

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Основы проектирования машин»

ДЕТАЛИ МАШИН

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальностей
6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие
станки и инструменты»
и 6-05-0722-05 «Производство изделий на основе трехмерных
технологий»
дневной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 621.81
ББК 34.44
Д38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Основы проектирования машин» «31» августа 2026 г.,
протокол № 1

Составитель д-р техн. наук, проф. М. Е. Лустенков

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены
для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты» и 6-05-0722-05 «Производство
изделий на основе трехмерных технологий» дневной формы обучения.

Учебное издание

ДЕТАЛИ МАШИН

Ответственный за выпуск	А. П. Прудников
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

Введение.....	4
1 Энерго-кинематический расчет привода.....	5
2 Проектирование сварных соединений. Проектирование соединений с натягом.....	7
3 Проектирование резьбовых соединений. Проектирование шпоночных и шлицевых (зубчатых) соединений.....	8
4 Проектирование цилиндрических зубчатых передач.	
Проектирование и расчет конических зубчатых передач.....	10
5 Проектирование червячных передач.....	12
6 Проектирование и расчет зубчатых планетарных передач.....	13
7 Проектирование ременных, зубчато-ременных передач.	
Проектирование и расчет цепных передач.....	14
8 Проектирование винтовых механизмов. Проектирование и расчет валов. Подбор подшипников качения.....	16
9 Индивидуальные задания.....	18
Список литературы.....	20

Введение

Курс «Детали машин» основан на знаниях, полученных при изучении теоретической механики, теории механизмов и машин, сопротивления материалов и др. Он завершает общеинженерную подготовку студентов, обучающихся по техническим специальностям. Это определяет значимость дисциплины «Детали машин», которая является базой для дальнейшего изучения специальных дисциплин. Особая роль при этом отводится практическим занятиям. Наличие навыков практических расчетов и проектирования деталей и узлов оборудования позволяет решать конкретные производственные задачи, сопоставлять различные варианты конструкций и выбирать оптимальные. Применение полученных теоретических сведений на практике повышает качество усвоения лекционного материала.

Проведению практического занятия, как правило, предшествует лекционное занятие по соответствующей тематике. Перед началом практического занятия студент ознакомляется с краткими теоретическими сведениями, представленными в источниках, взятых за основу при подготовке материала [1–3]. На базе этих сведений и лекционного материала студенты отвечают на контрольные вопросы. Далее совместно с преподавателем разбирается задача, решение которой приведено в [1]. Задачи из методических рекомендаций студенты решают самостоятельно в аудитории либо в виде домашнего задания, используя указания к решению.

Также студенты самостоятельно выполняют три индивидуальных задания. Каждое задание оформляется в виде отчета на листах бумаги формата А4 с титульным листом, пример оформления которого представлен в [1, приложение А]. Отчет содержит исходные данные к расчету (в том числе схему), ход последовательных расчетов и необходимые пояснения к ним.

Методические рекомендации можно использовать для самостоятельного изучения дисциплины «Детали машин» и подготовки к выполнению индивидуальных заданий. Для более детального усвоения курса студенты обращаются к [1–3].

1 Энерго-кинематический расчет привода

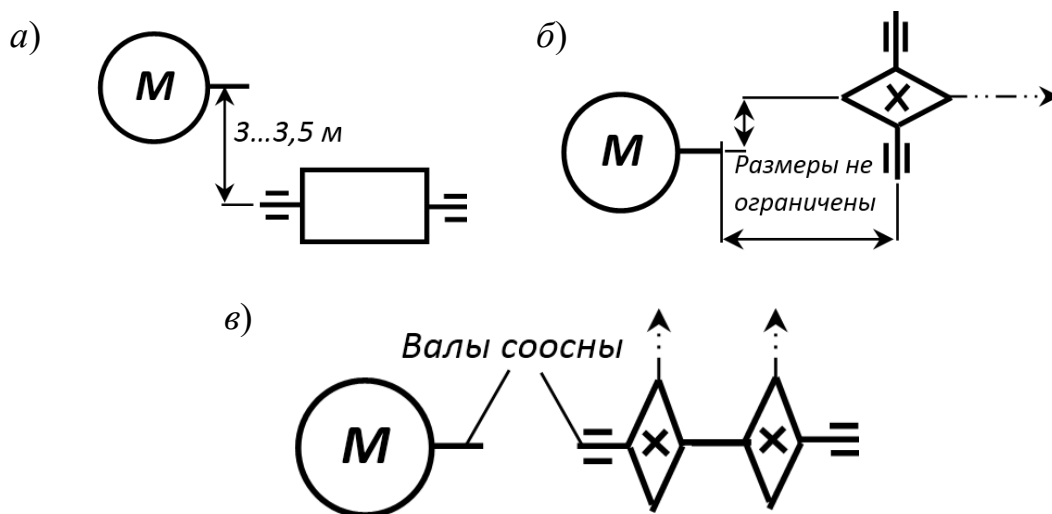
Контрольные вопросы

- 1 Для чего предназначен механический привод?
- 2 Какие элементы включает привод?
- 3 Для чего предназначены муфты?
- 4 Как определяется передаточное отношение привода, включающего несколько механических передач?
- 5 Как предварительно вычисляется общий КПД привода?
- 6 Как изменяются значения угловых скоростей, частот вращения, моментов и мощностей от вала двигателя к приводному валу?

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Провести энерго-кинематический расчет привода, индивидуальная схема которого выдана на курсовое проектирование [1, приложение А].

Задача 2. Провести энерго-кинематический расчет привода грузоподъемного механизма с разработкой его схемы при условиях компоновки, показанных на рисунке 1, а. Заданными являются: диаметр барабана $D = 500$ мм, вращающий момент на барабане $T = 650$ Н·м, частота вращения барабана $n = 160$ мин⁻¹.



а – для задачи 1; б – для задачи 2; в – для задачи 3

Рисунок 1 – Компоновки приводов

Задача 3. Провести энерго-кинематический расчет привода скребкового конвейера с разработкой его схемы при условиях компоновки, показанных на рисунке 1, б. Заданными являются: число зубьев звездочки $z_{зв} = 8$, шаг цепи $p_{ц} = 100$ мм, вращающий момент на звездочке $T = 490$ Н·м, частота вращения приводной звездочки $n = 10$ мин⁻¹. Учесть, что оси вала двигателя и приводного вала лежат в одной плоскости.

Задача 4. Провести энерго-кинематический расчет привода цепного конвейера с разработкой его схемы при условиях компоновки, показанных на рисунке 1, в. Заданными являются: число зубьев звездочки $z_{зв} = 10$, шаг цепи $p_ц = 80$ мм, тяговое (окружное) усилие на одной звездочке $F = 1300$ Н, частота вращения приводной звездочки $n = 30$ мин⁻¹.

Задача 5. Провести энерго-кинематический расчет привода ленточного конвейера. Разработать кинематическую схему привода по его общему виду, показанному на рисунке 2. Заданными являются: диаметр барабана конвейера $D = 380$ мм, скорость движения ленты конвейера $v = 0,2$ м/с, вращающий момент на приводном валу $T = 1000$ Н·м.

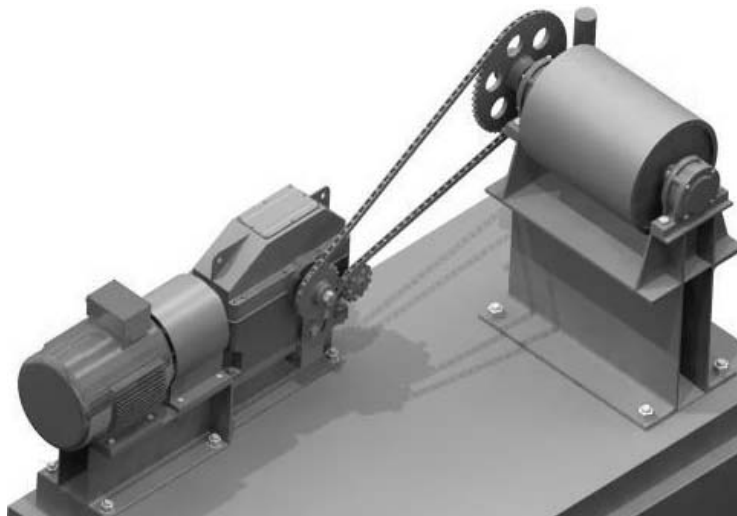


Рисунок 2 – Общий вид привода (к задаче 5)

Указания к решению задач

Начинать решать задачу нужно с разработки кинематической схемы привода. Первоначально рекомендуется оценить общее передаточное отношение привода, разделив минимальную частоту вращения вала двигателя [1, таблица 1.3 ($n_{\min} \approx 700$ мин⁻¹)] на частоту вращения приводного вала. Затем необходимо подобрать передачи, обеспечивающие заданную компоновку [1, таблица 1.5] и рассчитанное передаточное отношение [1, таблица 1.2]. Перед разработкой схемы привода следует ознакомиться с типовыми схемами, приведенными в [1, приложение А]. Студентам, не владеющим на данном этапе полнотой сведений о передачах, рекомендуется проявить творческие способности при проектировании, обсудить предложенную схему с преподавателем перед дальнейшими расчетами. Концы валов двигателя и редуктора соединяют упруго компенсирующими муфтами (либо устанавливают ременную передачу), концы валов редуктора и приводного вала – жестко компенсирующими муфтами (либо устанавливают цепную передачу).

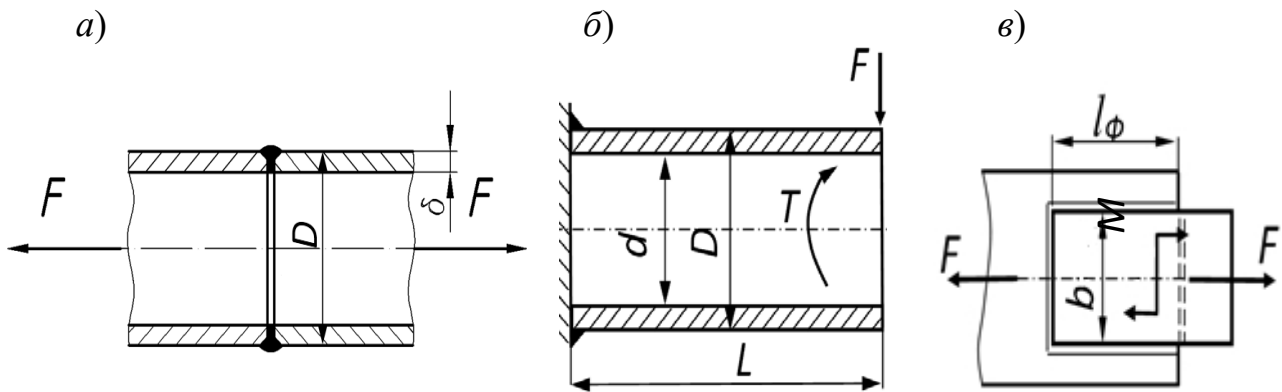
2 Проектирование сварных соединений. Проектирование соединений с натягом

Контрольные вопросы

- 1 В чем преимущества и недостатки сварных соединений?
- 2 Назовите виды сварки и сварных соединений.
- 3 Какие бывают виды сварных швов? Назовите геометрические параметры углового шва.
- 4 По каким напряжениям рассчитывают различные виды сварных швов?
- 5 Назовите виды контактной сварки.
- 6 Что называют натягом?
- 7 Каковы преимущества и недостатки прессовых соединений?
- 8 Назовите способы сборки прессовых соединений.
- 9 Назовите способы повышения сопротивления усталости соединений с натягом.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Рассчитать сварное соединение металлического кронштейна, представляющего собой стыковое соединение двух труб (рисунок 3, а) с наружным диаметром $D = 114$ мм и находящегося под действием осевой растягивающей нагрузки $F = 200$ кН. Материал труб – сталь Ст3. Найти толщину стенки трубы и проверить ее на прочность. Сварка ручная дуговая электродом Э42.



а – к задаче 1; б – к задачам 2 и 3; в – к задаче 4

Рисунок 3 – Расчетные схемы к задачам

Задача 2. Труба с наружным диаметром $D = 150$ мм приварена к вертикальной пластине (рисунок 3, б). Длина трубы $L = 300$ мм. Труба нагружена вертикально приложенной силой $F = 5$ кН и крутящим моментом $T = 1000$ Н·м. Определить величину катета углового шва, которым необходимо приварить трубу. Сварка газовая, материал соединяемых деталей – сталь 45.

Задача 3. Определить максимально допустимое значение внутреннего диаметра трубы d (см. рисунок 3, б), приваренной стыковым швом к вертикальной пластине. Наружный диаметр трубы $D = 140$ мм. Труба нагружена растягивающей осевой силой $F_a = 4200$ Н (на рисунке 3, б не показана). Значения крутящего момента T и изгибающей силы F принять равными нулю. Сварка ручная дуговая электродом Э50, материал соединяемых деталей – сталь 35.

Задача 4. Рассчитать сварное соединение двух деталей (рисунок 3, в) из листовой стали Ст3 толщиной 6 мм. Определить, обеспечена ли прочность соединения, если длина фланговых швов $l_\phi = 65$ мм. Ширина $b = 60$ мм, лобовой шов один. К соединению приложены сила $F = 2,2$ кН и момент $M = 1,8$ кН·м. Сварка ручная дуговая электродом Э42А.

Задача 5. Подобрать посадку, обеспечивающую соединение бронзового венца червячного колеса со ступицей. Колесо нагружено моментом $T = 620$ Н·м и осевой силой $F_a = 553,6$ Н. Диаметр соединения $d = 260$ мм, диаметр отверстия в ступице принимаем $d_1 = 64$ мм, модуль $m = 10$ мм, число зубьев $z = 32$, длина соединения равна ширине зубчатого венца $b_w = 70$ мм. Ступица изготовлена из стали 45 ($\sigma_{T1} = 320$ МПа), венец – из бронзы БрО10Ф1 ($\sigma_{T2} = 120$ МПа). Шероховатости поверхностей вала и отверстия $R_{z1} = R_{z2} = 6,3$ мкм (чистовое точение), сборка осуществляется прессованием. Средняя рабочая температура редуктора, где установлены соединяемые детали, составляет 70°C .

Указания к решению задач

При расчете сварных соединений первоначально нужно установить тип соединения и вид применяемых швов. Далее расчет ведут по одному из условий прочности, приведенных в подразд. 11.1 [1]. При расчете соединений с натягом используют алгоритм, приведенный в подразд. 12.1 [1].

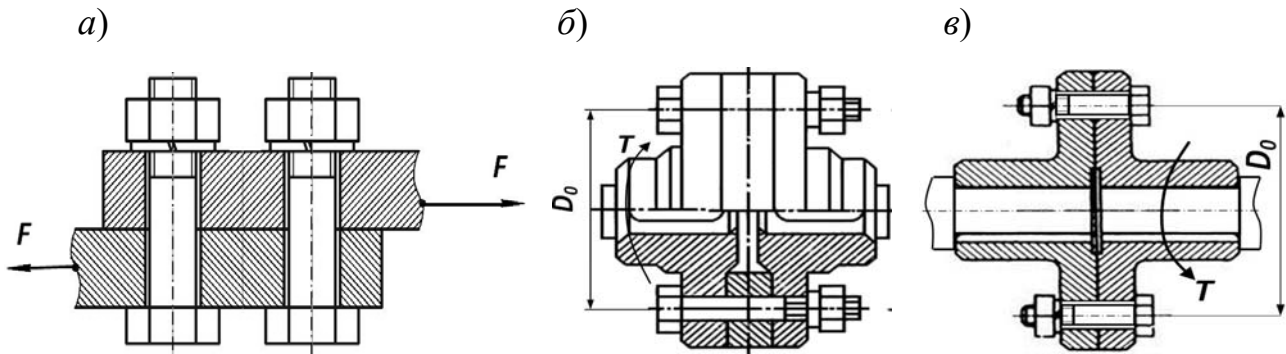
3 Проектирование резьбовых соединений. Проектирование шпоночных и шлицевых (зубчатых) соединений

Контрольные вопросы

- 1 Назовите виды резьб и резьбовых соединений.
- 2 Назовите основные геометрические параметры метрических резьб.
- 3 По каким напряжениям рассчитывают резьбу? Какие напряжения являются главными для крепежных и ходовых резьб?
- 4 Как рассчитывают болты, поставленные с зазором и без зазора, если внешняя сила сдвигает детали в стыке? Напишите условия прочности для обоих случаев.
- 5 Запишите формулу для определения КПД винтовой пары и сформулируйте условие самоторможения винтовой пары.
- 6 Для чего предназначены шпоночные и шлицевые соединения?
- 7 Назовите виды шпоночных соединений. Какие бывают виды шпонок?
- 8 Назовите виды шлицевых соединений и способы их центрирования.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Подобрать болты из стали 45, установленные с зазором в соединении, показанном на рисунке 4, а. Предположить, что нагрузка распределяется между двумя болтами равномерно. Сдвигающая сила $F = 800$ Н, коэффициент трения в стыке деталей $f = 0,2$. Определить КПД резьбы.



а – к задаче 1; б – к задаче 3; в – к задаче 4

Рисунок 4 – Расчетные схемы к задачам

Задача 2. Какую максимальную длину должен иметь нестандартный гаечный ключ или ключ, удлиненный трубой, чтобы при приложении к его концу усилия 100 Н болт с резьбой М24 из стали 45 не разрушился? Коэффициент трения в резьбе принять $f = 0,2$.

Задача 3. Рассчитать болты фланцевой муфты (рисунок 4, б), передающей мощность $P = 4$ кВт при частоте вращения $n = 250$ мин⁻¹. Число болтов – 6, диаметр окружности расположения осей болтов $D_0 = 220$ мм. Болты установлены без зазора. Материал болтов – сталь Ст5.

Задача 4. Рассчитать болты фланцевой муфты (рисунок 4, в), передающей вращающий момент $T = 60$ Н·м. Число болтов – 8, диаметр окружности расположения осей болтов $D_0 = 240$ мм. Материал болтов – сталь 45. Болты установлены с зазором. Коэффициент трения между торцами полумуфт $f = 0,2$.

Задача 5. Рассчитать минимальную длину призматической шпонки из улучшенной стали 45, крепящей прямозубое зубчатое колесо на валу диаметром 24 мм, если окружное усилие на колесе $F_t = 920$ Н, модуль $m = 2$ мм, число зубьев колеса $z = 30$. Шпонка установлена по переходной посадке.

Задача 6. Подобрать неподвижное шлицевое соединение с прямобочными шлицами для вала диаметром 46 мм для передачи мощности $P = 0,9$ кВт. Вал вращается с частотой $n = 220$ мин⁻¹. Определить напряжения смятия (использовать упрощенный расчет по обобщенному критерию). Материал вала – сталь 40Х, твердость поверхности – 46 HRC, длина шлицев равна 60 мм.

Указания по решению задач

При расчете резьбовых соединений необходимо определить, поставлены они с зазором или без него. Алгоритм расчета зависит от расчетной схемы и дейст-

вующих сил. Примеры расчета приведены в подразд. 13.1 [1]. Стандартные шпоночные и шлицевые соединения рассчитываются на смятие. Примеры расчета приведены в подразд. 14.1 [1].

4 Проектирование цилиндрических зубчатых передач. Проектирование и расчет конических зубчатых передач

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные параметры цилиндрических зубчатых передач.
- 2 Назовите основные способы изготовления цилиндрических зубчатых колес и степени точности их изготовления.
- 3 Что характеризует коэффициент торцового перекрытия? Как определяется коэффициент осевого перекрытия?
- 4 Назовите виды разрушения зубчатых передач и критерии их работоспособности. По каким напряжениям рассчитываются зубчатые передачи?
- 5 Чем отличается расчет закрытых и открытых зубчатых передач?
- 6 Какие силы действуют в зацеплении прямозубой зубчатой передачи? Косозубой передачи?
- 7 В чем преимущества и недостатки прямозубой и косозубой зубчатых передач?
- 8 Назовите область применения, преимущества и недостатки конических зубчатых передач.
- 9 Назовите типы конических колес.
- 10 Какие силы действуют в коническом зубчатом зацеплении?

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Две эвольвентные зубчатые передачи, предназначенные для передачи мощности (на ведущем валу) $P_1 = 1,9$ кВт, при угловой скорости вала $\omega_1 = 15,7$ с⁻¹ выполнены косозубыми, но с разными углами наклона зуба: одна – с $\beta = 9^\circ$, а другая – с $\beta = 18^\circ$. Найти величины осевых сил для каждой зубчатой передачи, если $m_n = 3,5$ мм, $z_1 = 30$, $z_2 = 60$. Определить напряжения изгиба в передаче с $\beta = 18^\circ$, если рабочая ширина колес $b_w = 62$ мм. Принять $K_{F\alpha} = 1,5$. Материалы и термообработка колес – как и в примере, рассмотренном в подразд. 2.2 [1].

Задача 2. Определить контактные напряжения в косозубой зубчатой передаче со следующими параметрами: $m_n = 2$ мм, $z_1 = 46$, $z_2 = 100$, $\beta = 8^\circ$, рабочая ширина колес $b_w = 50$ мм. Вращающий момент $T_2 = 500$ Н·м, частота вращения вала шестерни – 700 мин⁻¹. Материал колес – сталь 40Х с улучшением (260...280 НВ). Степень точности изготовления – 6-я.

Задача 3. Во сколько раз изменятся контактные напряжения в цилиндрической зубчатой передаче с внутренним зацеплением по сравнению с передачей

с внешним зацеплением? Все параметры сравниваемых передач одинаковы и соответствуют параметрам передач из задачи 2. Определить напряжения изгиба в передаче при $\beta = 10^\circ$.

Задача 4. Определить режим и рассчитать коэффициенты режима нагружения для передачи с заданным ресурсом $L = 4$ года, трехсменным режимом работы и коэффициентом годового использования $K_{год} = 0,7$. Задана циклограмма нагружения колеса, по которой определяют допускаемые напряжения (рисунок 5). Вращающие моменты T_i и соответствующие им частоты вращения вала n_i с зубчатым колесом: $T_0 = 690$ Н·м, $T_1 = 200$ Н·м, $T_2 = 100$ Н·м, $T_3 = 120$ Н·м, $n_0 = 4$ мин⁻¹, $n_1 = n_2 = n_3 = 300$ мин⁻¹. При этом $t_0 = 0,002 \cdot t_u$, $t_1 = 0,4 \cdot t_u$, $t_2 = 0,25 \cdot t_u$, $t_3 = 0,348 \cdot t_u$, где t_u – общее время цикла.

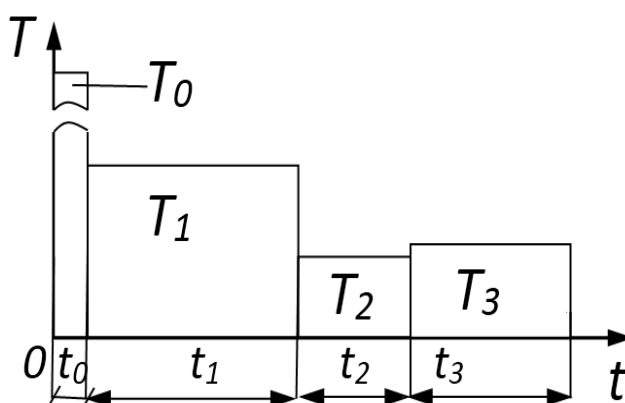


Рисунок 5 – Циклограмма нагружения колеса

Задача 5. Провести проектный расчет закрытой конической зубчатой передачи с круговым зубом, если частоты вращения на входном и выходном валах $n_1 = 1600$ мин⁻¹ и $n_2 = 800$ мин⁻¹ соответственно. Оси ведущего и ведомого валов пересекаются под углом 90° . Вращающий момент на ведущем валу $T_2 = 180$ Н·м. Допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H] = 500$ МПа. Степень точности изготовления колес – 8-я. Материал колес – сталь 45 с улучшением. Твердость поверхности у обоих колес ≤ 350 НВ.

Задача 6. Определить контактные напряжения, действующие в закрытой конической передаче с круговым зубом ($\beta_n = 32^\circ$). Заданными являются: частоты вращения ведущего и ведомого валов $n_1 = 130$ мин⁻¹ и $n_2 = 60$ мин⁻¹ соответственно, вращающий момент на ведущем валу $T_1 = 200$ Н·м, число зубьев колеса $z_2 = 80$, ширина колес $b_w = 54$ мм, нормальный средний модуль $m_{nm} = 2$ мм. Твердость колеса – 260 НВ, степень точности колес – 7-я.

Указания по решению задач

Алгоритмы расчета цилиндрических зубчатых и конических зубчатых передач приведены в подразд. 2.2 и 3.2 [1] соответственно. Основным расчетом закрытых передач является расчет на контактные напряжения. Из условий контактной прочности определяются требуемые параметры. Для открытых

передач основным условием прочности является условие прочности по напряжениям изгиба.

5 Проектирование червячных передач

Контрольные вопросы

- 1 Из каких элементов состоит червячная передача?
- 2 Назовите разновидности червячных передач.
- 3 В чем преимущества и недостатки червячных передач по сравнению с зубчатыми?
- 4 Как определяется передаточное отношение червячной передачи?
- 5 Какие материалы применяют для изготовления основных элементов червячной передачи?
- 6 Как определяются силы в червячной передаче?
- 7 По каким критериям работоспособности (по каким напряжениям) рассчитывают червячную передачу?
- 8 Какой расчет, кроме расчетов на контактные напряжения и напряжения изгиба, для червячных передач является обязательным?
- 9 Назовите области применения червячных передач.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Подобрать материалы и определить допускаемые контактные напряжения и допускаемые напряжения изгиба для деталей червячной передачи. Заданными являются: частота вращения ведущего вала (червяка) $n_1 = 200 \text{ мин}^{-1}$, передаточное отношение $i = 32$. На ведомый вал (вал червячного колеса) действует вращающий момент $T_2 = 560 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Режим нагружения – средний нормальный, двухсменный режим работы, срок службы – 6 лет, пятидневная рабочая неделя.

Задача 2. Провести проектный расчет червячной передачи (определить параметры d_1 , d_2 , a_w , m , q , x). Червяк изготовлен из стали 40Х, поверхность закалена до твердости 50 HRC и отшлифована. Материал зубьев колеса – бронза БрА9Ж4. Допускаемые контактные напряжения определены ранее и $[\sigma_H] = 200 \text{ МПа}$. На ведомый вал действует вращающий момент $T_2 = 496 \text{ Н}\cdot\text{м}$, передаточное отношение $i = 34$. Частота вращения червяка – 800 мин^{-1} . По результатам расчета окружной скорости сделать вывод о правильности назначения материалов деталей передачи. Перерасчет параметров передачи при этом не проводить.

Задача 3. Проверить червячную передачу (с передаточным отношением $i = 19,5$) на прочность по контактным напряжениям. Материал вала – сталь 40Х, поверхность закалена до 48 HRC. Материал зубьев колеса – бронза БрА9Ж4. Допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H] = 208 \text{ МПа}$. На вал червячного колеса действует вращающий момент $T_2 = 518 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Из проектного расчета установлены значения параметров: число заходов червяка $z_1 = 2$, межосевое

расстояние $a_w = 150$ мм, модуль $m = 6,3$ мм, коэффициент диаметра червяка $q = 10$. Режим нагрузки – средний равновероятный, частота вращения ведущего вала $n_1 = 1000$ мин⁻¹.

Указания по решению задач

Основным критерием расчета червячных передач является контактная прочность зубьев червячного колеса. Дополнительно для червячных редукторов проводят тепловой расчет. Пример расчета червячного редуктора с архимедовым червяком разобран в подразд. 4.2 [1].

6 Проектирование и расчет зубчатых планетарных передач

Контрольные вопросы

- 1 Из каких элементов состоит планетарная зубчатая передача?
- 2 В чем преимущества и недостатки планетарных передач?
- 3 Как определить передаточное отношение планетарной передачи?
- 4 Каким условиям должны отвечать числа зубьев колес планетарных передач?
- 5 По каким критериям работоспособности рассчитывают планетарную зубчатую передачу?
- 6 Для чего нужно выравнивание нагрузки по потокам в планетарных передачах?
- 7 Назовите области применения планетарных передач.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить допускаемые контактные напряжения и допускаемые напряжения изгиба планетарной передачи, спроектированной по схеме 2К-Н (солнечное колесо ведущее, водило ведомое). Материал всех колес – сталь 45, вид термообработки – нормализация, твердость поверхности зубьев – 170...217 НВ. Числа зубьев колес $z_a = 21$, $z_g = 30$, $z_b = 84$. Частоты вращения ведущего и ведомого валов $n_a = 1000$ мин⁻¹ и $n_h = 200$ мин⁻¹ соответственно. Режим работы – средний равновероятный, двухсменная работа привода, срок службы – 6 лет.

Задача 2. Определить число зубьев колес четырехсателлитной зубчатой планетарной передачи, спроектированной по схеме 2К-Н (солнечное колесо ведущее, водило ведомое), если задано передаточное отношение $i = 6$. Найти диаметр делительной окружности центрального солнечного колеса из условия контактной прочности, если допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H] = 180$ МПа, а вращающий момент на ведущем валу $T_a = 150$ Н·м. В конструкции передачи предусмотрено устройство выравнивания нагрузки по потокам.

Задача 3. Определить, выполняется ли условие прочности по контактным напряжениям трехсателлитной зубчатой планетарной передачи, спроектированной по схеме 2К-Н (солнечное колесо ведущее, водило ведомое), если заданы: допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H] = 490$ МПа, вращающий момент на ведущем валу $T_a = 120$ Н·м, числа зубьев колес $z_a = 21$, $z_g = 36$, $z_b = 93$, модуль $m = 3$ мм, частота вращения ведомого вала $n_h = 130$ мин⁻¹. Устройство выравнивания нагрузки по потокам в конструкции передачи не предусмотрено.

Задача 4. Определить, выполняется ли условие прочности по напряжениям изгиба трехсателлитной зубчатой планетарной передачи, спроектированной по схеме 2К-Н (солнечное колесо ведущее, водило ведомое), если заданы: допускаемые контактные напряжения $[\sigma_F] = 190$ МПа, вращающий момент на ведущем валу $T_a = 120$ Н·м, числа зубьев колес $z_a = 20$, $z_g = 40$, $z_b = 100$, модуль $m = 2$ мм, частота вращения ведомого вала $n_h = 250$ мин⁻¹, коэффициент ширины колеса $\psi_{bd} = 0,4$.

Указания по решению задач

Планетарные зубчатые передачи выполняются только в закрытом исполнении, поэтому основным условием прочности является контактная прочность зубьев. Необходимые параметры определяются из условия прочности передачи по контактным напряжениям. Алгоритм расчета планетарной зубчатой передачи с прямозубыми колесами приведен в подразд. 5.2 [1].

7 Проектирование ременных, зубчато-ременных передач. Проектирование и расчет цепных передач

Контрольные вопросы

- 1 Какой принцип используется в ременных передачах? Назовите основные элементы, из которых состоит ременная передача.
- 2 Назовите преимущества и недостатки ременных передач.
- 3 Как классифицируются ременные передачи?
- 4 Назовите критерии работоспособности ременных передач. Как рассчитываются эти передачи?
- 5 Какая форма зубьев ремня применяется в зубчато-ременных передачах?
- 6 Назовите критерии работоспособности зубчато-ременных передач. Какие из них являются основными?
- 7 Назовите области применения зубчато-ременных передач.
- 8 Назовите преимущества и недостатки цепных передач.
- 9 Назовите основные характеристики и параметры цепных передач.
- 10 Назовите критерии прочности цепных передач. Какой из них является основным?

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Рассчитать клиноременную передачу при следующих параметрах: вращающий момент на ведущем валу $T_1 = 50$ Н·м, частота вращения ведущего шкива $n_1 = 1000$ мин⁻¹. Передаточное отношение $i = 3$. Нагрузка спокойная. Диаметр малого шкива принять равным около 130 мм. Режим работы – средний равновероятный, пятидневный, двухсменный. Тип двигателя – I [1, таблица Г.2].

Задача 2. Рассчитать клиноременную передачу при следующих параметрах: вращающий момент на ведущем валу $T_1 = 20$ Н·м, частоты вращения ведущего и ведомого шкивов $n_1 = 1000$ мин⁻¹ и $n_2 = 250$ мин⁻¹ соответственно. Нагрузка с умеренными колебаниями. Диаметр малого шкива принять равным около 140 мм. Режим работы – средний равновероятный, пятидневный, двухсменный. Тип двигателя – I [1, таблица Г.2].

Задача 3. Рассчитать зубчато-ременную передачу при следующих параметрах: мощность двигателя $P_1 = 1812$ Н·м, частота вращения вала двигателя $n_1 = 1000$ мин⁻¹, частота вращения приводного вала конвейера $n_2 = 250$ мин⁻¹. Режим работы – средний нормальный, пятидневный, двухсменный, натяжной ролик отсутствует. Срок службы привода – 4 года.

Задача 4. Рассчитать зубчато-ременную передачу при следующих параметрах: мощность двигателя $P_1 = 1654$ Н·м, частота вращения вала двигателя $n_1 = 100$ мин⁻¹, частота вращения приводного вала конвейера $n_2 = 50$ мин⁻¹. Режим работы – легкий, шестидневный, двухсменный, один натяжной ролик внутри контура передачи. Срок службы привода – 3 года.

Задача 5. Рассчитать цепную передачу в приводе конвейера, если мощность на ведущем валу $P_1 = 3,2$ кВт, частоты вращения валов $n_1 = 400$ мин⁻¹ и $n_2 = 120$ мин⁻¹, расположение линии центров передачи параллельно горизонту, передача открытая, работает в две смены, регулируется периодически передвижением оси малой звездочки, цепь роликовая. Смазка периодическая. Режим работы – постоянный, односменный. Определить силы и резонансную частоту вращения ведущей звездочки.

Задача 6. Рассчитать цепную передачу в приводе конвейера, если окружная сила $F_t = 2500$ Н, скорость движения цепи $v = 1,4$ м/с, частоты вращения валов $n_1 = 200$ мин⁻¹ и $n_2 = 120$ мин⁻¹, расположение линии центров передачи под углом 45° к горизонту, передача открытая, работает в три смены, регулируется автоматически передвижением оси малой звездочки, цепь роликовая. Смазка периодическая. Режим работы – тяжелый с ударами, двухсменный. Определить силы и резонансную частоту вращения ведущей звездочки.

Указания по решению задач

Алгоритмы расчета клиноременных, зубчато-ременных и цепных передач приведены в подразд. 6.2, 7.2 и 8.2 [1] соответственно.

8 Проектирование винтовых механизмов. Проектирование и расчет валов. Подбор подшипников качения

Контрольные вопросы

- 1 На какие типы подразделяются передачи по виду трения?
- 2 В чем преимущества и недостатки передач «винт – гайка» скольжения?
- 3 На какие типы подразделяются ходовые резьбы в зависимости от профиля?
- 4 Из каких материалов изготавливают винты и гайки для передач скольжения?
- 5 Для чего предназначены валы? Чем вал отличается от оси?
- 6 Как классифицируются валы и оси?
- 7 По каким напряжениям оценивают диаметр вала первоначально? Запишите формулу проектного расчета среднего диаметра вала.
- 8 По каким критериям проводят проверочный расчет вала? Какой параметр при этом определяют, с чем сравнивают его значение?
- 9 Из каких основных элементов состоит радиальный подшипник качения? Для чего нужен сепаратор?
- 10 На какие типы подразделяются подшипники качения по воспринимаемой нагрузке? Какую нагрузку воспринимает радиально-упорный подшипник? Упорный?

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить суммарные реакции подшипниковых опор A и B вала, схема которого показана на рисунке 6. Зубчатое колесо, закрепленное на валу, расположено симметрично относительно опор. Вращающий момент, действующий на вал, $T = 1100 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Зубчатое колесо имеет следующие параметры: модуль $m = 2 \text{ мм}$, число зубьев $z = 32$, угол наклона зубьев $\beta = 0^\circ$. Материал вала – сталь 45, термообработка – нормализация.

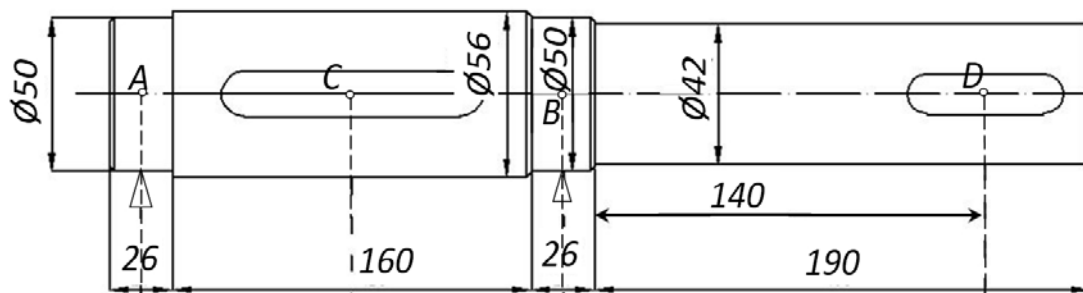


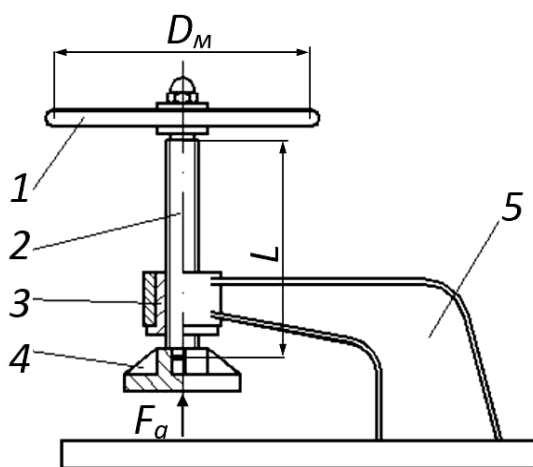
Рисунок 6 – Схема вала к задаче 1

Задача 2. На валу с помощью призматической шпонки без натяга установлено зубчатое колесо. Рассчитать вал на усталостную прочность в сечении под колесом. Диаметр вала в сечении $d_k = 68 \text{ мм}$. По результатам предварительных расчетов установлено, что в рассматриваемом сечении действуют напряжения изгиба $\sigma_u = 54 \text{ МПа}$ и кручения $\tau = 20 \text{ МПа}$. Материал вала – сталь 45 с улучше-

нием. Давление запрессовки $p > 25$ МПа.

Задача 3. Рассчитать вал одноступенчатого червячного редуктора, изготовленного из стали 40Х (улучшение до твердости 240 НВ), на статическую прочность и жесткость. Опасным является сечение под правым подшипником, где действует максимальный изгибающий момент $M_u = 800$ Н·м. Диаметр вала в этом сечении $d_n = 60$ мм. На валу установлено червячное зубчатое колесо (модуль $m = 4$ мм, число зубьев $z = 40$). Известно окружное усилие на колесе $F_{t2} = 1200$ Н.

Задача 4. Определить силу, которую нужно приложить к маховику диаметром $D_m = 400$ мм, чтобы обеспечить усилие прижатия $F_a = 3000$ Н винтового пресса с упорной резьбой (рисунок 7). Материал винта – сталь 45, материал гайки – чугун СЧ15. Длина винта $L = 320$ мм.



1 – маховик; 2 – винт; 3 – гайка; 4 – пятя; 5 – стойка

Рисунок 7 – Схема к задаче 4

Задача 5. Рассчитать передачу «винт – гайка» скольжения с трапецеидальной резьбой. Винт, изготовленный из стали Ст5, длиной 0,6 м расположен горизонтально в приводе станка и вращается в двух подшипниках качения. По винту перемещается гайка (с кареткой) со скоростью $v = 20$ мм/с. Осевая сила полезного сопротивления, преодолеваемая гайкой, составляет 3000 Н. Гайка изготовлена из чугуна СЧ20. Определить необходимую частоту вращения винта.

Задача 6. Определить реакции опор выходного вала редуктора, схема которого показана на рисунке 8, и построить эпюры изгибающих и вращающего моментов. На валу действует вращающий момент $T = 560$ Н·м, передаваемый на коническую шестерню открытой прямозубой конической передачи с передаточным числом $u = 2$, средним модулем $m_m = 3$ мм и числом зубьев $z = 29$. Прямозубое цилиндрическое колесо тихоходной передачи редуктора имеет модуль $m = 2,5$ мм и число зубьев $z = 72$.

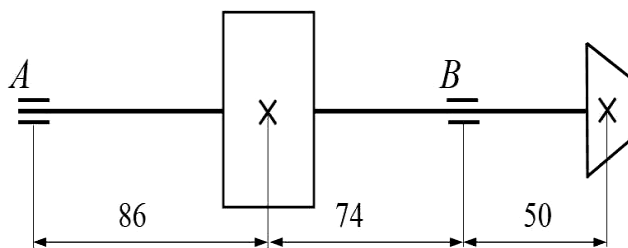


Рисунок 8 – Схема вала к задаче 6

Задача 7. Подобрать подшипники качения (средней серии) для вала червячного колеса с радиальными реакциями опор $R_A = 8000$ Н, $R_B = 9000$ Н. В червячном зацеплении действует осевая сила $F_a = 1100$ Н. Диаметр вала под подшипник $d_n = 50$ мм. Проверить подобранные подшипники по динамической грузоподъемности, если частота вращения вала $n = 100$ мин⁻¹, заданный ресурс $L = 30$ млн оборотов, режим нагружения – средний нормальный, нагрузка с умеренными толчками, рабочая температура подшипника составляет 80 °С.

Задача 8. Проверить, обеспечена ли динамическая грузоподъемность радиального подшипника 209 с реакциями опор $R_A = 8200$ Н, $R_B = 9400$ Н. Частота вращения вала $n = 200$ мин⁻¹. Заданный ресурс привода – 5 лет, режим нагружения – средний равновероятный, пятидневный, двухсменный режим работы. Нагрузка спокойная, без толчков, рабочая температура подшипника составляет не выше 95 °С.

Указания по решению задач

Примеры расчета винтовых механизмов, валов и подбора подшипников качения приведены в подразд. 15.2, 9.2 и 10.2 [1] соответственно.

9 Индивидуальные задания

Задание 1. Энерго-кинематический расчет привода

Для заданной схемы привода выполняется завершающая стадия функционального проектирования (кинематический расчет). По заданной схеме подбирается электродвигатель и определяются мощности, моменты, угловые скорости и частоты вращения валов. Результаты расчетов сводятся в таблицу.

Задание 2. Проектирование передач редуктора

По результатам, полученным в задании 1, выполняются проектный и проверочный расчеты тихоходной передачи редуктора. Результаты расчетов сводятся в таблицу. Для червячного редуктора также необходимо провести тепловой расчет.

Задание 3. Проектирование валов и подбор подшипников

По исходным данным выполненного задания 2 в задании 3 выполняются проектный и проверочный расчеты вала, подбираются и проверяются по стати-

ческой и динамической грузоподъемности подшипники качения и выполняется рабочий чертеж вала.

Каждое задание необходимо защитить, ответив на вопросы преподавателя о ходе выполнения задания и теоретической составляющей данной темы. Каждое задание оформляется отдельным отчетом с титульным листом, пример оформления которого представлен в [1, приложение А]. Отчет должен в обязательном порядке содержать расчетную схему, выданную преподавателем. С примером выполнения расчетной части заданий можно ознакомиться в [1].

Список литературы

1 **Лустенков, М. Е.** Детали машин. Расчет и проектирование : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Мн. : РИВШ, 2025. – 400 с.

2 **Иванов, М. Н.** Детали машин : учебник / М. Н. Иванов. – 15-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 408 с.

3 **Чернавский, С. А.** Проектирование механических передач: учеб. пособие / С. А. Чернавский. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 536 с.