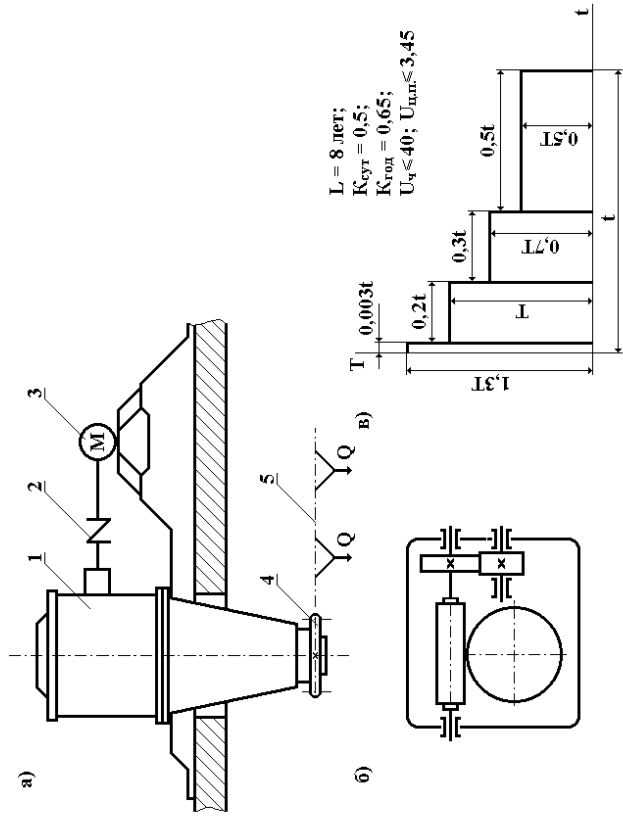


Рис. 5. Схема привода подвешенного конвейера (а), редуктора в плане (б) и график нагрузки (в)
 1 – редуктор; 2 – упругая муфта; 3 – электродвигатель; 4 – звездочка тяговая; 5 – цепь конвейера

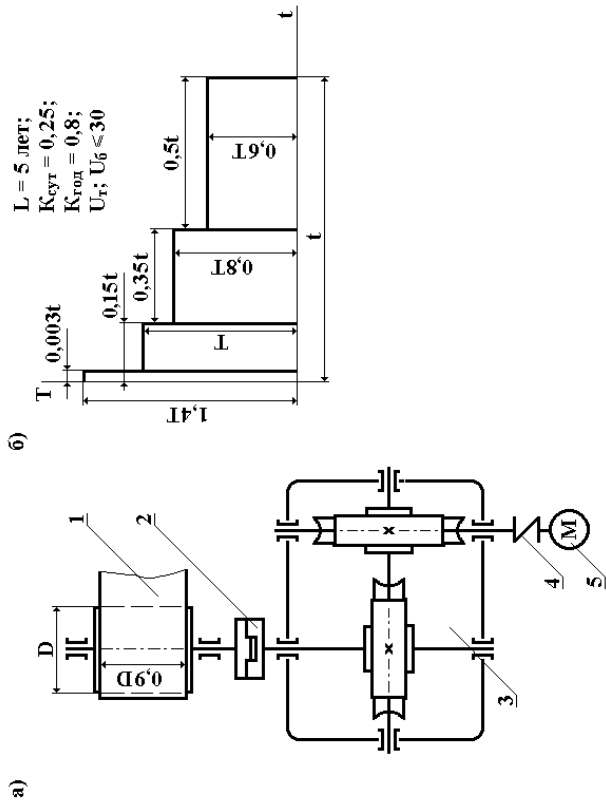
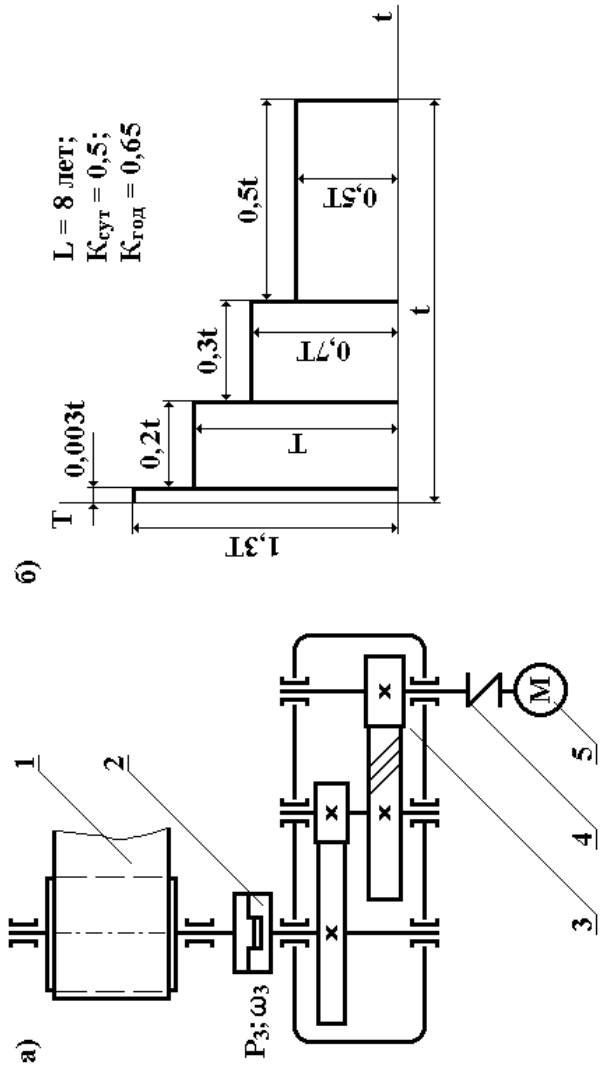


Рис. 6. Схема привода ленточного конвейера (а) и график нагрузки (б)



1 – барабан конвейера; 2 – муфта; 3 – блочный редуктор; 4 – упругая муфта; 5 – электродвигатель

Рис. 7. Схема привода ленточного перегружателя (а) и график нагрузки (б)

1 – барабан конвейера; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – упругая муфта; 5 – электродвигатель

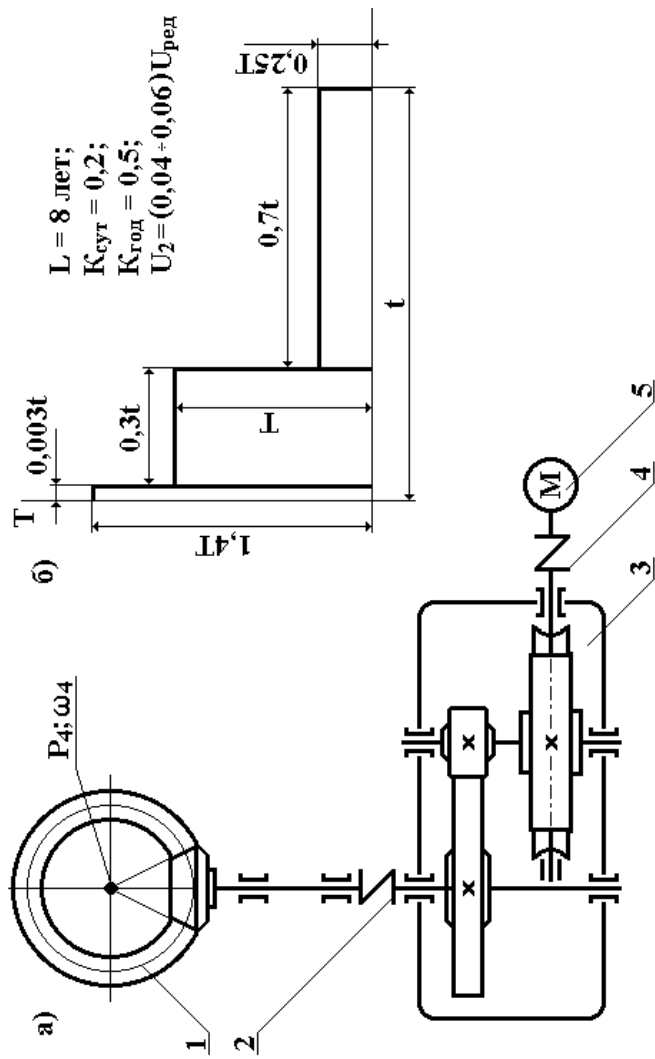


Рис. 8. Схема привода цепного конвейера (а) и график нагрузки (б)

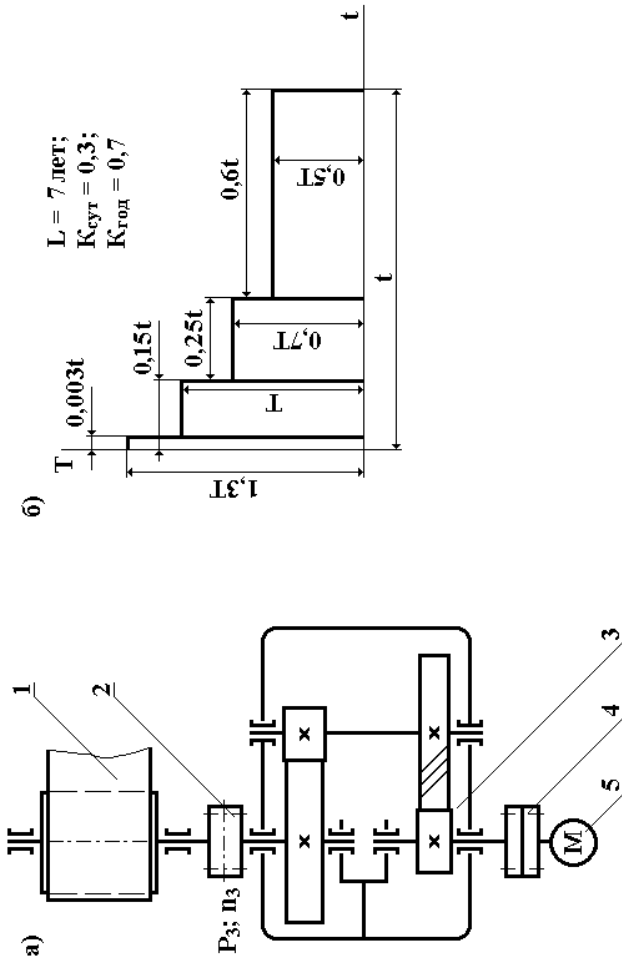


Рис. 9. Схема привода ленточного конвейера (а) и график нагрузки (б)
 1 – барабан конвейера, 2 – муфта, 3 – редуктор, 4 – муфта, 5 – электродвигатель

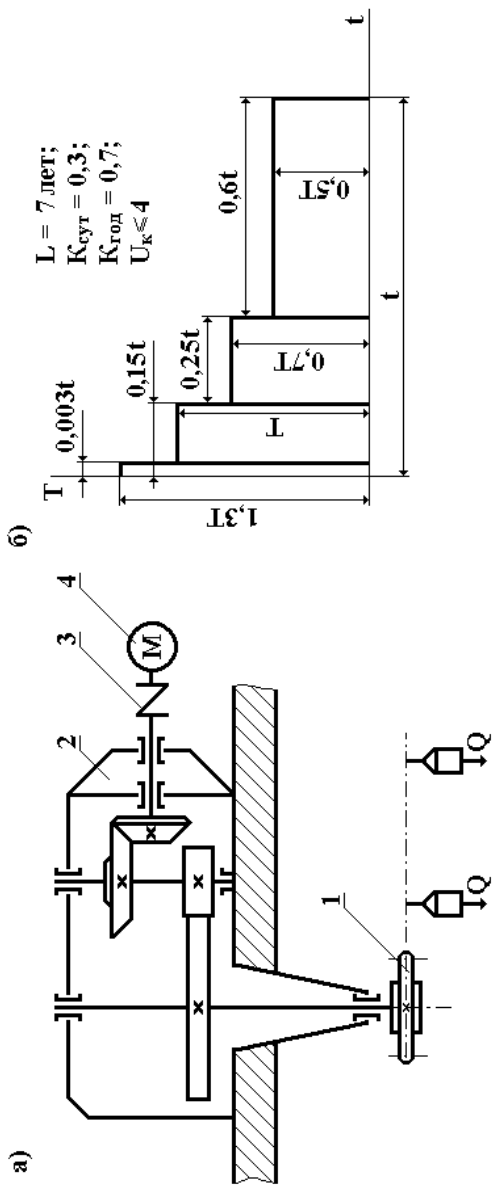


Рис. 10. Схема привода подвешенного конвейера (а) и график нагрузки (б)
 1 – звездочка; 2 – редуктор; 3 – муфта; 4 – электродвигатель
 Примечание: коническая передача с круговой линией зуба.

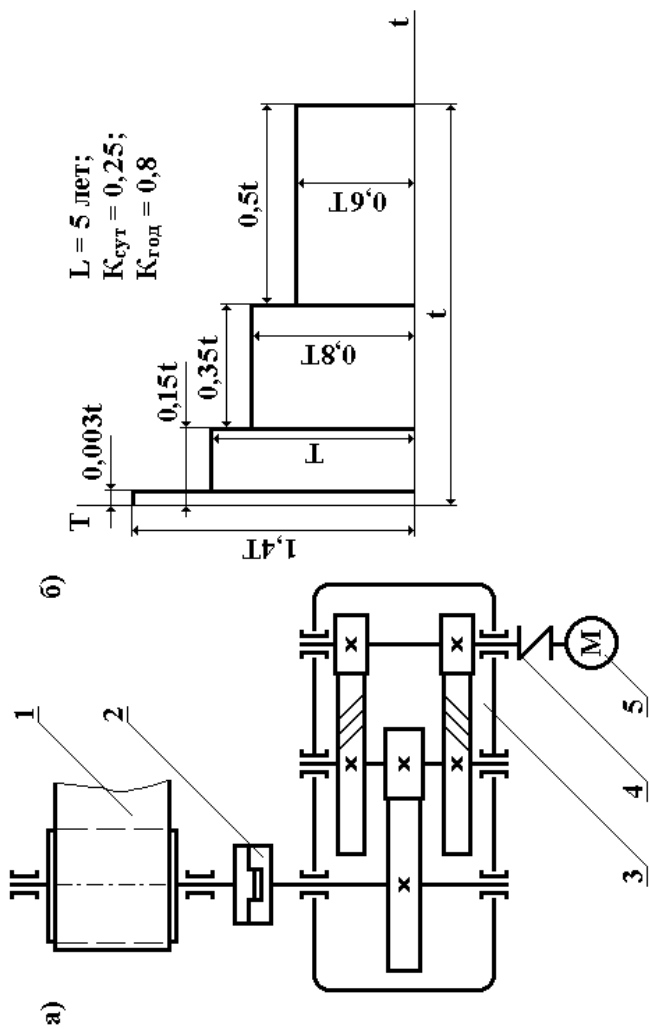


Рис. 11. Схема привода ленточного конвейера (а) и график нагрузки (б)

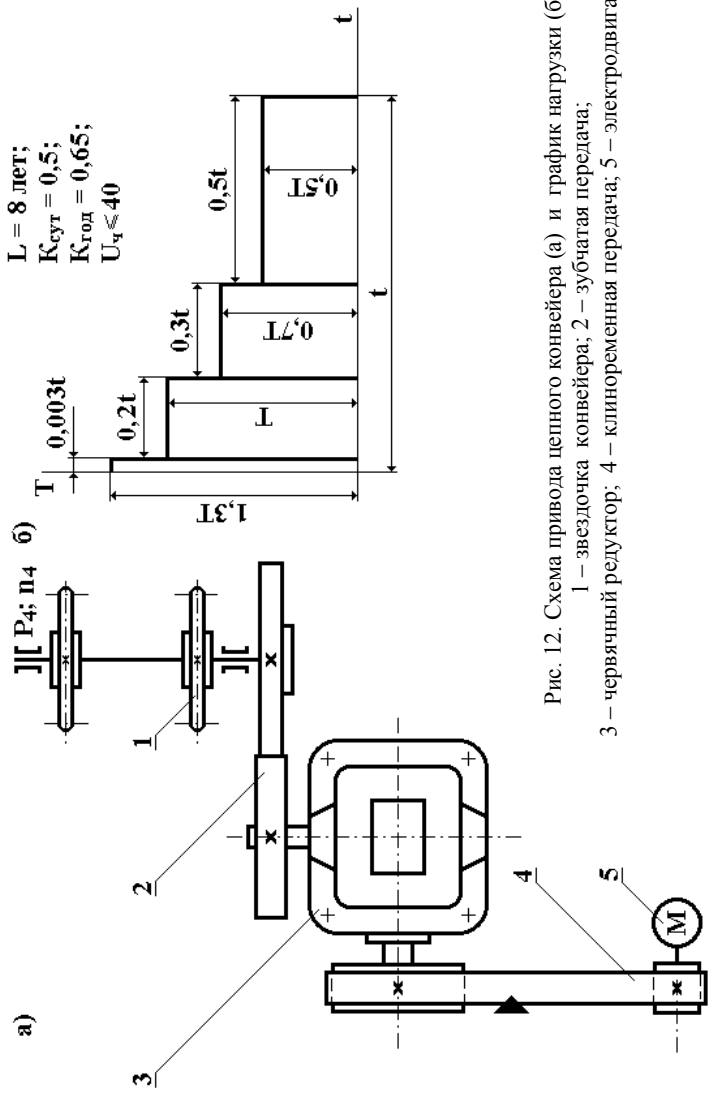


Рис. 12. Схема привода цепного конвейера (а) и график нагрузки (б)
 1 – звездочка конвейера; 2 – зубчатая передача;
 3 – червячный редуктор; 4 – клиноременная передача; 5 – электродвигатель

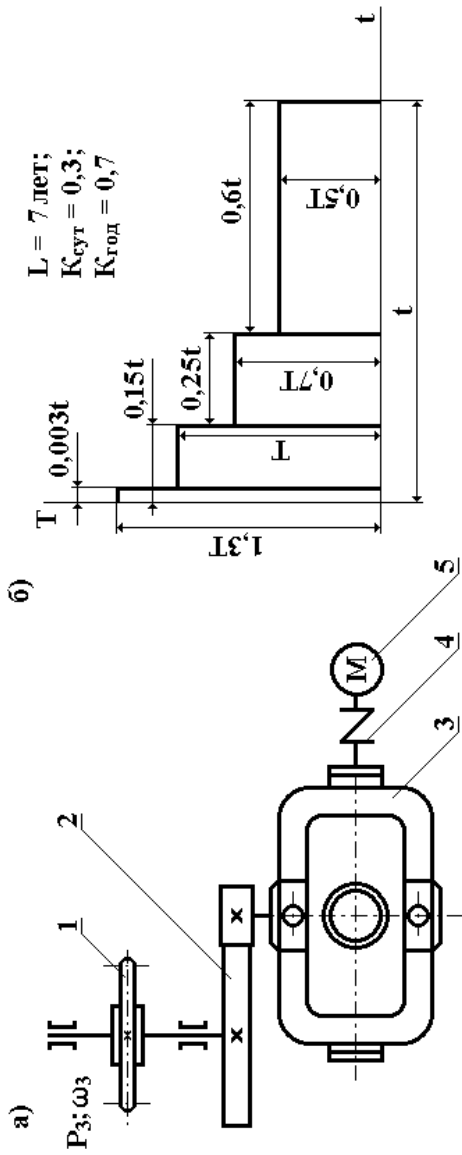


Рис. 13. Схема привода перегружателя (а) и график нагрузки (б)
 1 – звездочка конвейера; 2 – зубчатая передача; 3 – червячный редуктор;
 4 – упругая муфта; 5 – электродвигатель

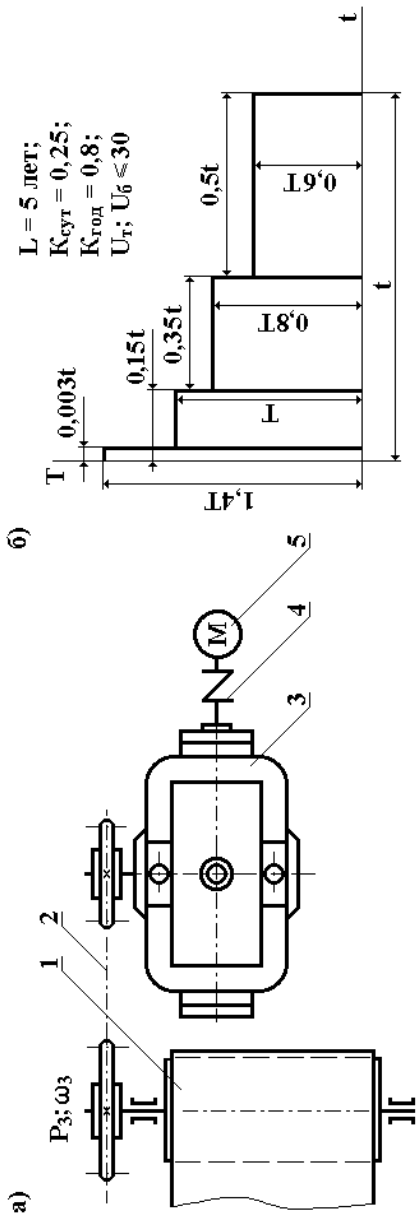


Рис. 14. Схема привода ленточного конвейера (а) и график нагрузки (б)
 1 – барабан конвейера; 2 – цепная передача; 3 – червячный редуктор,
 4 – упругая муфта; 5 – электродвигатель

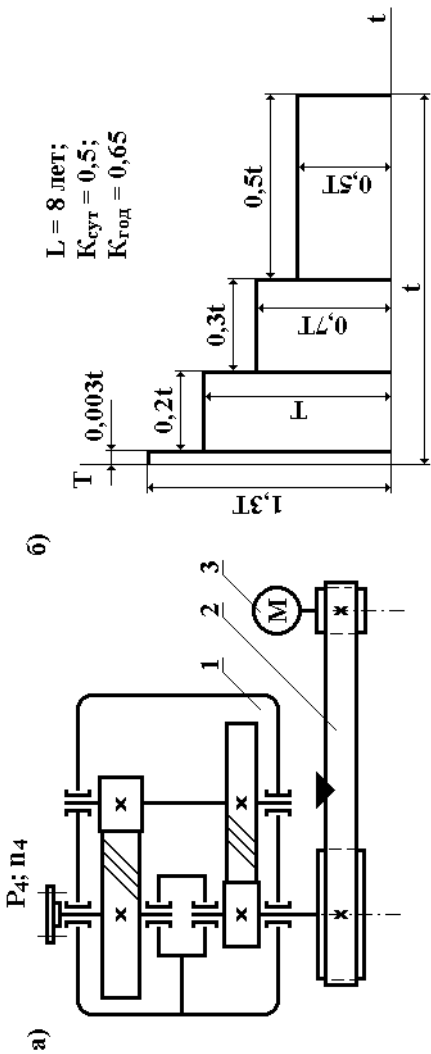


Рис. 15. Схема привода шаровой мельницы (а) и график нагрузки (б)
 1 – редуктор; 2 – клиноременная передача; 3 – электродвигатель

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюняев, А.В. Детали машин [Электронный ресурс]: учебник / А.В. Тюняев, В.П. Звездаков, В.А. Вагнер. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 736 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5109>.

2. Гулиа, Н.В. Детали машин [Электронный ресурс]: учебник / Н.В. Гулиа, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 416 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5705>.

5. Андреев, В.И. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.И. Андреев, И.В. Павлова. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/12953>.

4. Остяков, Ю.А. Проектирование деталей и узлов конкурентоспособных машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.А. Остяков, И.В. Шевченко. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 336 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30428>.

5. Справочник конструктора: Учебно-практическое пособие: В 2 книгах Книга 1. Машины и механизмы / Фещенко В.Н., – 2-е изд., переб. и доп. - М.:Инфра-Инженерия, 2017. – 400 с.: 60x84 1/8 (Переплёт) ISBN 978-5-9729-0084-8 – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/906490>

6. Справочник конструктора: Учебно-практическое пособие: В 2 книгах Книга 2. Машины и механизмы / Фещенко В.Н., – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Инфра-Инженерия, 2017. – 400 с.: 60x84 1/8 (Переплёт) ISBN 978-5-9729-0085-5 – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/906491>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Модули эвольвентных зубчатых передач по ГОСТ 9563–82

1-й ряд: 1,0; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25

2-й ряд: 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7; 9; 11; 14; 22; 28

Примечание. 1-й ряд предпочтительный.

Приложение 2

Межосевые расстояния зубчатых передач по ГОСТ 2185–81

1-й ряд: 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630;
800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500

2-й ряд: 71; 90; 112; 140; 180; 225; 280; 355; 450; 560; 710; 900; 1120;
1400; 1800; 2240

Примечание. 1-й ряд предпочтительный.

Приложение 3

Коэффициент ширины зубчатых колес

ψ_{ba} : 0,100; 0,125; 0,160; 0,200; 0,250; 0,315; 0,400; 0,500; 0,630; 0,800;
1,000; 1,250

Рекомендуемые значения коэффициента ширины зубчатых колес ψ_{ba}

Расположение колес относительно опор	Твердость рабочих поверхностей зубьев	
	$H_2 \leq 350$ HB или H_1 и $H_2 \leq 350$ HB	H_1 и $H_2 > 350$ HB
Консольное	0,20 – 0,25	0,15 – 0,20
Несимметричное	0,25 – 0,40	0,20 – 0,25
Симметричное	0,315 – 0,50	0,25 – 0,315

Примечание. Для шевронных колес при b_w , равной сумме полушевронов, ψ_{ba} увеличивается в 1,3 – 1,4 раза.

Номинальные значения передаточных чисел в зубчатых редукторах по ГОСТ 2185–81

1-й ряд: 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5

2-й ряд: 1,12; 1,4; 1,8; 2,24; 2,8; 3,55; 4,5; 5,6; 7,1; 9,0; 11,2

Примечание. 1-й ряд предпочтительный.

Рекомендуемый интервал значений передаточных отношений для двухступенчатых редукторов

Редуктор	Передаточные отношения
Цилиндрический	$\frac{7,1 - 50}{8 - 40}$
Планетарный	$\frac{10 - 125}{16 - 100}$
Коническо-цилиндрический	$\frac{6,3 - 40}{6,3 - 31}$
Червячный	$\frac{8 - 80}{8 - 63}$
Червячно-цилиндрический	$\frac{25 - 400}{40 - 250}$
Цилиндрочервячный	$\frac{16 - 200}{16 - 160}$

Примечание. В числителе приведен полный диапазон применяемых передаточных отношений, в знаменателе – рекомендуемый.

Механические свойства сталей для зубчатых колес

Марка стали	D, мм	S, мм	HB сердцевины	HRC поверхности	σ _в МПа	σ _т МПа	Термическая обработка
45	Любой	Любая	179 – 207	–	600	320	Н
45	125	80	235 – 262	–	780	540	У
45	80	50	269 – 302	–	890	650	У
40Х	200	125	235 – 262	–	790	640	У
40Х	125	80	269 – 302	–	900	750	У
40Х	125	80	269 – 302	45 – 50	900	750	У+ТВЧ
35ХМ	315	200	235 – 262	–	800	670	У
35ХМ	200	125	269 – 302	–	920	790	У
35ХМ	200	125	269 – 302	48 – 53	920	790	У+ТВЧ
40ХН	315	200	235 – 262	–	800	630	У
40ХН	200	125	269 – 302	–	920	750	У
40ХН	200	125	269 – 302	48 – 53	920	750	У+ТВЧ
20ХН2М	200	125	300 – 400	56 – 63	1000	800	У+Ц+З
18ХГТ	200	125	300 – 400	56 – 63	1000	800	У+Ц+З
12ХН3А	200	125	300 – 400	56 – 63	1000	800	У+Ц+З
25ХГМ	200	125	300 – 400	56 – 63	1000	800	У+Ц+З
40ХН2МА	125	80	269 – 302	50 – 66	980	780	У+А

Принятые обозначения: D – диаметр заготовки; S – ширина сечения обода, не более; Н – нормализация; У – улучшение; ТВЧ – закалка ТВЧ; Ц – цементация; З – азотирование.

Примечание. При нормализации и улучшении закалке твердости сердцевины и поверхности заготовки близки.

Значения предела контактной выносливости стальных зубчатых колес σ_{Hlimb} при базовом числе циклов N_{H0}

Термическая обработка	Твердость поверхностей зубьев	Расчетное значение σ_{Hlimb} , МПа	Коэффициент безопасности S_{H}	Базовое число циклов N_{H0}
Отжиг, нормализация	HB 187 ÷ 230	1,8HB + 65	1,1	$10 \cdot 10^6$
Улучшение	HB 220 ÷ 309	2HB + 70	1,1	$15 \div 25 \cdot 10^6$
Объемная закалка	HRC 38 ÷ 50	18HRC + 150	1,1	$60 \cdot 10^6$
Поверхностная закалка	HRC 45 ÷ 55	17HRC + 200	1,2	$80 \div 100 \cdot 10^6$
Цементация, нитроцементация	HRC 56 ÷ 63	23HRC	1,2	$120 \cdot 10^6$
Азотирование	HRC 57 ÷ 64	1050	1,2	$140 \cdot 10^6$

П р и м е ч а н и е. HB и HRC – средневзвешенное значение твердости поверхности зуба.

Значения предела изгибной выносливости стальных зубчатых колес $\sigma_{\text{гиб}}^b$ при базовом числе циклов $N_{\text{FO}} = 4 \cdot 10^6$

Термическая обработка	Твердость поверхностей зубьев	Расчетное значение $\sigma_{\text{гиб}}^b$, МПа	Коэффициент безопасности S_F	Примечание
Отжиг, нормализация	HB 187 ÷ 230	1,35HB + 100	1,75 2,0 – 2,25	Поковка, штамповка, литье
Улучшение	HB 220 ÷ 309	1,8HB	1,75 – 2,0	
Объемная закалка	HRC 38 ÷ 50	500 ÷ 600	1,75 – 2,0	Поковка, отливка
Поверхностная закалка	HRC 45 ÷ 55	500 ÷ 600	1,75 – 2,1	Штамповка, отливка
Цементация, нитроцементация	HRC 56 ÷ 63	750 ÷ 1000	1,7 – 1,9	Прокат, поковка
Азотирование	HRC 57 ÷ 64 HRC _{серд} 24 ÷ 42	18HRC _{серд} + 50	2,0 – 2,25	Прокат, отливка

Примечание. HB и HRC – средневзвешенное значение твердости поверхности или сердцевины зуба.

Материалы венцов червячных колес

Группа	Материал	Способ отливки	Механические свойства, МПа	
			σ_B	σ_T
I а	БрО10Н1Ф1	Ц	285	165
		К	275	200
	З	230	140	
I б	БрО5Ц5С5	К	200	90
		З	145	80
II а	БрА10Ж4Н4	Ц	700	460
		К	650	430
	БрА10Ж3Мц1,5	К	550	360
		З	450	300
	БрА9Ж3Л	Ц	530	245
		К	500	230
З		425	195	
II б	ЛЦ23А6Ж3Мц2	Ц	500	330
		К	450	295
		З	400	260
III	СЧ18 СЧ15	З	355	–
		З	315	–

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я: Ц – центробежное литье; К – литье в кокиль; З – литье в землю.

П р и м е ч а н и я.

1. Материалы разделены на группы по сопротивляемости заеданию.
2. Приведенные значения σ_B и σ_T соответствуют деформации изгиба.

Приложение 9

Значения КПД передач с учетом потерь в подшипниках

Передача	Условия работы	
	в масляной ванне	открытая
Зубчатая	0,94 – 0,98	0,90 – 0,94
Червячная при числе заходов червяка: $z_1 = 1$ $z_1 = 2$ $z_1 = 4$	0,70 – 0,73 0,75 – 0,82 0,90 – 0,92	0,40 – 0,45*
Цепная (с втулочно-роликовой и зубчатой цепью)	0,94 – 0,96	0,90 – 0,92
Ременная (плоскоременная и клиноременная)	–	0,94 – 0,96

Примечания.

1. Установив основные параметры червячной передачи, следует уточнить расчетом ее КПД.
2. * – для самотормозящей передачи.

Приложение 10

Рекомендуемый интервал значений передаточных чисел для понижающих передач редукторов

Зубчатая передача редуктора с цилиндрическими колесами:	
прямозубыми	3 – 4
косозубыми	3 – 5
шевронными	4 – 6
Зубчатая передача редуктора с коническими колесами	2 – 3
Открытая зубчатая передача с цилиндрическими колесами	4 – 6
Червячная передача редуктора	10 – 80
Цепная передача	3 – 4
Ременная передача:	
плоскоременная открытая	2 – 4
с натяжным роликом	3 – 5
клиноременная	2 – 4

Рекомендации по разбивке общего передаточного числа редуктора по ступеням

Тип редуктора	Передаточные числа ступеней
Двухступенчатый цилиндрический редуктор, выполненный по развернутой схеме	$u_{\text{б}} = (1,1 \div 1,2)\sqrt{u_{\text{ред}}} ;$ $u_{\text{т}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{б}}}$
Двухступенчатый цилиндрический соосный редуктор	$u_{\text{б}} = 1,2\sqrt{u_{\text{ред}}} ; u_{\text{т}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{б}}}$
Двухступенчатый коническо-цилиндрический редуктор	$u_{\text{б}} = 0,9\sqrt{u_{\text{ред}}} ; u_{\text{т}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{б}}}$
Двухступенчатый червячно-цилиндрический редуктор	$u_{\text{б}} = (0,03 \div 0,06)u_{\text{ред}} ;$ $u_{\text{т}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{б}}}$
Двухступенчатый цилиндро-червячный редуктор	$u_{\text{б}} \leq 2,0 \div 2,5 ; u_{\text{т}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{б}}}$
Трехступенчатый цилиндро-червячный редуктор	$u_{\text{цил}} = 5,0 \div 7,0 ;$ $u_{\text{черв}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{цил}}}$
Двухступенчатый планетарный редуктор, выполненный по схеме 3 К - Н	$u_{\text{б}} = 3 + 0,2(u_{\text{ред}} - 10) , \text{ но}$ $u_{\text{б}} \leq 8 ; u_{\text{т}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{б}}}$

**Трехфазные асинхронные короткозамкнутые двигатели
серии 4А (по ГОСТ 19523-74)**

Тип двигателя	P , кВт	n , мин ⁻¹	T_{max}/T_{min}
Синхронная частота вращения 3000 мин⁻¹			
4А71В2У3	1,1	2830	2,2
4А80А2У3	1,5	2860	
4А80В2У3	2,2	2860	
4А90L2У3	3,0	2880	
4А100S2У3	4,0	2880	
4А100L2У3	5,5	2910	
4А112М2У3	7,5	2910	
4А132М2У3	11,0	2920	
4А160S2У3	15,0	2910	
4А160М2У3	18,5	2890	
4А180S2У3	22,0	2900	
4А180М2У3	30,0	2900	
4А200М2У3	37,0	2940	
4А200L2У3	45,0	2940	
4А225М2У3	55,0	2940	
4А250S2У3	75,0	2960	
4А250М2У3	90,0	2960	
4А280S2У3	110,0	2960	
4А280М2У3	132,0	2960	
Синхронная частота вращения 1500 мин⁻¹			
4А80А4У3	1,1	1400	2,2
4А80В4У3	1,5	1420	
4А90L4У3	2,2	1430	
4А100S4У3	3,0	1430	
4А100L4У3	4,0	1450	2,2
4А112М4У3	5,5	1450	
4А132S4У3	7,5	1460	
4А132М4У3	11,0	1460	
4А160S4У3	15,0	1460	
4А160М4У3	18,5	1450	
4А180S4У3	22,0	1460	
4А180М4У3	30,0	1460	
4А200М4У3	37,0	1460	
4А200L4У3	45,0	1460	

Тип двигателя	P , кВт	n , мин ⁻¹	T_{max}/T_{min}
4A250S4Y3	75,0	1470	
4A250M4Y3	90,0	1470	
4A280S4Y3	110,0	1470	
4A280M4Y3	132,0	1470	
Синхронная частота вращения 1000 мин⁻¹			
4A80B6Y3	1,1	930	2,2
4A90L6Y3	1,5	950	
4A100L6Y3	2,2	950	
4A112MA6Y3	3,0	960	
4A112MB6Y3	4,0	960	
4A132S6Y3	5,5	970	
4A132M6Y3	7,5	970	
4A160S6Y3	11,0	970	
4A160M6Y3	15,0	970	2,0
4A180M6Y3	18,5	970	
4A200M6Y3	22,0	970	
4A200L6Y3	30,0	980	
4A225M6Y3	37,0	980	
4A250S6Y3	45,0	980	
4A250M6Y3	55,0	980	
4A280S6Y3	75,0	980	
4A280M6Y3	90,0	980	1,9
Синхронная частота вращения 750 мин⁻¹			
4A90LB8Y3	1,1	700	1,7
4A100L8Y3	1,5	700	
4A112MA8Y3	2,2	720	2,2
4A112MB8Y3	3,0	720	
4A132S8Y3	4,0	730	
4A132M8Y3	5,5	730	
4A160S8Y3	7,5	725	
4A160M8Y3	11,0	725	
4A180M8Y3	15,0	730	2,0
4A200M8Y3	18,5	730	
4A200L8Y3	22,0	735	
4A225M8Y3	30,0	735	
4A250S8Y3	37,0	735	
4A250M8Y3	45,0	740	
4A280S8Y3	55,0	740	1,9
4A280M8Y3	75,0	740	
4A315S8Y3	90,0	740	

Примеры оформления графической части курсового проекта

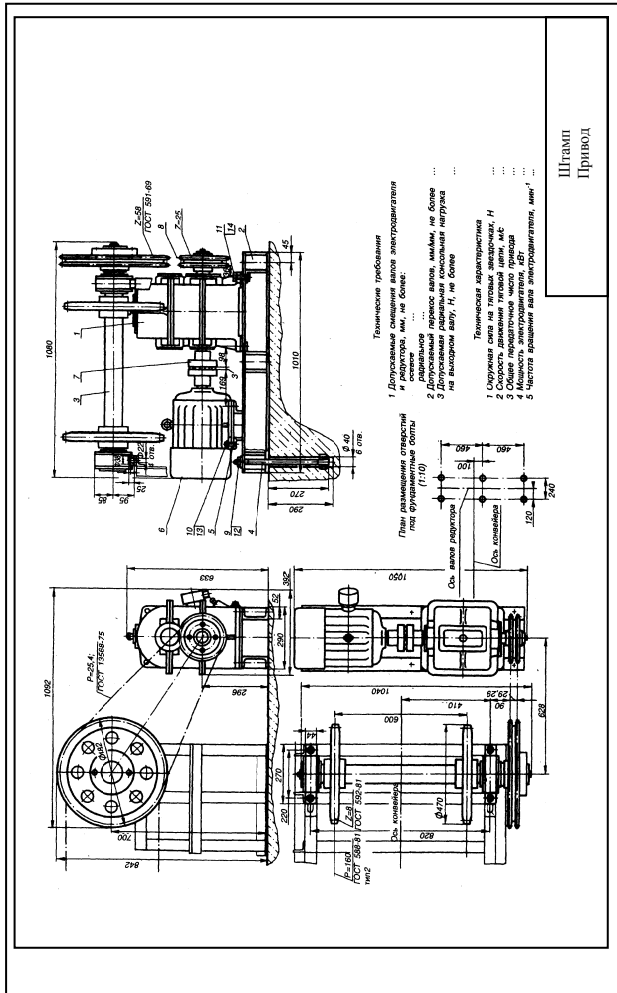


Рис. П1. Чертеж общего вида привода

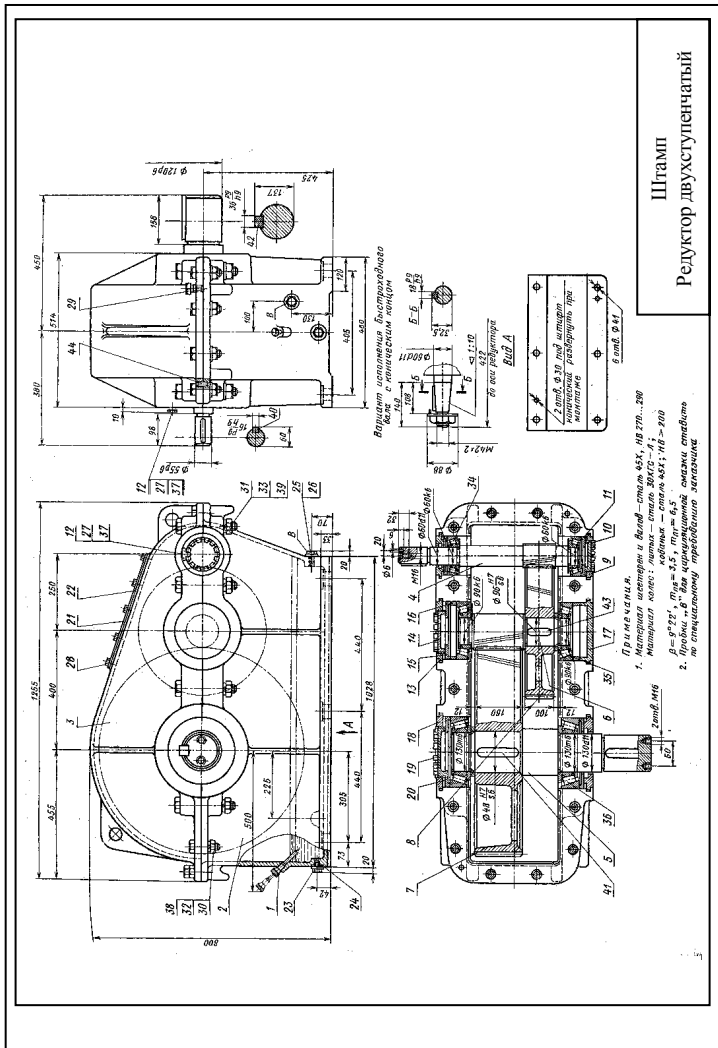


Рис. П2. Сборочный чертёж редуктора

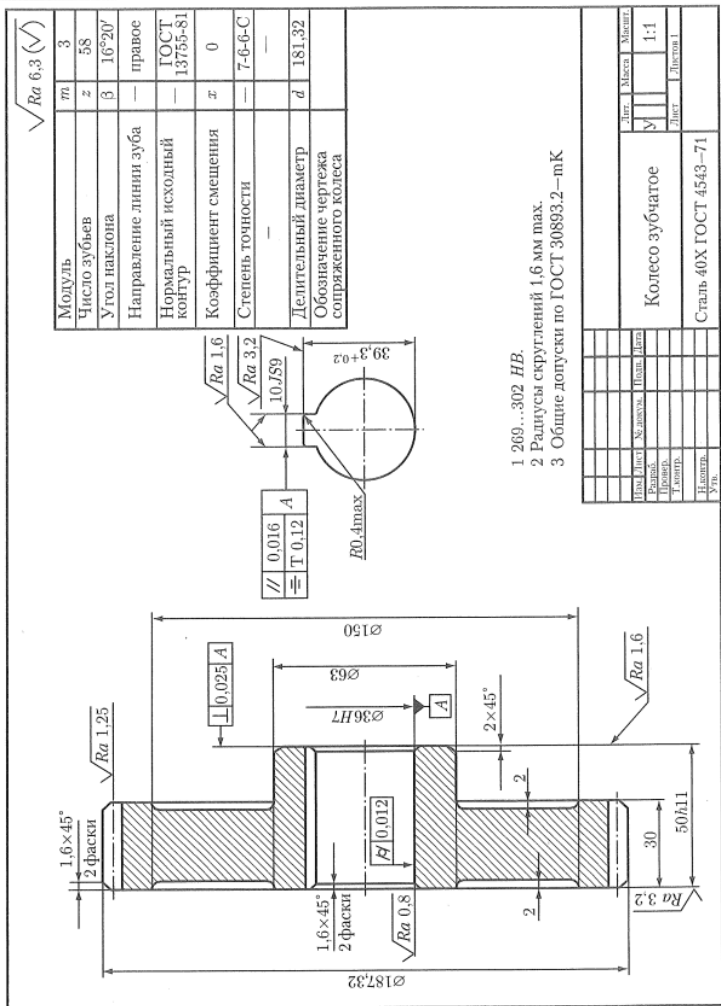


Рис. П4. Рабочий чертёж цилиндрического зубчатого колеса

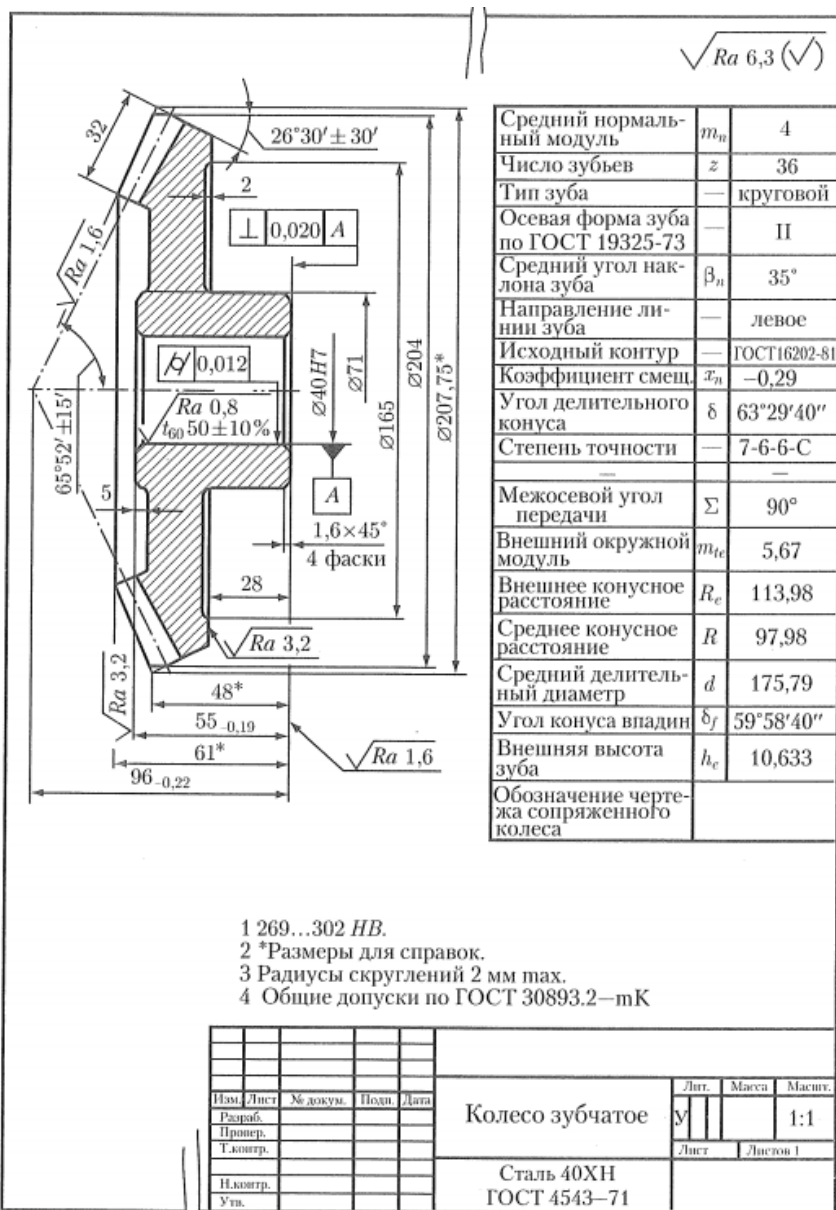


Рис. П5. Рабочий чертёж конического зубчатого колеса

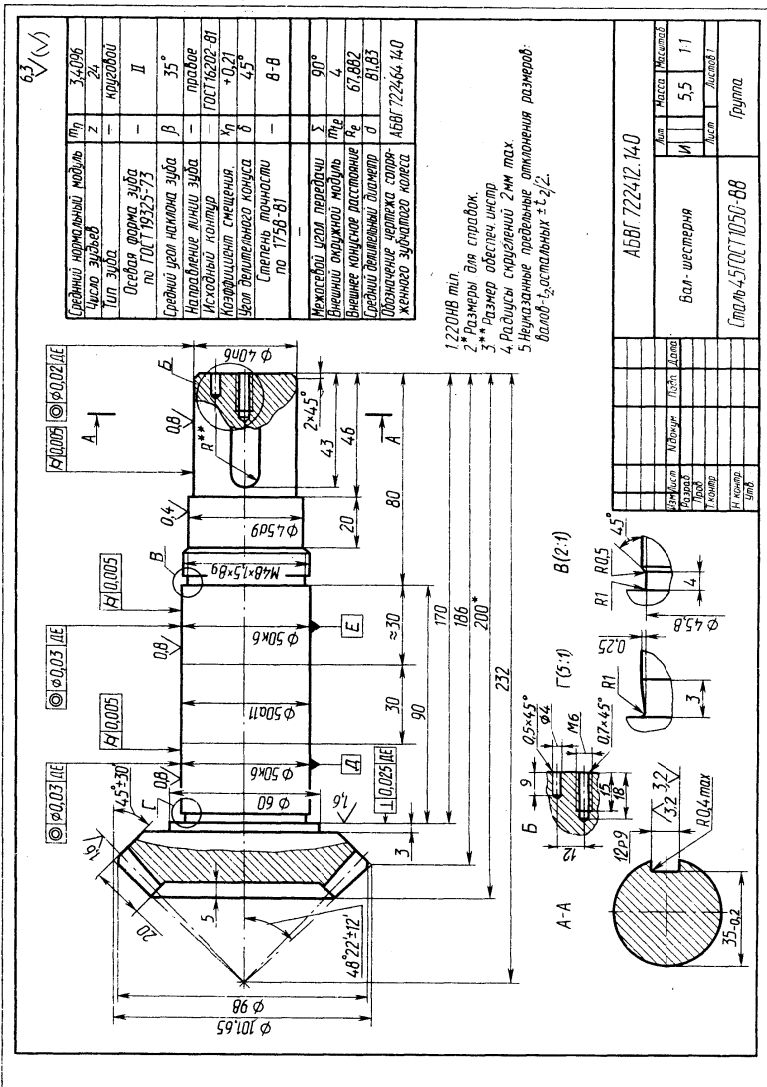
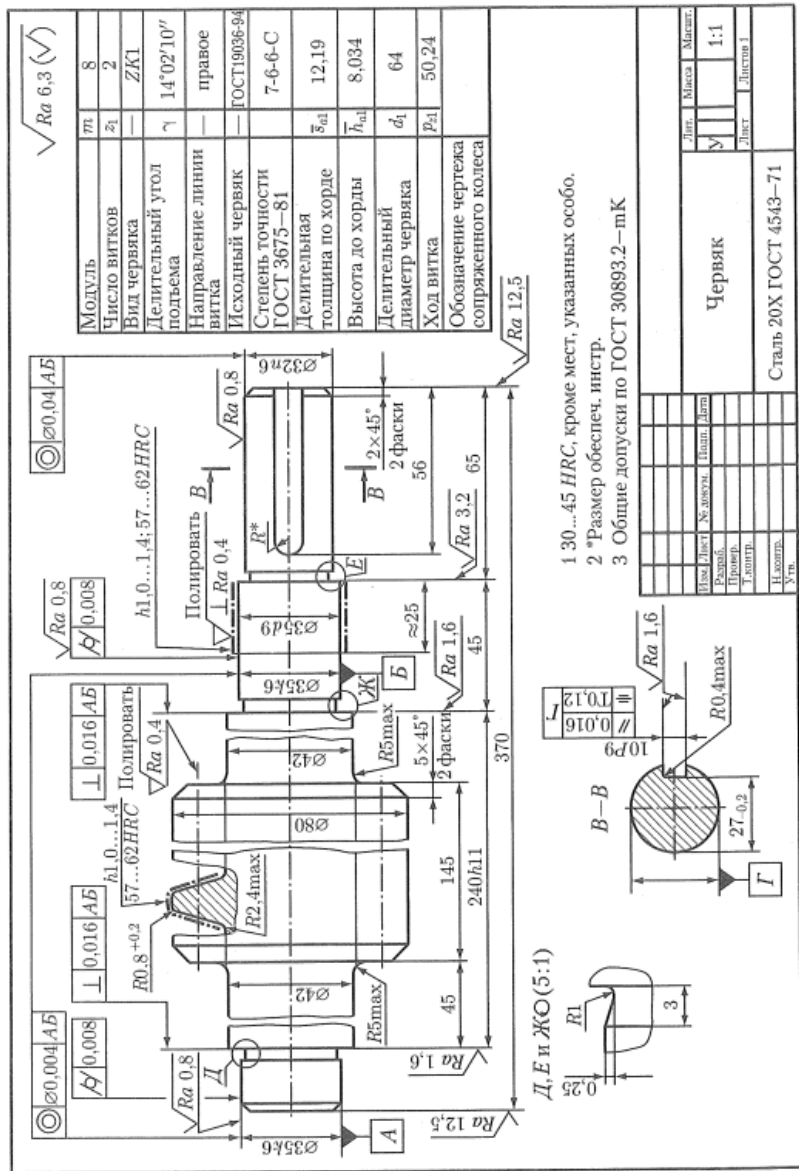


Рис. П7. Рабочий чертёж вала-шестерни



- 1 30...45 HRC, кроме мест, указанных особо.
- 2 *Размер обеспеч. инстр.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.2-мК

Изм.	Лист	№ докум.	План	Дата
У	1			
Лист	Листов 1			
Масса				

Червяк	
Сталь 20X ГОСТ 4543-71	

Рис. П8. Рабочий чертёж червяка

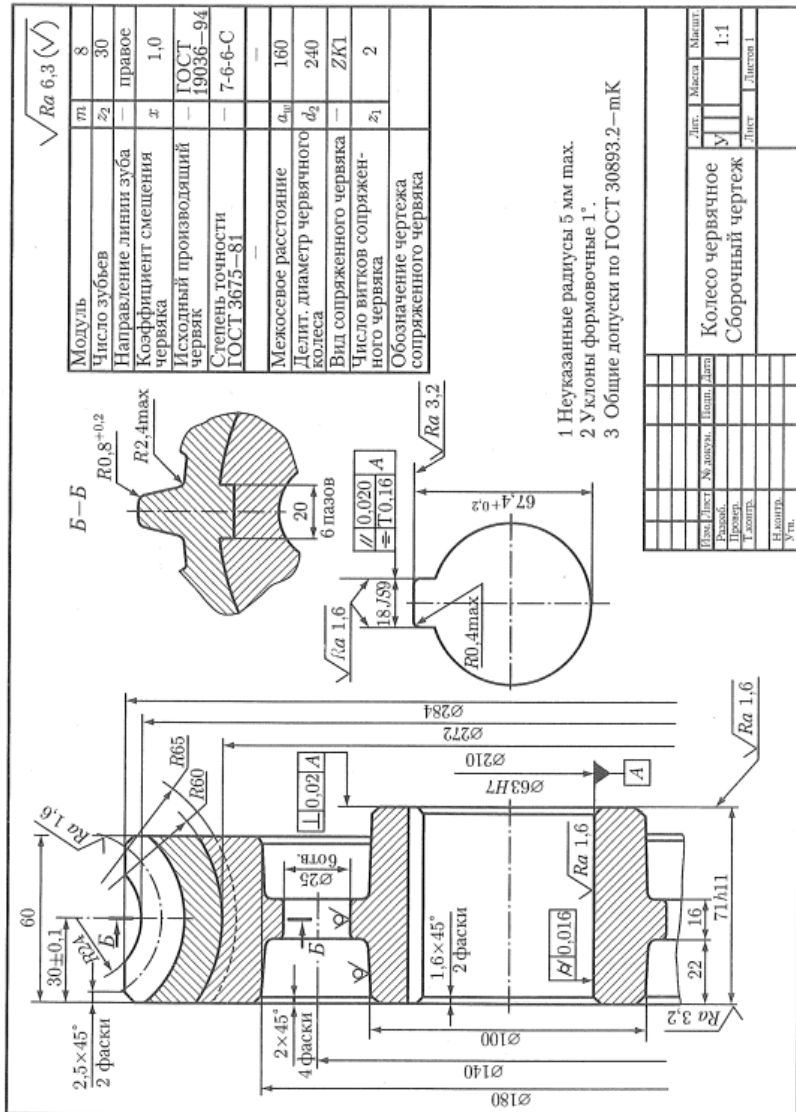


Рис. П9. Рабочий чертёж червячного колеса

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Требования к оформлению и содержанию курсового проекта	3
2. Основные этапы выполнения курсового проекта	5
3. Методические основы расчета различных типов передач по основным критериям работоспособности	6
3.1. Цилиндрическая передача	6
3.1. Коническая передача	7
3.1. Червячная передача	8
Задания к курсовым проектам	10
Библиографический список	29
Приложения	30