

В. Н. Фещенко

Книга 1

Машины и механизмы



3-е издание

СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА



«Инфра-Инженерия»

УДК 621.001.66(035)

ББК 34.42я2

Ф44

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензенты:

Ветров С. И., и. о. генерального директора ОАО Завод «Красный Пролетарий», г. Москва.

Абоимов А. В., зам. директора по учебно-производственной работе ГОУПО, лицей №2,
г. Мытищи, Московской обл.

Ломаев А. Н., главный конструктор по изделиям гражданского назначения,
ОАО «Воткинский завод», г. Воткинск.

Фещенко В. Н.

Ф44 СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА. Книга 1. Машины и механизмы : учебно-практическое пособие. / В. Н. Фещенко. — 3-е изд. испр. и доп. — М. : Инфра-Инженерия, 2019. — 400 с.

ISBN 978-5-9729-0252-1 (К.1)

ISBN 978-5-9729-0254-5

Приведены сведения об устройстве производственных машин: о механических передачах для преобразования различных видов движений и об устройстве приводов: электрического, гидравлического, пневматического и с системой ЧПУ. Описано влияние различных видов трения на работоспособность и на износ поверхностей деталей механизмов машин.

Приведен также перечень смазочных материалов, применяемых в машинах и механизмах, и дана методика их выбора и способов подачи в рабочую зону. Даны сведения о свойствах конструкционных материалов, которые применяют для изготовления деталей машин и механизмов. Описаны применяемые в машинах разъемные и неразъемные соединения деталей, соединяемые сваркой, шлицами, крепежом, посадками и другими способами, а также муфты, трубопроводы, пружины, цепные и фрикционные передачи, включая вариаторы, ременные передачи и тормоза, и даны методы определения их нагрузочной способности.

Предназначено для инженеров, техников-конструкторов, студентов машиностроительных специальностей технических вузов и учащихся профессионально-технических училищ.

© Фещенко В. Н., автор, 2019

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

ISBN 978-5-9729-0252-1 (К.1)

ISBN 978-5-9729-0254-5

Глава 1
СИСТЕМА ЕДИНИЦ И МЕР ИЗМЕРЕНИЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

1.1. АЛФАВИТЫ И ЦИФРЫ

В отечественной научной и технической литературе и в технической документации машиностроения применяют кириллицу, латиницу и греческий алфавиты (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Латинский и греческий алфавиты					
Рукописные буквы	Произношение	Рукописные буквы	Произношение	Рукописные буквы	Произношение
Латинский алфавит					
Aa	а	Jj	йот	Ss	эс
Bb	бе	Kk	ка	Tt	тэ
Cc	це	Ll	эль	Uu	у
Dd	де	Mm	эм	Vv	ве
Ee	е	Nn	эн	Ww	дубль-ве
Ff	эф	Oo	о	Xx	икс
Gg	ге	Pp	пэ	Yy	игрек
Hh	аш	Qq	ку	Zz	зет
Ii	и	Rr	эр		
Греческий алфавит					
Aα	альфа	Ιι	йота	Ρρ	ро
Bβ	бета	Κκ	каппа	Σσ	сигма
Γγ	гамма	Λλ	ламбда	Ττ	тау
Δδ	дельта	Μμ	мю	Υυ	ипсилон
Εε	эпсилон	Νν	ню	Φφ	фи
Ζζ	дзета	Ξξ	кси	Χχ	хи
Ηη	эта	Οο	омикрон	Ψψ	пси
Θθ	тхэта	Ππ	пи	Ωω	омега

Римские цифры изображаются основными знаками: I, V, X, L, C, D и M, которые соответствуют следующим натуральным числам: I – 1; V – 5; X – 10; L – 50; C – 100; D – 500; M – 1000.

С помощью основных знаков записываются все натуральные числа. Для определения натурального числа, записанного римскими цифрами, нужно сложить значения всех римских цифр, записанных в числе, например:

$XVI = 10 + 5 + 1 = 16$, $CCXXVIII = 100 + 100 + 10 + 10 + 5 + 1 + 1 + 1 = 228$.

Однако, если перед большей по значению цифрой стоит меньшая, то из цифры большего значения следует вычесть цифру меньшего значения, например:

$CXXIV = 100 + 10 + 10 + (5 - 1) = 124$; $CMIX = (1000 - 100) + (10 - 1) = 909$.

1.2. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ГОСТ 8.417–81 «Единицы физических величин» устанавливает обязательное применение в науке и технике единиц Международной системы единиц (сокращенно СИ).

Таблица 1.2

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований							
Множитель	Приставка	Обозначение		Множитель	Приставка	Обозначение	
		русское	международное			русское	международное
10^{18}	экса	Э	Е	10^{-1}	деци	д	d
10^{15}	пета	П	Р	10^{-2}	санتي	с	c
10^{12}	тера	Т	Т	10^{-3}	милли	м	m
10^9	гига	Г	G	10^{-6}	микро	мк	μ
10^6	мега	М	M	10^{-9}	нано	н	n
10^3	кило	к	к	10^{-12}	пико	п	p
10^2	гекто	г	h	10^{-15}	фемто	ф	f
10^1	дека	да	da	10^{-18}	атто	а	a

Примечание. Кратные и дольные единицы образуются путем умножения или деления на степень числа 10. Их наименование получается прибавлением указанных в таблице приставок к наименованиям основных или производных единиц, например, километр, миллиграмм, микрометр, наносекунда и т. п.

Таблица 1.3

Основные и дополнительные единицы СИ

Наименование величины	наименование	обозначение		определение
		русское	между- народное	
		Единица		
Основные единицы				
Длина	Метр	м	m	Метр равен длине 1 660 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86
Масса	Килограмм	кг	kg	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма
Время	Секунда	с	s	Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
Сила электрического тока	Ампер	А	A	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы на участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н
Термодинамическая температура	Кельвин	К	K	Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды
Сила света	Кандела	кд	cd	Кандела равна силе света, испускаемого с поверхности площадью 1/600 000 м ² полного излучателя в перпендикулярном направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины – при давлении 101 325 Па
Количество вещества	Моль	моль	mol	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов (атомы, молекулы, ионы, электроны или другие частицы), сколько содержится атомов в углероде -12 массой 0,012 кг
Дополнительные единицы				
Плоский угол	РадIAN	рад	rad	РадIAN равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу
Телесный угол	Стерadian	ср	sr	Стерadian равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы
Некоторые производные единицы				
Единицы пространства и времени				
Площадь	Квадратный метр	м ²	m ²	Квадратный метр равен площади прямоугольника, каждая сторона которого равна 1 м
Объем, вместимость	Кубический метр	м ³	m ³	Кубический метр равен объему прямоугольного параллелепипеда, каждое ребро которого равно 1 м
Скорость	Метр в секунду	м/с	m/s	Метр в секунду равен скорости прямолинейно и равномерно движущейся материальной точки, при которой эта точка за время 1 с перемещается на расстояние 1 м
Ускорение	Метр на секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²	Метр на секунду в квадрате равен ускорению прямолинейно и равноускоренно движущейся материальной точки, линейная скорость которой изменяется на 1 м/с в течение 1с
Угловая скорость	РадIAN в секунду	рад/с	rad/s	РадIAN в секунду равен угловой скорости равномерно вращательного движения точки по окружности, при котором радиус-вектор этой точки описывает в течение 1с центральный угол, равный 1рад
Частота	Герц	Гц	Hz	Герц равен частоте, при которой в 1с завершается одно колебание или цикл
Единицы механических величин				
Сила	Ньютон	Н	N	Ньютон равен силе, сообщающей телу с постоянной массой 1 кг ускорение в 1 м/с ² в направлении действия силы
Плотность	Килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³	Килограмм на кубический метр равен плотности однородного вещества, масса которого при объеме 1м ³ равна 1 кг
Момент силы	Ньютон-метр	Н·м	N·m	Ньютон-метр равен моменту силы, создаваемому силой 1Н относительно точки, расположенной на расстоянии 1 м от линии действия силы
Давление (механическое напряжение)	Паскаль	Па	Pa	Паскаль равен давлению (механическому напряжению), вызываемому силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м ² (Н/м ²)
Работа (энергия)	Джоуль	Дж	J	Джоуль равен работе, которую совершает постоянная сила в 1 Н на пути 1 м, пройденном телом под действием этой силы в направлении действия силы
Мощность	Ватт	Вт	W	Ватт равен мощности, при которой за 1 с совершается работа 1 Дж

Таблица 1.4

Важнейшие производные единицы СИ для различных областей науки и техники

Величина	Единица		
	наименование	русское	международное
Площадь	Квадратный метр	м ²	m ²
Объем, вместимость	Кубический метр	м ³	m ³
Частота	Герц	Гц	Hz
Частота дискретных событий (частота импульсов, ударов и т.п.)	Секунда в минус первой степени	с ⁻¹	s ⁻¹
Частота вращения	Секунда в минус первой степени	с ⁻¹	s ⁻¹
Период	Секунда	с	s
Скорость	Метр в секунду	м/с	m/s
Ускорение	Метр на секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²
Угловая скорость	Радан на секунду	рад/с	rad/s
Угловое ускорение	Радан на секунду в квадрате	рад/с ²	rad/s ²
Длина волны	Метр	м	m
Сила	Ньютон	Н	N
Вес	Ньютон	Н	N
Плотность	Килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
Удельный объем	Кубический метр на килограмм	м ³ /кг	m ³ /kg
Удельный вес	Ньютон на кубический метр	Н/м ³	N/m ³
Момент силы, момент лары сил	Ньютон-метр	Н·м	N·m
Момент инерции (динамический момент инерции)	Килограмм-метр в квадрате	кг·м ²	kg·m ²
Полярный момент инерции площади плоской фигуры	Метр в четвертой степени	м ⁴	m ⁴
Момент сопротивления плоской фигуры отрезка	Метр в третьей степени	м ³	m ³
Давление, механическое напряжение, модуль упругости	Паскаль	Па (Н/м ²)	Pa
Градиент давления	Паскаль на метр	Па/м	Pa/m
Количество движения	Килограмм-метр в секунду	кг·м/с	kg·m/s
Момент количества движения	Килограмм-метр в квадрате в секунду	кг·м ² /с	kg·m ² /s
Работа, энергия	Джоуль	Дж	J
Мощность	Ватт	Вт	W
Продольная и поперечная силы в сечении бруса	Ньютон	Н	N
Интенсивность распределения нагрузки	Ньютон на метр	Н/м	N/m
Напряжение, касательное напряжение	Паскаль	Па	Pa
Угловая деформация (деформация сдвига)	Радан	рад	rad
Модуль продольной упругости, модуль упругости при сдвиге	Паскаль	Па	Pa
Изгибающий момент, вращающий (крутящий) момент	Ньютон-метр	Н·м	N·m
Жесткость: при растяжении, сжатии	Ньютон на метр	Н/м	N/m
при кручении, изгибе	Ньютон-метр на радиан	Н·м/рад	N·m/rad
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	Вольт	В	V
Электрическая емкость	Фарада	Ф	F
Электрическое сопротивление	Ом	Ом	Ω
Кинематическая вязкость	Метр квадратный в секунду	м ² /с	m ² /s
Динамическая вязкость	Пуаз	Н·с/м ²	N·s/m ²
Ударная вязкость	Джоуль на метр квадратный	Дж/м ²	J/m ²

Таблица 1.5

Согласование единиц разных систем с СИ

Величина	Единица	
	обозначение русское	обозначение международное
Сила, вес	1 кгс	9,8 Н $\approx$ 10Н
Момент силы	1 кгс·м	9,8 Н·м $\approx$ 10Н·м
Частота	1 об/сек	6,28 рад/с = 1с ⁻¹
	1 об/мин	0,105 рад/с = 1мин ⁻¹
Удельная нагрузка	1 кгс/см ²	0,1 МПа = 10 ⁵ Па (1Па=1Н/м ²)
	1 кгс/мм ²	10 МПа
Плоский угол	° – градус	° = 1,745329 · 10 ⁻² рад
	′ – минута	′ = 2,908882 · 10 ⁻⁴ рад
	″ – секунда	″ = 4,848137 · 10 ⁻⁶ рад
Атмосфера техническая	1 атм = 1кг/см ²	9,8 · 10 ⁴ Н/м ² = 0,1 МПа
Дюйм	1" = 25,4 мм	1" = 25,4 мм

Таблица 1.6

Перевод градусной меры в радианную меру

(длина дуг окружности радиуса, равного 1; 1 рад = 57° 17' 44"; 1° = 0,017453 рад)

Угол	Дуга	Угол	Дуга	Угол	Дуга	Угол	Дуга
1"	0,000005	1'	0,000291	1°	0,017453	20°	0,349066
2"	0,000010	2'	0,000582	2°	0,034907	30°	0,523599
3"	0,000015	3'	0,000873	3°	0,052360	40°	0,698132
4"	0,000019	4'	0,001164	4°	0,069813	50°	0,872665
5"	0,000024	5'	0,001454	5°	0,087266	60°	1,047198
6"	0,000029	6'	0,001745	6°	0,104720	90°	1,570796
7"	0,000034	7'	0,002036	7°	0,122173	180°	3,141593
8"	0,000039	8'	0,002327	8°	0,139626	270°	4,712389
9"	0,000044	9'	0,002618	9°	0,157080	360°	6,283185
10"	0,000049	10'	0,002909	10°	0,174533		

Примечание.

$$1^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} = 0,0174532925 \text{ рад.}$$

1.3. СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 1.7

Показатели и основные зависимости, определяющие характеристики металлов

Характеристика металлов	Обозначение	
Механические свойства		
Предел текучести – предельное растягивающее напряжение	σ_T	МПа
Модуль продольной упругости, $E = \sigma / \varepsilon = Pl_0/F_0 \Delta l$, где $\varepsilon = \Delta l / l_0$	E	МПа
Модуль сдвига – $G = \sigma / \alpha$, где $\alpha \approx \text{tg } \alpha$	G	МПа
Временное сопротивление при растяжении, $\sigma_B = P_{\max} / F$	σ_B	МПа
Относительное удлинение, $\delta = (l_l - l_0) / l_0$	δ	%
Относительное сужение, $\psi = (F_0 - F_l) / F_0$	ψ	%
Предел упругости - $\sigma_e = P / F$,	σ_e	МПа
Твердость	HB; HRC ₃ ; HV	
Предел выносливости (усталости) при симметричном цикле напряжения $\sigma_{-1} = (0,49 \pm 0,13) \sigma_B$; $\sigma_{-1} = 0,75 \sigma_e$.	σ_{-1}	МПа
Ударная вязкость - работа разрушения образца, $a_u = A / F = 1,25 A$	a_u	кДж/м ² ; Дж/см ²
Предел прочности хрупких материалов при статическом изгибе $\sigma_u = 32M / \pi d^3$ или $\sigma_u = 6M / bh^2$	σ_u	МПа
Напряжение сдвига при скручивании $\tau = \gamma G = 0,5 G \theta d$ стержня $\tau_{\max} = 16M/\pi d^3$; трубы $\tau = 16M/\pi d^3(1 - d_1^4/d^4)$	τ	МПа
Физические свойства		
Плотность - отношение массы вещества к его объему	γ	г/см ³
Температура плавления - превращение твердого вещества в жидкое	$t_{пл}$	°C
Теплопроводность $\lambda = Ql / F (t_1 - t_2) \tau$	λ	Вт/(см·°C)
Коэффициент линейного расширения - линейная деформация материала при изменении температуры на 1 °C	α $\alpha \cdot 10^6$	1/°C
Напряженность работы	$p \cdot v$	МПа/м·с
Удельная теплоемкость	кДж/(м·°C); Дж/(см·°C);	
Удельное электрическое сопротивление ($\rho \cdot 10^6$)	ρ	Ом·мм ² /м
Электрическая прочность	кВ/мм ² , Ом/мм ²	

Примечание. $P_{\max}$ – максимальная нагрузка; F_0 – первоначальная площадь поперечного сечения; l_0 – первоначальная длина; A – работа; M – изгибающий момент; b и h – ширина и высота сечения; d – диаметр образца; Q – количество теплоты; $(t_1 - t_2)$ – разность температур; τ – время; θ – угол скручивания на единицу длины.

Таблица 1.8

Значения модуля продольной упругости E , модуля сдвига G , коэффициента Пуассона ν , температурного коэффициента линейного расширения α и плотности γ для некоторых часто применяемых материалов при 20°C

Материал	Модуль продольной упругости E , Па	Модуль сдвига $G \cdot 10^{10}$, Па	Коэффициент Пуассона, ν	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Плотность $\gamma \cdot 10^3$, кг/м ³
Сталь	$(1,90 \div 2,15) 10^{11}$	7,8÷8,30	0,25÷0,33	10÷13	7,7÷7,8
Серый чугун	$(0,78 \div 1,47) 10^{11}$	4,42	0,23÷0,27	8,7÷11	7,0÷7,1
Бронза оловянная	$(0,74 \div 1,22) 10^{11}$	—	0,32÷0,35	17÷22	8,6÷8,8
Бронза безоловянная	$(1,03 \div 1,18) 10^{11}$	—	—	17÷22	8,6÷8,8
Латунь алюминиевая	$(0,98 \div 1,08) 10^{11}$	3,63÷3,92	0,32÷0,34	17÷22	8,2÷8,5
Алюминиевые сплавы	$(6,87 \div 7,07) 10^{10}$	2,65	0,33	22÷24	2,6÷2,7
Текстолит	$(5,88 \div 9,81) 10^{10}$	—	—	20÷40	1,25÷1,4
Генитакс	$(9,81 \div 17,7) 10^{10}$	—	—	17÷25	1,17÷1,37
Капрон	$(1,37 \div 1,96) 10^{10}$	—	—	—	1,14÷1,37

Примечание. Плотность $\gamma = 7,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 7,0 \text{ г/см}^3 = 7,0 \text{ кг/дм}^3$.

Таблица 1.9

Коэффициенты линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ металлов и сплавов (в интервалах температур в °C)

Металл или сплав	Значения α при интервалах температур в °C					
	20–50	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500
Железо	11,8	12,2	12,8	13,4	13,9	14,5
Сталь углеродистая	—	10,6–12,2	11,3–13,0	12,1–13,5	12,9–13,9	13,5–14,3
Сталь хромистая	—	11,2	11,8	12,4	13,0	13,6
Чугун	—	8,7–11,1	8,5–11,6	10,1–12,2	11,5–12,7	12,9–13,2
Бронза алюминиевая	—	17,6	17,9	19,2	—	—
Бронза оловянистая	—	17,6	17,9	18,2	—	—
Алюминий чистый	—	23,9	24,3	25,3	26,5	—
Медь техническая	16,9	16,6–17,1	17,1–17,2	17,6	18,0–18,1	18,6
Латунь красная	—	17,2	17,5	17,9	—	—
Латунь желтая	—	17,8	18,8	20,9	—	—

Пример. Шпindel из стали 40X длиной $l = 800 \text{ мм}$ имеет начальную температуру $t_1 = 20^\circ \text{C}$ и конечную $t_2 = 60^\circ \text{C}$.

Удлинение $\Delta l = \alpha \cdot 10^{-6} l (t_2 - t_1) = 11,2 \cdot 10^{-6} \cdot 800 (60 - 20) = 0,358 \text{ мм}$.

Таблица 1.10

Перевод коэффициентов твердости HB, HRC и HRC₃ конструкционной стали

HB	HRC	HRC ₃	σ_b стали, МПа			HB	HRC	HRC ₃	σ_b стали, МПа		
			углеродистой	хромистой	хромоникель				углеродистой	хромистой	хромоникель
652	63	64	—	—	—	311	34	36	112	109	106
627	61	62	—	—	—	302	33	34	108	105	102
600	59	60	—	210	204	293	31	33	105	102	99
578	58	59	—	203	197	286	30	32	102	100	97
555	56	57	—	195	189	277	29	31	100	97	94
532	54	55	—	185	180	269	28	30	97	94	91
512	52	53,5	—	178	173	262	27	29	94	92	89
495	51	52,5	—	173	168	265	26	28	92	89	86
477	49	50,5	—	168	—	248	25	27	89	87	84
460	48	49,5	—	—	156	241	24	26	87	84	82
444	47	48,5	—	156	—	235	23	25	85	82	80
430	45	46,5	—	150	146	229	22	24	82	80	77
418	44	45,5	151	147	143	223	21	23	80	78	76
402	43	44,5	145	141	137	217	20	22	78	76	74
387	41	42,5	139	136	132	212	19	21	75	74	72
375	40	41,5	134	130	127	207	18	20	74	72	70
364	39	40,5	130	127	123	202	—	—	73	71	68
351	38	39,5	126	122	119	170	—	—	61	59	58
340	37	38,5	122	119	116	149	—	—	53	51	50
332	36	37,5	120	117	113	128	—	—	46	45	44
321	35	37	115	112	109	118	—	—	43	42	40
311	34	36	112	109	106	112	—	—	40	39	38

Таблица 1.11

Перевод коэффициентов твердости HB в коэффициенты твердости по шкале Шора (HSh)

HB	HSh	HB	HSh	HB	HSh	HB	HSh	HB	HSh	HB	HSh
444	64	332	50	255	40	201	32	163	27	131	22
429	62	321	49	248	39	197	31	159	26	128	22
415	61	312	47	241	38	192	30	156	26	123	21
401	59	302	46	235	37	187	30	152	25	121	21
388	57	293	45	229	36	185	29	149	24	118	21
375	56	283	44	223	35	179	29	147	24	116	20
363	54	277	43	217	34	174	28	143	24	114	20
352	53	270	42	212	34	170	28	140	23	111	20
341	51	260	41	207	33	167	27	137	23	110	20
								135	23	107	19

Таблица 1.12

Коэффициенты трения скольжения (ориентировочные)

Материалы трущихся тел	При покое		При движении	
	насухо	со смазкой	насухо	со смазкой
Сталь – сталь	0,15	0,1–0,12	0,15	0,05–0,1
Сталь – чугун	0,3	–	0,18	0,05–0,15
Сталь – бронза	0,15	0,1–0,15	0,15	0,1–0,15
Сталь – дуб	0,6	0,12	0,4–0,6	0,1
Чугун – чугун	–	0,18	0,15	0,07–0,12
Чугун – бронза	–	–	0,15–0,2	0,07–0,15
Бронза – бронза	–	0,1	0,2	0,07–0,1
Чугун – дуб	0,65	–	0,3–0,5	0,2
Кожа – чугун	0,3–0,5	0,15	0,6	0,15
Резина – чугун	–	–	0,8	0,5

Таблица 1.13

Коэффициенты трения качения для катка на плоскости (ориентировочные)

Материалы трущихся тел	Коэффициент трения, см
Мягкая сталь – мягкая сталь	0,005
Закаленная сталь – закаленная сталь	0,001
Чугун – чугун	0 005
Дерево – сталь	0,03–0,04
Дерево – дерево	0,05–0,08

Таблица 1.14

Удельный вес некоторых материалов, (10^{-2} Н/см³)

Материал	Удельный вес	Материал	Удельный вес	Материал	Удельный вес
Алмаз	3,52	Никель	8,3–8,9	Сталь канатная	7,85–8,0
Алюминий (прокат)	2,65–2,75	Платина	21,5	Сталь литая	7,5–7,92
Асбест	2,1–2,8	Припой мягкие	7,6–10,7	Стекло	2,42–3,86
Асбестовый шнур	1,11	Припой твердые	8,1–8,3	Стекло органическое	1,18
Баббит	7,5–10,5	Припой серебряные	8,6–9,5		
Бронза алюминиевая	7,7	Пробка	0,24	Текстолит	1,3–1,4
Бронза оловянистая	8,6–9,3	Резина вулканизированная	1,00	Уран	18,7
Бронза фосфористая	8,8			Фибра	1,1–1,4
Войлок технический	0,2–0,38	Ртуть твердая (при – 40 °С)	15,632	Хром	7,14
Гетинакс	1,3–1,4	Ртуть жидкая (при + 20 °С)		Целлулоид	1,35–1,4
Графит	2,20	Свинец	11,3–11,4	Цемент	0,82–1 95
Дуралюмин	2,75–2,90			Цинк	6,6–7,1
Золото	18,6–19,35	Серебро	10,4–10,75	Цинковые сплавы	5,25–7,25
Каучук	0,93	Слюда	2,8–3,2	Чугун ковкий	7,2–7,4
Корунд	3,9–4,0			Чугун серый	6,6–7,4
Латунь	8,4–8,85	Сормайт № 1	7,4	Эбонит диэлектрический	1,25
Наждак	4,0	Сормайт № 2	7,6		

1.4. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Таблица 1.15

Основные параметры механизмов и машин и их обозначение

Параметр	Обозначение
Ведущие звенья: (диаметр, окружная скорость, угловая скорость, мощность, вращающий момент на ведущем валу)	$d_1, v_1, \omega_1, P_1, M_1$
Ведомые звенья (те же) на ведомом валу	$d_2, v_2, \omega_2, P_2, M_2$
Коэффициент полезного действия (КПД) одного звена	$\eta = P_2 / P_1$
Общий КПД механизма с n звеньями	$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n$
Окружная скорость ведущего или ведомого звена (м/с)	$v = \omega d / 2$
Угловая скорость (рад/с)	$\omega = \pi n / 30 = 2v / d$
Окружная сила передачи (Н)	$F_t = P / v$
Вращающий момент T (Н·м)	$T = P / \omega = F_t d / 2 = 9,55 P / n$
Передаточное отношение механической передачи	$u_{12} = \omega_1 / \omega_2 = n_2 / n_1$ $u_{12} = T_2 / T_1 = P_2 \omega_1 / P_1 \omega_2 = T_2 / (\eta T_1)$
Передаточное число цепной передачи	$u = \omega_1 / \omega_2 = z_2 / z_1$
Передаточное отношение механизма с n передачами	$u_{\text{общ}} = u_1 u_2 \dots u_n$
Передаточное число зубчатой передачи	$u = z_2 / z_1$
Диаметр делительный прямозубого колеса	$d_2 = z_2 m$
Диаметр делительный косозубого колеса	$d_2 = z_2 m / \cos \beta$
Диаметр делительный окружности звездочки	$d_2 = t / \sin (180/z)$
Мощность электродвигателя (Вт)	$P_d \geq P = T \omega / \eta = F v / \eta$

Таблица 1.16

Параметры движения

Прямолинейное	
Обозначения: s – путь, м; t – время, с; v_t – скорость, м/с; a – ускорение, м/с ² ; g – ускорение свободного падения, м/с ² ; v_0 – начальная скорость, м/с	
Параметры	Формулы
равномерное	$s = v_t t; \quad t = \frac{s}{v} ; \quad (v_t = v = \text{const})$
равномерно-ускоренное ($v_0 = 0$)	$s = \frac{v_t t}{2} = \frac{at^2}{2} = \frac{v_t^2}{2a}; \quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \frac{v_t}{a} = \frac{2s}{v_t}; \quad v = \sqrt{2as} = \frac{2s}{t}$
равномерно-ускоренное ($v_0 \neq 0$)	$s = \frac{t(v_0 + v_t)}{2} = v_0 t + 0.5at^2; \quad v_t = v_0 + at; \quad t = \frac{v_t - v_0}{a}$
равномерно-замедленное	$s = \frac{t(v_0 + v_t)}{2} = v_0 t - 0.5at^2; \quad v_t = v_0 - at; \quad t = \frac{v_0 - v_t}{a}$
Свободное падение – (равномерно-ускоренное)	$s = 0.5v_t t = 0.5gt^2; \quad t = \sqrt{\frac{2s}{g}}; \quad v = gt; \quad \text{ускорение } g = 9,81$
Вращательное	
Обозначения: a_t – угловой путь, пройденный радиусом r за время t , рад; t – время, с; ω_t – угловая скорость, 1/с; ε – угловое ускорение, 1/с ² ; n – частота вращения, мин ⁻¹ ; v – линейная скорость на радиусе r , м/с; ω_0 – начальная угловая скорость, 1/с	
равномерное	$\alpha_t = \omega \cdot t = \frac{\pi n}{30} t; \quad t = \frac{a_t}{\omega} = \frac{30a_t}{\pi n}; \quad \omega = \frac{a_t}{t} = \text{const}; \quad v = \frac{\pi n}{30} r \omega$
равномерно-ускоренное ($v_0 = 0$)	$a_t = \frac{\omega_t t}{2} = \frac{\varepsilon t^2}{2} = \frac{\omega_t^2}{2\varepsilon}; \quad t = \frac{2a_t}{\omega_t} = \sqrt{\frac{2a_t}{\varepsilon}} = \frac{\omega_t}{\varepsilon};$ $\omega_t = \frac{2a_t}{t} = \sqrt{2\varepsilon a_t} = \varepsilon t; \quad \varepsilon = \frac{\omega_t}{t} = \frac{2a_t}{t^2} = \frac{\omega_t^2}{2a_t}$
равномерно-ускоренное ($v_0 \neq 0$)	$a_t = \frac{(\omega_0 + \omega_t)t}{2} = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} = \frac{\omega_t^2}{2\varepsilon}; \quad t = \frac{\omega_t - \omega_0}{\varepsilon};$ $\omega_t = \omega_0 + \varepsilon t = \frac{a_t}{t} + \frac{\varepsilon t}{2}; \quad \varepsilon = \frac{\omega_t - \omega_0}{t} = 2 \frac{a_t - \omega_0 t}{t^2}$
равномерно-замедленное	$a_t = \frac{(\omega_0 + \omega_t)t}{2} = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}; \quad t = \frac{\omega_0 - \omega_t}{\varepsilon};$ $\omega_t = \omega_0 - \varepsilon t = \frac{a_t}{t} - \frac{\varepsilon t}{2}; \quad \varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega_t}{t} = 2 \frac{\omega_0 t - a_t}{t^2}$

Таблица 1.17

Расчет сил простейших механизмов (без учета трения)

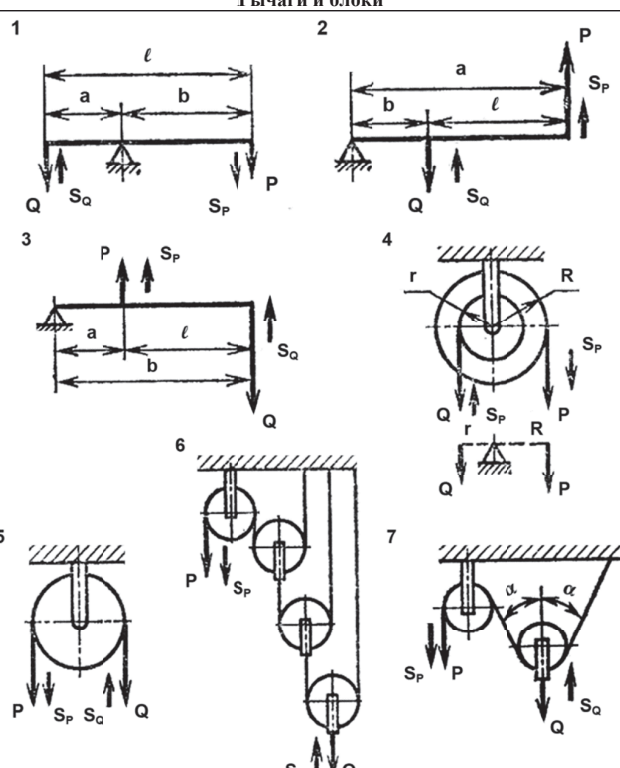
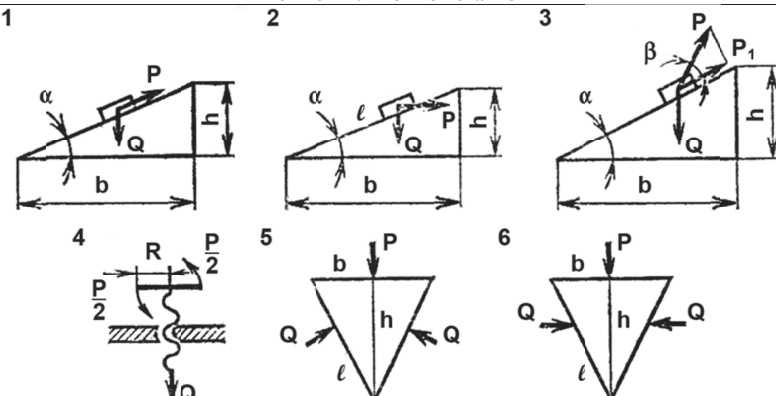
Рычаги и блоки			
			
Эскизы	Механизмы	Формулы	
		Силы	Перемещения
1	Рычаг первого рода	$P = Q \frac{a}{l}; b = \frac{Ql}{Q+P}; a = \frac{Pl}{Q+P}$	$S_p = -S_Q \frac{b}{a}; S_Q = -S_p \frac{a}{b}$
2, 3	Рычаг второго рода	$P = Q \frac{b}{a}; a = \frac{Ql}{P-Q}; b = \frac{Pl}{P-Q}$	$S_p = -S_Q \frac{a}{b}; S_Q = S_p \frac{b}{a}$
4	Ворот	$P = Q \frac{r}{R}$	$S_p = -S_Q \frac{R}{r}$
5	Блоки	$P = Q$	$S_p = -S_Q$
6		$P = \frac{Q}{2^n}$	$S_p = -S_Q 2^n; n - \text{число подвижных блоков}$
7		$P = \frac{Q}{2 \cos \alpha}$	$S_p = -2S_Q \cos \alpha$

Таблица 1.18

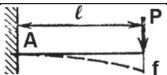
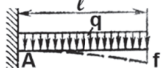
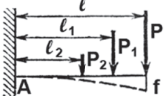
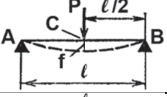
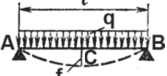
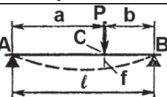
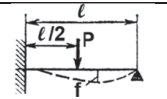
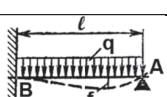
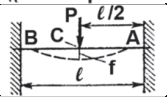
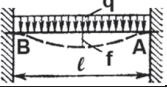
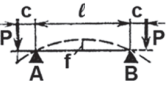
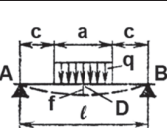
Расчет сил простейших механизмов (без учета трения)

Винтовые и клиновые механизмы			
			

Эскизы	Формулы	Эскизы	Формулы
1	$P = Q \frac{h}{l} = Q \sin \alpha$	4	$P = \frac{Qt}{2\pi R}; t - \text{ шаг винта}$
2	$P = Q \frac{h}{l} = Q \operatorname{tg} \alpha$	5	$P = Q \frac{b}{l} = Q \sin \alpha$
3	$P = Q \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}; P_1 = Q \sin \alpha$	6	$P = Q \frac{b}{h} = Q \operatorname{tg} \alpha$

Таблица 1.19

Расчет балок под нагрузкой

Схема нагружения	Реакции опор Изгибающий момент	Допускаемая нагрузка	Максимальный прогиб	Опасное сечение
	$A = P; M_{\max} = Pl$	$P_d = \frac{\sigma_u Z}{l}$	$\frac{Pl^3}{3EJ}$	A
	$A = Q = ql; M_{\max} = 0,5Ql$	$Q_d = \frac{2\sigma_u Z}{l}$	$\frac{Pl^3}{8EJ}$	A
	$A = P_1 + P_2 + P;$ $M_{\max} = Pl + P_1 l_1 + P_2 l_2$	--	$\frac{Pl^3 + P_1 l_1^3 + P_2 l_2^3}{3EJ}$	A
	$A = B = 0,5Q;$ $M_{\max} = 0,25Pl$	$P_d = \frac{4\sigma_u Z}{l}$	$\frac{Pl^3}{48EJ}$	C
	$A = B = 0,5Q; Q = ql;$ $M_{\max} = 0,125Ql$	$Q_d = \frac{8\sigma_u Z}{l}$	$\frac{5Ql^3}{384EJ}$	C
	$A = \frac{Pb}{l}; B = \frac{Pa}{l};$ $M_{\max} = \frac{Pab}{l};$	$P_d = \frac{\sigma_u Zl}{ab}$	$\frac{Pa^2 b}{3EJl}$	C
	$A = \frac{5P}{16}; B = \frac{11P}{16};$ $M_{\max} = \frac{3Pl}{16};$	$P_d = \frac{16\sigma_u Z}{l}$	$\frac{7Pl^3}{768EJ}$	A
	$A = 3,75Q; B = 0,625Q;$ $Q = ql; M_{\max} = 0,125Ql$	$Q_d = \frac{8\sigma_u Z}{l}$	$\frac{Ql^3}{185EJ}$	B
	$A = B = 0,5P;$ $M_{\max} = 0,125Pl$	$P_d = \frac{8\sigma_u Z}{l}$	$\frac{Pl^3}{192EJ}$	A,B,C
	$A = B = 0,5Q; Q = ql;$ $M_{\max} = \frac{Ql}{12};$	$Q_d = \frac{12\sigma_u Z}{l}$	$\frac{Ql^3}{384EJ}$	A,B,C
	$A = B = P;$ $M_{\max} = Pc = \text{const}$	$P_d = \frac{\sigma_u Z}{c}$	$f_1 = \frac{Pl^3 c}{8EJl};$ $f_2 = \frac{Pc^3}{3EJ} (c + \frac{3l}{2})$	Все сечения
	$A = B = 0,5Q; Q = qa;$ $M_{\max} = 0,125Q(2l - a)$	$Q_d = \frac{8\sigma_u Z}{2l - a}$	$\frac{Q}{384EJ} (8l^3 - 4l^2 a + a^3)$	D

Примечание. Формулы для определения J и Z приведены в табл. 1.21, E - в табл.1.8.

1.5. РАСЧЕТ ПРЯМЫХ СТЕРЖНЕЙ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

В общем случае величину критической силы $P_{кр}$, при которой прямолинейная форма стержня становится неустойчивой, определяют по формуле Эйлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{l_{пр}^2},$$

где E – модуль продольной упругости материала стержня (модуль Юнга); J – минимальный осевой момент инерции поперечного сечения стержня; $l_{пр}$ – приведенная длина стержня ($l_{пр} = \nu l$, здесь ν – коэффициент приведения, зависящий от схемы нагружения и закрепления стержня, (табл. 1.20).

Критическое напряжение

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{F} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где $\lambda = \frac{l_{пр}}{i}$ – гибкость стержня (i – минимальный радиус поперечного сечения стержня, см. табл. 1.21).

Таблица 1.20

Схемы нагружения и закрепления стержней

Схема	$P_{кр}$	$l_{пр}$	J	Схема	$P_{кр}$	$l_{пр}$	J
	$\frac{\pi^2 EJ}{l^2}$	l	$\frac{Pl^2}{\pi^2 E}$		$\frac{4\pi^2 EJ}{l^2}$	$0,5l$	$\frac{Pl^2}{2\pi^2 E}$
	$\frac{\pi^2 EJ}{4l^2}$	$2l$	$\frac{4Pl^2}{\pi^2 E}$		$\frac{2\pi^2 EJ}{l^2}$	$0,7l$	$\frac{Pl^2}{2\pi^2 E}$
	$\frac{\pi^2 EJ}{l^2}$	l	$\frac{Pl^2}{\pi^2 E}$		$\frac{4\pi^2 EJ}{l^2}$	$0,5l$	$\frac{Pl^2}{4\pi^2 E}$

Примечание. Обозначения: $P_{кр}$ – критическая сила; $l_{пр}$ – приведенная длина стержня; J – минимальный допустимый осевой момент инерции поперечного сечения стержня при силе P .

Таблица 1.21

Осевые моменты, моменты сопротивления и минимальный радиус инерции профилей

Эскиз	Осевой момент инерции, см ⁴	Момент сопротивления, см ³	Минимальный радиус инерции поперечного сечения, см
	$J_x = \frac{bh^3}{12}; J_y = \frac{b^3h}{12}$	$Z_x = \frac{bh^2}{6}; Z_y = \frac{b^2h}{6}$	$i_x = \frac{h}{\sqrt{12}}; i_y = \frac{b}{\sqrt{12}}$
	$J_x = J_y = \frac{h^4}{12}$	$Z_x = Z_y = \frac{h^3}{6}$	$i_x = i_y = \frac{h}{12}$
	$J_x = J_y = \frac{h^4}{12}$	$Z_x = Z_y = \frac{h^3\sqrt{2}}{12}$	$i_x = i_y = \frac{h}{\sqrt{12}}$
	$J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64}$	$Z_x = Z_y = \frac{\pi d^3}{32}$	$i_x = i_y = \frac{d}{4} = \frac{r}{2}$
	$J_x = J_y = \frac{\pi}{64}(d^4 - d_1^4);$ $J_x = J_y = \frac{\pi}{4}(r^4 - r_1^4)$	$Z_x = Z_y = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{32d};$ $Z_x = Z_y = \frac{\pi(r^4 - r_1^4)}{4r}$	$i_x = i_y = \frac{\sqrt{d^2 - d_1^2}}{4}$

6	$J_x = J_y = 0,5431r^4$	$Z_x = 0,6250r^3$ $Z_y = 0,5413r^3$;	$i_x = i_y = 0,4565r$
7	$J_x = \frac{1}{3}[d(H-l)^3 + Bl^3 - (l-d)^3]$; $J_y = \frac{1}{3}[d(B-l_2)^3 + Hl_2^3 - h(l_2-d)^3]$; $J_s = \frac{J_y \cos^2 \alpha - J_x \sin^2 \alpha}{\cos 2\alpha}$; $J_z = \frac{J_x \cos^2 \alpha - J_y \sin^2 \alpha}{\cos 2\alpha}$;	$Z_x = \frac{J_x}{l_1}$; $Z_y = \frac{J_y}{l_2}$; $Z_s = \frac{J_s}{p}$; $Z_z = \frac{J_z}{s}$;	$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}$; $i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$; $i_s = \sqrt{\frac{J_s}{F}}$; $i_z = \sqrt{\frac{J_z}{F}}$; $F = d(b+H)$
8	$J_x = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3)$; $J_y = \frac{1}{12}(dB^3 - hs^3)$;	$Z_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$; $Z_y = \frac{dB^3 - hs^3}{6B}$;	$i_x = \sqrt{\frac{BH^3 - bh^3}{12(BH - bh)}}$; $i_y = \sqrt{\frac{dB^3 + hs^3}{12(BH - bh)}}$;
9	$J_x = \frac{1}{12}(BH^3 - bh^3)$; $J_y = \frac{1}{12}(Hs^3 - db^3) + Hs(l_1 - \frac{s}{2})^2 + bd(l_2 - \frac{b}{2})^2$; $J_y = \frac{1}{3}[Hl_1^3 - h(l_1 - s)^3 + dl_2^3]$	$Z_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$; $Z_{y1} = \frac{J_y}{l_1}$; $Z_{y2} = \frac{J_y}{l_2}$;	$i_x = \sqrt{\frac{BH^3 - bh^3}{12(BH - bh)}}$; $i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$; $F = BH - bh$

Глава 2 МАШИНЫ И ИХ УСТРОЙСТВО

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В своей деятельности человек создавал технические устройства, облегчающие труд и повышающие его физические возможности. Для приведения в действие этих устройств человек применял силу своих мускулов или преобразовывал и использовал силы природы (воду, ветер).

Так появились машины, которые состоят из *привода*, преобразующего различные виды энергии в энергию движения, *исполнительных механизмов* – рабочих органов, выполняющих полезную работу, и *механических передач*, которые преобразовывают и передают энергию движения от привода машины к рабочим органам для выполнения полезной работы.

Приводом называют совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение рабочих органов. По виду источника энергии различают электрический, пневматический, гидравлический и другие приводы.

Рабочее движение машины с электрическим приводом выполняется посредством электричества; с пневматическим приводом – сжатым воздухом, а с гидравлическим приводом – жидкостью под давлением.

Энергия движения в производственной машине передается, как правило, от электродвигателя к рабочим органам через взаимодействующие различные детали, которые преобразовывают вращательное движение электродвигателя в движение рабочих органов по определенной закономерности (вращательное другой частоты, поступательное, качательное, прерывистое и др.). Некоторые из деталей являются неподвижными и обеспечивают взаимодействующим подвижным деталям преобразовывать и изменять механическую энергию и направление ее передачи внутри машины в движения рабочих органов. В некоторых случаях взаимодействующие детали для удобства их применения и в соответствии с их назначением конструктивно объединяются в сборочные единицы (узлы), представляющие собой отдельные устройства – механизмы.

Механизмы предназначены для передачи энергии с преобразованием механическими передачами скоростей и законов движения и с соответствующим изменением сил и моментов.

Например, в передней бабке токарного станка (рис.2.1, а) размещены шестискоростная коробка скоростей и шпиндель 13, которые приводят во вращение обрабатываемую деталь, закрепляемую в кулачковом патроне шпинделя 13. При выбранной глубине резания и подаче они обеспечивают, при участии различных механических передач, обработку детали на станке.

Вращение от электродвигателя 1 через ременную передачу 2 и муфту включения 3 передается на вал 5.

Блок из трех шестерен 7, 8 и 9, расположенный на валу 5, с помощью реечной передачи связан с рукояткой 17. Этой рукояткой блок шестерен вводится в зацепление с зубчатым колесом 4 (или 10, или 11), жестко закрепленным на валу 6. Колеса 4 и 12 сопряжены соответственно с колесами 15 и 16, которые передают крутящий момент шпинделю через зубчатую муфту 14, соединенную с рукояткой 18. Если муфта передвинута вправо, то шпиндель получает вращение через зубчатое колесо 16, а если влево – через зубчатое колесо 15. Таким образом, коробка скоростей обеспечивает шесть ступеней частоты вращения шпинделя.

Связь шпинделя и суппорта станка для обеспечения оптимального режима резания осуществляется с помощью механизма подач, состоящего из реверсирующего устройства (трэнзеля) и гитары, которые осуществляют изменение направления и скорости перемещения суппорта.

Привод этого механизма осуществляется от коробки скоростей через трэнзель (рис. 2.1, б), который состоит из четырех зубчатых колес а, б, в, г, связанных с рукояткой 19 (рис. 2.1, а), переключением которой осуществляется реверс (т. е. изменение направления вращения) вала 20 (приводного вала суппорта).

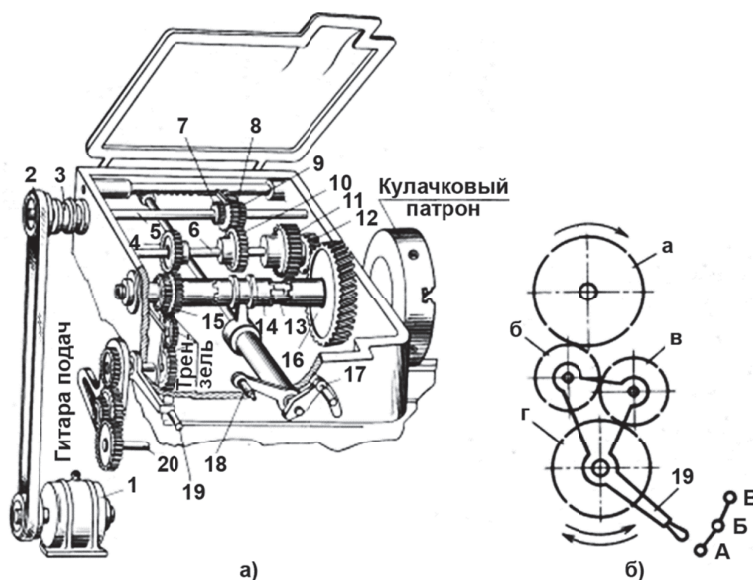


Рис. 2.1. Механизмы:

а – коробка скоростей токарного станка, б – трэнзель

При крайнем нижнем положении рукоятки 19 (положение А) зубчатые колеса a , b , $в$, $г$ соединены последовательно и направление вращения вала 20 совпадает с направлением вращения шпинделя. При верхнем положении рукоятки 19 (положение В) соединены только зубчатые колеса a , $в$, $г$ и направление вращения вала 20 изменяется на противоположное. В среднем положении рукоятки 19 (положение Б) зубчатые колеса b и $в$ не соединяются с зубчатым колесом a и вал 20 не вращается.

С помощью гитары устанавливают (настраивают) сменные зубчатые колеса с определенным передаточным отношением, которым задают частоту вращения вала 20 для обеспечения необходимого перемещения суппорта на один оборот шпинделя.

2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Широкое применение механических передач в машинах определяется необходимостью:

- 1) при оптимальной частоте вращения электродвигателя получать частоту вращения, требуемую для вращения или перемещения рабочего органа машины;
- 2) большинство технологических и транспортных машин требует регулирования частоты вращения; между тем регулирование частоты вращения электродвигателем оказывается не всегда возможным и экономичным;
- 3) электродвигатели изготовляются для равномерного вращательного движения, а в машинах часто оказывается необходимым поступательное, винтовое и другие виды движения, движение с заданным законом изменения скоростей и т. д.;
- 4) электродвигатели из условия габаритов, техники безопасности и т. д. не всегда могут быть непосредственно соединены с рабочими органами машины.

Механические передачи в машинах применяются для передачи и преобразования вращательного движения, а также для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот.

Механические передачи бывают двух типов:

передачи с зацеплением, работающие с использованием прочностных характеристик зубьев, выступов и витков, по которым осуществляется контакт деталей, передающих и воспринимающих нагрузку. К ним относятся передачи зубчатого зацепления, цепные, винтовые, кулисные, кулачковые и др.;

передачи фрикционные, работающие с использованием сил трения, возникающих в результате коэффициента трения и силы взаимного давления трущихся поверхностей деталей для передачи полезной нагрузки. К ним относятся шаровые, дисковые и ременные вариаторы, ременные передачи гибкой связи и др.

Зубчатые передачи (рис. 2.2), работающие зацеплением зубьев, используют для изменения частоты и направления вращения при передаче движения от ведущего к ведомому валу, которые могут быть расположены параллельно друг к другу или под углом.

Передаточное отношение зубчатых колес, находящихся в зацеплении, определяет по формуле $u = n_1 / n_2 = z_2 / z_1$, где n_2 и n_1 — соответственно частота вращения ведомого и ведущего зубчатых колес, а z_2 и z_1 — соответственно числа их зубьев.

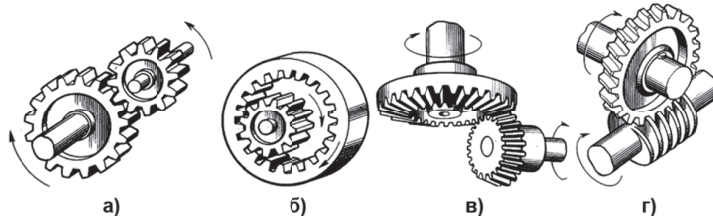


Рис. 2.2. Зубчатые передачи (а – г) для вращательных движений

Зубчатые колеса, зубья которых располагаются параллельно оси вращения, называются прямозубыми цилиндрическими и косозубыми, если зубья не параллельны оси вращения. Они могут быть наружного (рис. 2.2, а) и внутреннего (рис. 2.2, б) зацепления. Для передачи вращения валами, расположенными под углом, служат конические передачи (рис. 2.2, в), которые могут быть выполнены с прямыми и криволинейными зубьями. Для передачи вращения перекрещивающимся валам, служат червячные передачи (рис. 2.2, г).

Реечные передачи используют для преобразования вращательного движения в поступательное (рис. 2.3, а). Реечная передача может быть выполнена с прямозубым или косозубым зацеплением цилиндрического колеса с рейкой.

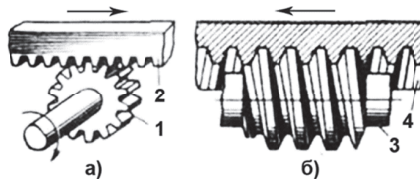


Рис. 2.3. Зубчатые передачи для преобразования вращательного движения в поступательное:
а – реечная с цилиндрическим зубчатым колесом 1, б – реечная с червяком 3

Перемещение рейки 2 определяют по формуле $S = 2\pi m z n$, где m – модуль, z – число зубьев колеса 1, n – частота вращения зубчатого колеса. Для реечной передачи с червяком 3 (рис. 2.3, б) перемещение рейки 4 определяют по формуле $S = \pi m z n$, где z – число заходов червяка.

Винтовые передачи используют также для преобразования вращательного движения в поступательное, она состоит из винта 1 и гайки 2 (рис. 2.4, а) и является парой скольжения. При одном обороте винта или гайки сопрягаемый элемент перемещается на шаг резьбы.

В винтовой передаче ведущим звеном может служить как винт, так и гайка. Наиболее распространенной является передача от винта к гайке. В этом случае ведущим звеном является винт, который только вращается, преобразуя вращательное движение в поступательное движение гайки.

Гайки винтовой передачи в станках имеют две основные конструкции – неразъемные и разъемные.

В винтовой паре скольжения затрачиваются значительные усилия на преодоление сил трения, которые приводят к износу витков сопрягаемых элементов и увеличению зазоров.

Для обеспечения точности и стабильности поступательного перемещения рабочих органов применяют передачу винт – гайка качения, у которой винт и гайка сопрягаются посредством шариков и обеспечивают высокую осевую жесткость и равномерность движения.

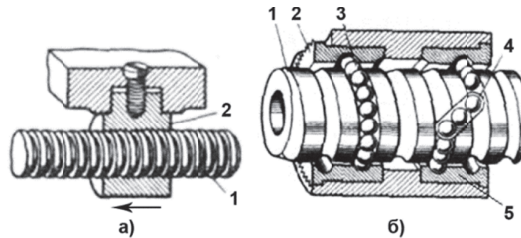


Рис. 2.4. Винтовая передача:

а – скольжения; б – качения

В передаче винт – гайка качения (рис. 2.4, б), между рабочими винтовыми поверхностями винта 1 гайки 2 и гайки 5 помещены стальные шарики 3. При вращении винта шарики перекатываются по винтовой поверхности винта и гайки и передают поступательное перемещение закрепленным в корпусе гайкам 2 и 5.

При движении скорость перемещения шариков отличается от скорости ведущего и ведомого звеньев, поэтому необходимо обеспечить постоянную циркуляцию шариков. Для этого концы рабочей части резьбы гайки соединены возвратным каналом, помещенным во вкладыше 4.

При движении шарики перекатываются через выступ резьбы винта и снова входят в рабочую зону, циркулируя в пределах соединенных витков гайки. Выборку зазора в передаче осуществляют поворотом гайки 2 относительно гайки 5. Эти гайки создают натяг, обеспечивающий большую осевую жесткость.

Цепные передачи работают зацеплением и служат для изменения частоты вращения при передаче вращения от ведущего вала к ведомому, расположенных на значительном расстоянии друг от друга.

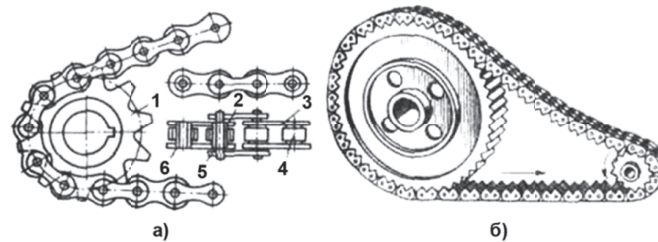


Рис. 2.5. Цепная передача

а – с втулочно-роликовой цепью; б – с зубчатой цепью

Цепная передача (рис. 2.5, а) состоит из звездочек 1, насаженных на ведущий и ведомый валы и соединенных втулочно-роликовой цепью.

Цепь состоит из наружных 2 и внутренних 3 звеньев, соединенных втулкой 6 с роликом 4 на оси поворота 5. Звездочки могут быть соединены также зубчатой цепью (рис. 2.5 б), которая по своей работоспособности превосходит втулочно-роликовые и работает при больших окружных скоростях и при меньшем шуме.

Передаточное отношение цепной передачи определяют по формуле $u = n_1 / n_2 = z_2 / z_1$, где n_2 и n_1 , z_2 и z_1 – соответственно частота вращения и число зубьев ведомой и ведущей звездочек.

Ременные передачи относят к передачам фрикционным. В машинах их применяют в основном для изменения частоты вращения при передаче движения от электродвигателя к коробке скоростей.

Ременная передача состоит из ведущего А и ведомого В шкивов и соединяющего их бесконечного ремня (рис. 2.6, а), который может быть плоским (рис. 2.6, б), состоять из набора клиновых ремней (рис. 2.6, в), поликлиновым (2.6, г) и зубчатым (2.6, д).

Оба шкива ременной передачи вращаются в одну сторону. Частота вращения ведомого шкива может быть больше или меньше частоты вращения ведущего в зависимости от соотношения диаметров шкивов.

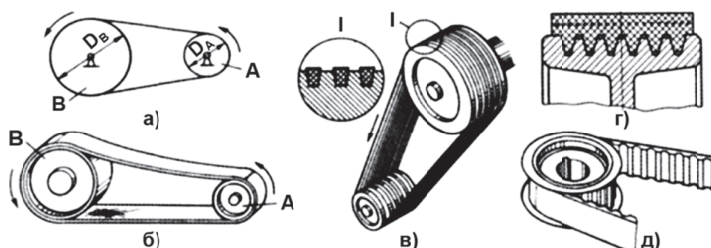


Рис. 2.6. Ременные передачи (а – д)

Отношение частоты n_A вращения ведущего шкива к частоте n_B вращения ведомого шкива называют передаточным отношением u ременной передачи, которое обратно пропорционально отношению диаметров шкивов: $u = n_A/n_B = D_B/D_A$.

Вариаторы – фрикционные механизмы, в которых для передачи движения от ведущего к ведомому валу применяют специальные ремни, цепи и кольца для бесступенчатого изменения частоты вращения выходного вала.

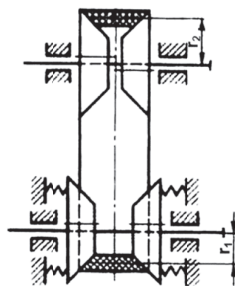


Рис. 2.7. Фрикционный вариатор

Осевое сближение одной пары конусных шкивов вызывает осевое удаление другой пары шкивов. Этим соответственно изменяются радиусы контактов r_1 и r_2 ремня со шкивами, чем определяется изменение передаточного отношения $u = r_1/r_2$.

Пределы изменения частоты вращения выходного вала характеризуются диапазоном регулирования $D = u_{\max}/u_{\min}$. Для вариаторов с клиновидными ремнями $D = 8 \div 15$.

Механизмы для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное (поршневые насосы и компрессоры, кривошипные прессы, пневматические молоты, механизмы подачи станков и др.) и **наоборот** (двигатели внутреннего сгорания, паровые машины и др.).

Эксцентрик (рис. 2.8, а) служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. Его применяют в станках, штамповочных прессах, в золотниковом и клапанном распределителях машин-двигателей.

Эксцентрик представляет собой разновидность кривошипно-шатунного механизма с небольшим радиусом кривошипа.

Разъемный эксцентрик (рис. 2.8, а) имеет круглый диск (эксцентрик) 2, сидящий на шпонке 8 и на валу 3. Оси вала и диска не должны совпадать. Расстояние между осями (эксцентриситет) является радиусом кривошипа. Диск охватывается разъемным хомутом 1, скрепляемым болтами 4. С хомутом соединяется шатун 7 (и тяга 6), вилка которого через палец 5 шарнирно соединяется с ползуном, получающим возвратно-поступательное движение (например, с ползуном прессы или с золотником распределения).

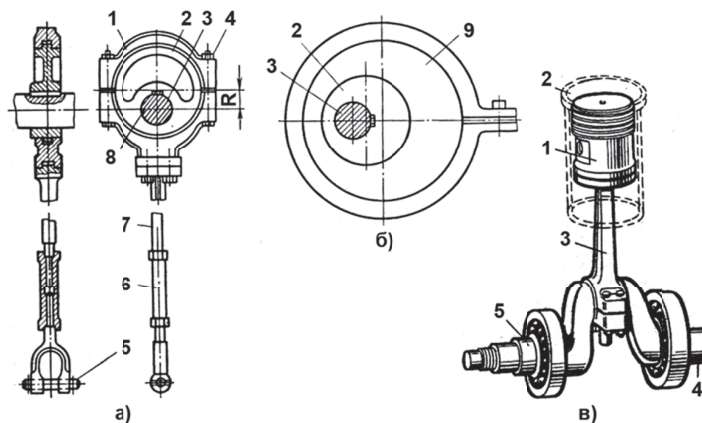


Рис. 2.8. Кривошипно-шатунный механизм (а) и (б) – эксцентриковые механизмы:

а – с разъемным хомутом; б – с механизмом для регулировки эксцентриситета; в – кривошипно-шатунный механизм

Эксцентрик может быть с двумя эксцентриками для регулировки эксцентриситета. Внутренний эксцентрик 2 сидит на валу 3 и охватывается внешним эксцентриком 9, который можно поворачивать и закреплять в различных положениях, что приводит к изменению эксцентриситета, а следовательно, и изменению длины хода ползуна.

Применяется эксцентрик в золотниковых парораспределителях и регуляторах нефтяных двигателей. Эксцентрики изготавливаются из чугуна или из углеродистой стали. Внутреннюю поверхность хомута заливают баббитом.

Кривошипно-шатунный механизм (рис. 2.8, в) состоит из кривошипного диска или коленчатого вала, с которым соединен шатун 3 с поршнем 1. На поршень надеты поршневые кольца. Поршень перемещается в гильзе 2 цилиндра. Коленчатый вал коренными шейками 4 и 5 располагается в подшипниках. При вращении вала поршень получает возвратно-поступательное движение. Вместо поршня может быть ползун, перемещающийся в прямолинейных направляющих.

Передача храповым зацеплением служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. Эта передача позволяет в широком диапазоне изменять частоту вращения или перемещения рабочего органа машины, связанного с храповым механизмом (рис. 2.9). Конструкции и область применения храповых механизмов разнообразны.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. СИСТЕМА ЕДИНИЦ И МЕР ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ	4
1.1. АЛФАВИТЫ И ЦИФРЫ.....	4
1.2. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	4
1.3. СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	7
1.4. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ	10
1.5. РАСЧЕТ ПРЯМЫХ СТЕРЖНЕЙ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ	13
Глава 2. МАШИНЫ И ИХ УСТРОЙСТВО.....	15
2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	15
2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	16
2.3. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА	20
2.4. ОСНОВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ СВЯЗИ В МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ	21
2.5. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТИПЫ	24
2.6. УСТАНОВКА МАШИНЫ НА ФУНДАМЕНТЕ.....	24
Глава 3. ПРИВОДЫ МАШИН.....	25
3.1. ПРИВОД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ	25
3.2. ПРИВОД ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ.....	30
3.3. ПРИВОД ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ	36
3.4. ПРИВОД С СИСТЕМОЙ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (СЧПУ)	38
Глава 4. ТРЕНИЕ И СМАЗКА В МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ	41
4.1. ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ	41
4.2. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ	45
4.3. ПОДАЧА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	54
Глава 5. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	65
5.1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОНЯТИЯ	65
5.2. ТЕОРИЯ СПЛАВОВ. ОСНОВЫ.....	73
5.3. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ.....	74
5.4. ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ	77
5.5. ЧУГУНЫ. ОСНОВНЫЕ МАРКИ, СВОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	86
5.6. СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ. ОСНОВНЫЕ МАРКИ, СВОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.....	90
5.7. СТАЛИ И СПЛАВЫ ЛЕГИРОВАННЫЕ (ГОСТ 4543–71).....	93
5.8. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. МАРКИ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ	109
5.9. АНТИФРИКЦИОННЫЕ (ПОДШИПНИКОВЫЕ) И ФРИКЦИОННЫЕ (ТОРМОЗНЫЕ) МАТЕРИАЛЫ	122
5.10. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. МЕТАЛЛОКЕРАМИКА	127
5.11. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	129
5.12. КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	134
5.13. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ	135

Глава 6. НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	141
6.1. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ЗАКЛЕПКАХ.....	141
6.2. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ.....	146
6.3. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ.....	156
6.4. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛЕЕВЫЕ.....	159
6.5. СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПАЙКОЙ. ПРИПОИ И ФЛЮСЫ.....	161
Глава 7. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	165
7.1. РЕЗЬБЫ И РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	165
7.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ (СБЕГИ, НЕДОРЕЗЫ, ПРОТОЧКИ И ФАСКИ).....	176
7.3. СТАНДАРТНЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ.....	181
7.4. СОЕДИНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	198
7.5. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	205
7.6. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА РЕЗЬБОВЫЕ КРЕПЕЖНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБОЙ.....	212
7.7. ШТИФТЫ И ШТИФТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	221
7.8. ШПЛИНТЫ.....	225
7.9. ВИНТЫ ГРУЗОВЫЕ.....	226
7.10. БОЛТЫ ФУНДАМЕНТНЫЕ.....	226
7.11. КЛИНОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	229
7.12. ШЛИЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	231
7.13. ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	235
7.14. ШЛИЦЕВЫЕ ТРЕУГОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	245
7.15. СОЕДИНЕНИЯ С КВАДРАТНЫМ ВАЛОМ.....	248
Глава 8. ТРУБОПРОВОДЫ.....	250
8.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ.....	250
8.2. РАСЧЕТ ОБЪЕМА РАСХОДА ЖИДКОСТИ ИЛИ СЖАТОГО ВОЗДУХА.....	251
8.3. ТРУБОПРОВОДЫ. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....	253
8.4. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА.....	256
8.5. СВАРНЫЕ И ПАЯНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	259
8.6. ГИБКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (РУКАВА ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ).....	260
8.7. МОНТАЖ ТРУБОПРОВОДОВ.....	261
Глава 9. МУФТЫ, ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ТОРМОЗА.....	263
9.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МУФТ.....	263
9.2. МУФТЫ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЖЕСТКИЕ.....	264
9.3. МУФТЫ КОМПЕНСИРУЮЩИЕ САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ.....	266
9.4. МУФТЫ УПРУГИЕ.....	273
9.5. МУФТЫ СЦЕПНЫЕ.....	281
9.6. МУФТЫ ФРИКЦИОННЫЕ (АСИНХРОННЫЕ).....	283
9.7. МУФТЫ САМОДЕЙСТВУЮЩИЕ.....	289
9.8. МУФТЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ.....	295
9.9. ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ.....	299
9.10. ТОРМОЗА.....	303
Глава 10. ПРУЖИНЫ.....	317
10.1. НАЗНАЧЕНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И СВОЙСТВА ПРУЖИН.....	317
10.2. ПРУЖИНЫ ВИНТОВЫЕ СЖАТИЯ И РАСТЯЖЕНИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....	318
10.3. ПРУЖИНЫ ВИНТОВЫЕ КРУЧЕНИЯ С ВИТКАМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....	326
10.4. ПРУЖИНЫ ТАРЕЛЬЧАТЫЕ.....	330
10.5. ПРУЖИНЫ ПЛОСКИЕ ЛЕНТОЧНЫЕ И РЕССОРЫ.....	332
10.6. ПРУЖИНЫ ПЛОСКИЕ СПИРАЛЬНЫЕ ЛЕНТОЧНЫЕ.....	334

10.7. КОЛЬЦА ПРУЖИННО-ЗАТЯЖНЫЕ	338
10.8. ПРУЖИНЫ ПРОРЕЗНЫЕ	343
Глава 11. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ И ПЕРЕДАЧИ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ	345
11.1. ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННЫЕ	345
11.2. ВАРИАТОРЫ ФРИКЦИОННЫЕ	348
11.3. ПЕРЕДАЧИ РЕМЕННЫЕ	354
11.4. ПЕРЕДАЧИ ЦЕПНЫЕ	378
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	391