

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра «Инженерная графика»

## ***ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА***

Методические указания и задания для контрольной работы  
для студентов специальности I-39 02 03  
«Медицинская электроника»  
заочной формы обучения

Минск 2005

УДК 621.01 (075.8)  
ББК 30.12 я 73  
Т 38

Рецензент:

профессор Высшего государственного колледжа связи Н.В.Вышинский

Составитель:

В.М. Сурин

**Техническая механика: Метод. указ. и задания для контр. работы**  
Т 38 для студ. спец. I-39 02 03 «Медицинская электроника» заочной формы  
обуч./ Сост. В.М. Сурин. – Мн.: БГУИР, 2005. – 22 с.: ил.

Приведены рабочая программа курса «Техническая механика», составленная на основе типовой программы курса «Техническая механика» № ТД – 122/тип от 24.06.2001 г.; методические указания к отдельным разделам курса и выполнению контрольной работы. Даны список рекомендуемой литературы, варианты задач контрольной работы.

**УДК 621.01 (075.8)**  
**ББК 30.12 я 73**

© Сурин В.М., составление, 2005  
© БГУИР, 2005

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

### 1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ КУРСА

#### 1.1. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КУРСА

##### 1.1.1. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ

##### 1.1.2. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЗМОВ

##### 1.1.3. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ

##### 1.1.4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

##### 1.1.5. ТИПОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ДЕТАЛИ И УЗЛЫ МЕХАНИЗМОВ

###### 1.1.5.1. РАЗЪЕМНЫЕ И НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

###### 1.1.5.2. ВАЛЫ И ОСИ. ОПОРЫ

###### 1.1.5.3. МУФТЫ

###### 1.1.5.4. УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

###### 1.1.5.5. КОРПУСА И НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

##### 1.1.6. ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

#### 1.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

#### 1.3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

##### 1.3.1. СОДЕРЖАНИЕ РЕФЕРАТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»

###### 1.3.1.1. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ РЕФЕРАТА

##### 1.3.2. ЗАДАЧА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 2. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

### ПРИЛОЖЕНИЕ

### ЛИТЕРАТУРА

## ВВЕДЕНИЕ

«Техническая механика» является общетехнической инженерной дисциплиной.

Современные системы, применяемые в медицине для диагностики, лечения, включают как технические устройства, использующие чисто электронный принцип действия, так и устройства, использующие механические и электромеханические принципы действия. Это прежде всего устройства перемещения объектов контроля, регистрации, воздействия; корпусные конструкции. К таким устройствам помимо требований по точности, прочности, безопасности, удобства сборки и эксплуатации предъявляют требования по получению определенных видов и скоростей перемещений.

Цель курса «Техническая механика» – ознакомить студентов с классическими видами механизмов и их возможностями по преобразованию и получению требуемых перемещений; методами оценки параметров движения звеньев механизмов без учета и с учетом действующих на звенья сил; требованиями к точности и прочности элементов конструкций; конструкционными материалами и их свойствами; типовыми деталями, узлами и соединениями элементов конструкций; геометрическими расчетами отдельных передаточных механизмов.

Предметом изучения в данном курсе являются: типовые механические передачи, типовые детали, узлы и соединения элементов конструкций.

Задача курса – обеспечение общеинженерной подготовки студентов для изучения последующих специальных дисциплин.

«Техническая механика» изучается в 3-м семестре 2-го курса. Учебным планом предусмотрены лекции, лабораторные работы, сдача теоретического зачета.

На зачете студент должен предъявить отчеты о выполнении лабораторных работ, зачетную контрольную работу.

# 1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ КУРСА

## 1.1. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КУРСА

### 1.1.1. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ

Понятие машина, механизм. Основные характеристики (передаточное отношение) и требования (точность, надежность), предъявляемые к механизмам.

Звенья механизмов и их классификация, условные изображения. Кинематические пары, их классификация, условные изображения. Кинематическая цепь, степень подвижности плоской кинематической цепи.

Классификация механизмов по способам передачи движения между звеньями и конструктивным особенностям: шарнирно-рычажные, фрикционные, зубчатые, винтовые, кулачковые и механизмы с гибкими звеньями. Возможности получения движений рабочего звена, достоинства и недостатки.

#### Методические указания

Обратите внимание на то, что **деталь** – это отдельная неделимая часть механизма; **звено** – одна или несколько неподвижно скрепленных деталей, совершающих один вид движения (поступательное, вращательное и т.д.); **кинематическая пара** – подвижное соединение двух звеньев, накладывающая ограничения на их относительное движение; **механизм** – кинематическая цепь (ряд звеньев, соединенных кинематическими парами) с одним неподвижным звеном (стойкой), в которой при заданном движении ведущего звена (звеньев) все остальные звенья (ведомые) получают определенные движения. Рассмотрите классификацию кинематических пар по числу степеней свободы, по элементам и способам обеспечения касания. Необходимо уметь определять по формуле Чебышева степень подвижности плоской кинематической цепи. Обратите внимание на необходимые условия существования механизма исходя из его определения и на связь между степенью подвижности кинематической цепи и числом ведущих звеньев механизмов.

Рассмотрите подробно практическую классификацию механических передач. Обратите внимание на то, что в названии некоторых передач указаны либо их конструктивные особенности, либо способ передачи движения.

#### Контрольные вопросы

1. Приведите определения механизма, звена, кинематической пары, кинематической цепи.
2. Назовите основные плоские кинематические пары, объясните деление пар на: классы; низшие и высшие; замкнутые и открытые.
3. Приведите формулу Чебышева и объясните значение входящих в нее

величин.

4. Приведите схемы простейших механических передач: шарнирного 4-звенника, цилиндрических фрикционной и зубчатых передач, передачи винт-гайка и передачи гибкими звеньями. Назовите особенности этих передач, их достоинства, недостатки, примеры использования.

5. Что такое передаточное отношение  $i$  механизма? Когда, при каких значениях  $|i|$  механизм называют редуктором или мультипликатором.

### 1.1.2. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЗМОВ

Ошибки механизмов и их деталей, причины их возникновения. Допуски линейных размеров. Основные понятия и определения. Обозначения отклонений размеров на чертежах. Посадки (виды соединений) деталей. Посадки в системе отверстия и системе вала. Обозначение посадок на чертежах. Шероховатость поверхности и ее обозначение на чертежах.

#### Методические указания

К основным погрешностям механизмов следует отнести ошибки положения, перемещения, передаточного отношения и мертвого хода. На величину этих ошибок влияет ряд факторов: схематические, изготовление и сборка, эксплуатационные (температура, различные силы).

Наибольший (верхний) и наименьший (нижний) предельные размеры – значения размера, между которыми может находиться или которым может быть равен размер **годной** детали. Разность между ними является допуском размера. Величина допуска устанавливается в зависимости от номинального размера и уровня точности, называемого качеством.

Обратите внимание на расположение полей допусков отверстия и вала относительно номинального размера, на зависимость величины допуска от условного уровня точности (качества) и величины номинального размера.

При изучении посадок обратите внимание на особенности системы основного отверстия и системы основного вала. Студент должен свободно ориентироваться в вопросах обозначения на чертежах допусков и посадок.

При изучении шероховатости поверхностей обратите внимание на ее обозначение на чертежах.

Необходимо различать прямую и обратную задачи при оценке точности механизмов; различать аналитические, графические и экспериментальные методы оценки ошибок механизмов.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите ошибки механизмов и причины их возникновения.
2. Дайте определения номинального, действительного и предельных размеров.

3. Что такое допуск, от чего он зависит?
4. В чем отличие поля допуска размера от допуска?
5. Как зависит точность конструкции от качества? Какие качества рекомендуют использовать при проектировании?
6. Нарисуйте расположение полей допусков в системе отверстия для посадки с зазором, для посадки с натягом, для переходной посадки.
7. Запишите условное обозначение посадки в системе основного отверстия.
8. Приведите параметры количественной оценки шероховатости поверхностей и пример обозначения шероховатости на чертеже.
9. Назовите различие прямой и обратной задач оценки точности механизма.

### 1.1.3. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ

Классификация сил, действующих на твердое тело. Упругие и пластические деформации. Виды деформаций. Внутренние усилия. Метод сечений для определения внутренних сил. Нормальные и касательные напряжения. Определение напряжений и деформаций при растяжении-сжатии. Закон Гука. Примеры растяжения и сжатия деталей.

Механические свойства материалов. Диаграмма растяжения. Характеристики прочности материалов: пределы упругости, текучести и прочности. Твердость материалов. Условие прочности конструкций.

Сдвиг. Вычисление касательных напряжений при сдвиге. Закон Гука при сдвиге. Условие прочности. Примеры возникновения деформаций сдвига в деталях.

Геометрические характеристики плоских сечений (полярный и осевой моменты инерции сечения; полярный и осевой моменты сопротивления сечения). Кручение. Понятие о скручивающем и крутящем моментах. Эпюра крутящих моментов. Деформации и напряжения. Условия прочности и жесткости.

Изгиб. Понятия. Типы опор стержней. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Нормальные напряжения при изгибе. Условие прочности при изгибе. Понятие о прогибе и угле поворота сечения. Примеры кручения и изгиба деталей.

Коэффициенты концентрации напряжений. Примеры определения напряжений при деформациях растяжения, изгиба и кручения деталей, имеющих неоднородности сечений, вызывающие концентрацию напряжений.

Переменные нагрузки. Особенности разрушения деталей при действии циклических напряжений. Виды циклов нагружения деталей. Построение кривой усталости. Предел выносливости. Условие прочности при действии переменных нагрузок.

## Методические указания

Необходимо усвоить основные понятия: внутренние силы и моменты, напряжения и деформации. Обратить внимание на метод сечений, применяемый для определения внутренних усилий, возникающих в твердом теле при действии на него внешних сил. Обратить внимание на понятие деформаций и напряжений. Усвоить, что видов деформаций два (упругая и пластическая), а простейших типов пять (растяжение, сжатие, сдвиг, кручение, изгиб) и сложное деформирование (например, кручение и изгиб).

Обратить внимание, что прочность конструкций всегда зависит от прочностных свойств материала, от размера поперечного сечения (деформации растяжения, сжатия и сдвига), а при деформациях кручения и изгиба также от формы поперечного сечения деформируемого стержня.

## Контрольные вопросы

1. Дайте понятия прочности, пластичности, упругости.
2. Что такое деформация, виды деформаций?
3. В чем отличие между касательным и нормальным напряжениями?
4. Как формулируются условия прочности, жесткости?
5. Нарисуйте диаграмму растяжения. Какие механические характеристики материалов можно получить при испытании на растяжение?
6. Какие методы измерения твердости существуют и в чем их суть?
7. Что такое концентраторы напряжений? Как они влияют на прочность?
8. Что называют пределом выносливости материала?

### 1.1.4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Требования, предъявляемые к конструкционным материалам. Железоуглеродистые сплавы: чугуны и стали. Классификация сталей по назначению, химсоставу, качеству (содержание серы и фосфора). Маркировка. Сплавы на основе меди (латуни и бронзы), алюминия (деформируемые, литейные). Пластмассы термопластичные и терморезистивные. Сортамент материалов.

## Методические указания

Стоимость механизмов, способность их выполнять свои функции во многом зависит от правильного выбора материала звеньев. Необходимо знать конструкционные материалы, применяемые в механизмах, наиболее распространенные марки, область применения. Обратить внимание на применение пластмасс, заменителей цветных металлов.



## Контрольные вопросы

1. Как различаются чугуны и стали по химсоставу, свойствам?
2. Как классифицируют стали?
3. Какие сплавы на основе меди и алюминия применяют как конструкционные материалы?
4. В чем различие терморезистивных и термопластичных пластмасс? Какие из них обладают более высокими прочностными свойствами?
5. Достоинства пластмасс по сравнению с металлами?

### 1.1.5. ТИПОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ДЕТАЛИ И УЗЛЫ МЕХАНИЗМОВ

#### 1.1.5.1. РАЗЪЕМНЫЕ И НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Назначение, классификация. Разъемные соединения: резьбовые, штифтовые, шпоночные, шлицевые. Неразъемные соединения: паяные, сварные, заклепочные, клеевые, заформовкой, прессовые.

### Методические указания

Все механические устройства содержат соединения. Наиболее распространены из разъемных – резьбовые, из неразъемных – сварные соединения.

При изучении резьбовых соединений обратите внимание на следующие вопросы: виды резьб, их область применения; особенности болтовых, винтовых и шпильчатых соединений; способы предохранения резьбовых соединений от отвинчивания; достоинства и недостатки соединений. Изучите конструкции штифтов, шпонок и шлицев, их материалы, конструкции, достоинства и недостатки. Обратите внимание на различие паяных и сварных соединений, виды пайки, сварки, конструкции и материалы заклепок, возможности соединений заформовкой.

## Контрольные вопросы

1. В чем отличие разъемных и неразъемных соединений?
2. Какие виды разъемных соединений вы знаете?
3. Какой вид резьбы наиболее широко применяется в соединениях деталей?
4. Из каких материалов изготавливают болты, винты, гайки, шпильки, шайбы?
5. Какие виды стопорения резьбовых соединений вам известны?
6. Дайте классификацию штифтов.
7. Назовите виды шпонок.
8. Укажите виды шлицевых соединений и область их применения.
9. Какие виды паяных соединений вы знаете?

10. Назовите известные вам виды сварки.
11. Преимущества и недостатки клеевых соединений?
12. Назовите материалы, формы заклепок, виды заклепочных соединений.
13. Достоинства и возможности соединений заформовкой.

#### 1.1.5.2. ВАЛЫ И ОСИ. ОПОРЫ

Валы и оси. Понятия. Классификация. Материалы для изготовления валов, осей.

Назначение и виды опор.

Опоры скольжения. Виды опор. Достоинства, недостатки. Классификация опор скольжения. Материалы для опор скольжения.

Опоры качения. Устройство. Достоинства и недостатки. Классификация, материалы для элементов опор качения.

Понятие о специальных видах опор.

#### Методические указания

Валы и оси служат для установки вращающихся деталей механизмов.

Вал испытывает деформации кручения и изгиба, а ось только изгиб. Наиболее употребительны валы со ступенчатым изменением поперечных сечений по длине.

Применяют опоры для поддержания валов и осей в заданном положении и для передачи нагрузки от них на корпус механизма. Опоры скольжения следует рассмотреть в зависимости от направления прикладываемой нагрузки (радиальное, осевое, комбинированное). Достоинства опор скольжения – возможность воспринимать значительные нагрузки, малые радиальные размеры; недостаток – большие потери на трение. Выбор материала для изготовления опоры скольжения зависит от нагрузки, скорости вращающегося в опоре вала или оси.

Обратите внимание на элементы классической конструкции опоры качения: наружное и внутреннее кольца, тела качения и их разделитель (сепаратор). Обратите внимание на преимущества (малое трение) и недостатки (чувствительность к динамическим воздействиям) опор качения по сравнению с опорами скольжения, большие радиальные размеры. Изучите классификацию, подбор подшипников качения. Обратите внимание на особенности системы посадок колец подшипников на вал и в отверстие корпуса.

#### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены валы и оси, и из каких материалов они изготавливаются?
2. Какая разница между осью и валом?
3. Какие различают виды валов?

4. Как классифицируют опоры в зависимости от вида трения?
5. Назовите достоинства и недостатки подшипников качения по сравнению с подшипниками скольжения.
6. Как классифицируются подшипники по форме тел качения и по направлению воспринимаемой нагрузки?
7. Какие различают серии подшипников качения?
8. Какие подшипники качения устанавливают на вал с прямозубыми, косозубыми цилиндрическими, с коническими зубчатыми колесами?

### 1.1.5.3. МУФТЫ

Назначение, классификация, конструкции муфт и принцип их действия.

#### Методические указания

При изучении муфт их необходимо разделить на соединительные постоянные (глухие и компенсирующие) и управляемые. В рекомендуемых учебных пособиях нужно найти по одному примеру каждого типа муфт и уяснить себе их принцип действия. Наиболее широко используют в приборных системах постоянные упругие и управляемые порошковые или пьезокристаллические муфты.

Обратить внимание, что помимо передачи вращательного движения без изменения скорости, муфты служат в качестве предохранительных устройств от перегрузок, динамических воздействий (упругие), неточностей взаимного расположения соединяемых муфтой валов (компенсирующие).

#### Контрольные вопросы

1. Назначение муфт.
2. Классифицируйте муфты по функциональным признакам.
3. Классификация муфт по управляемости передачей вращательного движения.

### 1.1.5.4. УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Назначение, классификация, характеристики упругих элементов. Материалы.

#### Методические указания

Изучая раздел «Упругие элементы», необходимо рассмотреть классификацию упругих элементов, области их применения, характеристики, материалы, используемые для изготовления упругих элементов. Уяснить такие явле-

ния, как упругое последствие и упругий гистерезис, жесткость, чувствительность.

Обратите внимание на особенности упругих элементов, обуславливающие возможность их применения в качестве чувствительных элементов, аккумуляторов механической энергии (двигателей), демпферов.

Особое внимание обратите на конструктивные особенности винтовых пружин растяжения, сжатия: плоских пружин (прямых моно- и биметаллических, спиральных); мембран, сильфонов, трубчатых пружин.

#### Контрольные вопросы

1. Классификация упругих элементов: по области применения, по виду деформации.
2. Что называется характеристикой упругого элемента?
3. Что такое жесткость (чувствительность) упругого элемента?
4. Чем отличаются винтовые пружины растяжения от пружин сжатия?
5. В каких случаях применяют плоские пружины?

#### 1.1.5.5. КОРПУСА И НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Классификация корпусов по функциональному назначению. Деление несущих корпусов по конструктивным (цельные, разъемные, сборные, одно- и двухплатные) и технологическим (литые, сварные, прессованные, штампованные) особенностям. Корпуса-кожухи. Несущие конструкции для электронной аппаратуры-шасси, каркасы блоков. Уровни и требования к несущим конструкциям.

#### Методические указания

Обратить внимание на эксплуатационные, технологические и экономические требования к корпусам и несущим конструкциям. Для несущих конструкций нужно дополнительно учитывать требования по теплоотводу и охлаждению, герметизации, влагозащите и амортизации электронной аппаратуры.

#### Контрольные вопросы

1. В чем отличия несущих корпусов и корпусов-кожухов?
2. Классификация несущих корпусов по конструктивным признакам.
3. Классификация несущих корпусов по способам (технологии) их изготовления.
4. Чем руководствуются при выборе типа и формы корпуса.
5. Виды несущих конструкций и дополнительные по сравнению с механическими конструкциями требования к ним.

## 1.1.6. ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Классификация. Эвольвентное зацепление зубьев. Геометрические элементы и параметры прямозубого цилиндрического зубчатого колеса. Передаточное отношение одно- и многоступенчатых рядовых зубчатых передач.

Косозубая цилиндрическая передача. Общие сведения. Коническая зубчатая передача. Общие понятия.

Червячные передачи. Общие понятия. Классификация. Материалы.

### Методические указания

Зубчатые механизмы – самый распространенный вид механических передач. При изучении необходимо обратить внимание на достоинства и недостатки конкретного вида зубчатой передачи (цилиндрической, конической и др.). Надо усвоить преимущества эвольвентного зацепления, геометрические параметры эвольвентных зубчатых колес. Необходимо знать терминологию и связь между основными параметрами зубчатых колес (модулем, шагом, числом зубьев, диаметрами колес). Сравните прямозубую передачу с косозубой. Обратите внимание, что в конической зубчатой передаче шестерню устанавливают консольно, поэтому вследствие усилий, возникающих в зацеплении, наибольшее передаточное отношение в зацеплении назначают не более 5, т.е. значительно меньше, чем в цилиндрических передачах, где оно равно 8.

При изучении червячных передач обратите внимание на кинематику пары червяк – червячное колесо, на зависимость передаточного отношения, КПД от числа заходов червяка, уясните явление самоторможения.

При изучении различных видов сложных зубчатых передач нужно знать, что в понижающих скорость зубчатых передачах (редукторах) происходит уменьшение скорости и увеличение момента сил зацепления в число раз, равное передаточному отношению; мощность же уменьшается только на величину потерь.

В зубчатых передачах, предназначенных для изменения скорости (кинематических), модуль зацепления обычно выбирают из нормального ряда значений [1, с. 227]. Основным в приборостроении является не прочностной, а кинематический и геометрический расчеты.

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируются зубчатые передачи?
2. Укажите основные достоинства и недостатки зубчатых передач.
3. Назовите достоинства эвольвентного зацепления.
4. Дайте понятие модуля зацепления.
5. Перечислите параметры прямозубого колеса.
6. Назовите достоинства и недостатки косозубой цилиндрической передачи по сравнению с прямозубой.

7. Выразите через значение чисел зубьев колес передаточное отношение одно- и многоступенчатой рядовой зубчатой передачи.

8. Каково назначение конической зубчатой передачи?

9. Назовите достоинства и недостатки червячных передач.

10. Из каких материалов изготавливают зубчатые колеса, червяки и червячные колеса?

## 1.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Каждый студент должен выполнить ряд лабораторных работ, число которых в зависимости от сложности определяется преподавателем.

Перечень лабораторных работ и методические указания по их выполнению содержатся в лабораторных практикумах, изданных в БГУИР.

Примерный перечень лабораторных работ:

1. Конструкции и параметры зубчатых механизмов.

2. Устройства печати.

3. Исследование фрикционной (лентопротяжной) передачи.

4. Исследование винтовой передачи.

5. Определение механических характеристик (твердости) материалов.

## 1.3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольная работа состоит из реферата и задачи по кинематическому и геометрическому расчету зубчатой передачи. Номер варианта задачи задается преподавателем. Оформляется контрольная работа в ученической тетради или на машинописных листах формата А4, сброшюрованных в тетрадь. Текст выполняется от руки или с помощью машинных средств. При записи формул необходимо записать первоначально их в общем виде, далее делается численная подстановка, а результат должен содержать размерность. Необходимо указывать литературные источники, из которых взяты расчетные формулы. Рисунки, кинематическая схема выполняются на миллиметровой или обычной бумаге, соблюдая масштабные соотношения и правила оформления схем, чертежей, предусмотренных ЕСКД.

Небрежно выполненные работы не рецензируются.

### 1.3.1. СОДЕРЖАНИЕ РЕФЕРАТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»

#### 1.3.1.1. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ РЕФЕРАТА

##### 1. Зубчатые механизмы

1.1. Возможности по преобразованию вида движения, изменению скорости, достоинства, недостатки зубчатых механизмов.

1.2. Классификация зубчатых передач; возможности, достоинства, не-

достатки разных видов зубчатых передач.

1.3. Геометрические параметры цилиндрических прямозубых колес и передач. Передаточное отношение (число) зубчатых передач.

1.4. Применение зубчатых передач в приборостроении.

2. Механические характеристики материалов. Характеристики прочности (пределы упругости, текучести, прочности). Характеристики пластичности (относительное растяжение и сужение). Определение механических характеристик при растяжении. Отличие диаграмм растяжения для хрупких, пластичных материалов.

Предел выносливости материала и его определение.

Методы определения твердости. Связь твердости с прочностными характеристиками.

3. Фрикционные передачи. Назначение. Достоинства, недостатки. Особенности конструкций. Применение в устройствах перемещения носителей информации (бумаги, магнитных лент, карт).

4. Неразъемные соединения.

4.1. Паяные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение.

4.2. Сварные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение.

4.3. Клеевые и заклепочные соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение.

4.4. Соединения заформовкой. Достоинства, недостатки.

5. Разъемные соединения.

5.1. Резьбовые соединения. Классификация, назначение, достоинства, недостатки, материалы.

5.2. Штифтовые, шпоночные и шлицевые соединения. Виды, достоинства, недостатки, применение.

6. Муфты. Назначение, классификация. Использование порошковых и иных управляемых муфт в периферийных устройствах.

7. Конструкционные материалы.

7.1. Сплавы на основе железа. Чугуны. Стали. Классификация сталей, марки сталей. Применение в механических устройствах (валы, зубчатые колеса, крепеж).

7.2. Сплавы на основе меди и алюминия. Классификация, обозначение, достоинства и недостатки. Применение сплавов как конструкционных материалов в механических устройствах (упругие элементы, опоры).

7.3. Неметаллические материалы.

Виды, свойства, применение термопластов и терморезистивных пластмасс. Достоинства и недостатки пластмасс. Применение резины, бумаги, композиционных (зубчатые ремни) материалов.

### 1.3.2. ЗАДАЧА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Для вращения вала перистальтического насоса рассчитать одноступенчатый зубчатый механизм с цилиндрическими зубчатыми колесами.

В таблице заданы момент  $T_{\text{вых}}$  на выходном валу механизма (момент сопротивления) и частота вращения  $n_{\text{вых}}$  выходного вала зубчатого механизма, а также передаточное отношение  $i$  механизма.

Требуется выполнить расчет геометрических параметров ( $d$ ,  $h_a$ ,  $h_f$ ,  $h$ ,  $d_a$ ,  $d_f$ ,  $b$ ,  $a$ ) шестерни и ведомого колеса, определить крутящие моменты на всех валах, окружную силу  $F_t$  в зацеплении, коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{зз}}$  зубчатого зацепления, мощность  $P_{\text{дв}}$  и частоту вращения  $n_{\text{дв}}$  электродвигателя. Уточнить тип зубчатой передачи (прямозубая или косозубая) по величине окружной скорости  $v$  в зубчатом зацеплении.

#### Варианты задач контрольной работы

№ варианта	Момент $T_{\text{вых}}$ , Н·м	Частота вращения $n_{\text{вых}}$ , мин <sup>-1</sup>	Передаточное отношение $i$	№ варианта	Момент $T_{\text{вых}}$ , Н·м	Частота вращения $n_{\text{вых}}$ , мин <sup>-1</sup>	Передаточное отношение $i$
1	0,6	160	8,0	26	0,6	285	4,49
2	0,5	165	7,76	27	0,5	290	4,41
3	0,4	170	7,53	28	0,4	295	4,34
4	0,3	175	7,31	29	0,3	300	4,27
5	0,2	180	7,11	30	0,2	305	4,20
6	0,6	185	6,91	31	0,6	310	4,13
7	0,5	190	6,74	32	0,5	315	4,06
8	0,4	195	6,56	33	0,4	320	4,00
9	0,3	200	6,40	34	0,3	325	3,94
10	0,2	205	6,24	35	0,2	330	3,88
11	0,6	210	6,09	36	0,6	335	3,82
12	0,5	215	5,95	37	0,5	340	3,76
13	0,4	220	5,82	38	0,4	345	3,71
14	0,3	225	5,69	39	0,3	350	3,66
15	0,2	230	5,56	40	0,2	355	3,61
16	0,6	235	5,45	41	0,6	360	3,55
17	0,5	240	5,33	42	0,5	365	3,51
18	0,4	245	5,22	43	0,4	370	3,46
19	0,3	250	5,12	44	0,3	375	3,41
20	0,2	255	5,02	45	0,2	380	3,37
21	0,6	260	4,92	46	0,6	385	3,32
22	0,5	265	4,83	47	0,5	390	3,28
23	0,4	270	4,74	48	0,4	395	3,24
24	0,3	275	4,65	49	0,3	400	3,20
25	0,2	280	4,57	50	0,2	405	3,16



## 2. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задано:  $T_{\text{вых}} = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $n_{\text{вых}} = 310 \text{ мин}^{-1}$ ;  $i = 4,13$ .

Определить:  $d_1, d_{a1}, d_{f1}, h, d_2, d_{a2}, d_{f2}, a, b_1, b_2, T_{\text{вд}}, P_{\text{дв}}, T_{\text{дв}}, F_t, \eta$ .

Рассчитываемый механизм служит для уменьшения скорости вращения электродвигателя в  $i$  число раз и состоит из пары находящихся в зацеплении цилиндрических зубчатых колес (шестерни и колеса). Зубчатые колеса устанавливаются на валах, которые поддерживаются в требуемом положении опорами. Каждый вал имеет две опоры (скольжения или качения), закрепленные в корпусе. Быстроходный вал редуктора соединен с валом электродвигателя муфтой. В качестве опор принимаем подшипники качения.

Ориентировочно определяем требуемую мощность  $P_{\text{дв}}$  электродвигателя, приняв предварительно значения КПД:

КПД зубчатой передачи  $-\eta_z = 0,9$ ;

КПД подшипника качения  $-\eta_{\text{п}} = 0,99$ ;

КПД муфты  $-\eta_{\text{м}} = 0,97$ .

Тогда

$$P_{\text{дв}} = kP_{\text{вых}}/\eta \text{ [Вт]}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент запаса, учитывающий необходимость преодоления динамических нагрузок в момент разгона, принимаемый равным  $1,05 \dots 1,1$ ;  
 $P_{\text{вых}} = T_{\text{вых}} \cdot \omega_{\text{вых}}$  – требуемая мощность на выходном валу;  $\omega_{\text{вых}} = 2\pi n_{\text{вых}}/60$  – угловая скорость выходного вала, рад/с;  $n_{\text{вых}}$  – угловая скорость выходного вала в об/мин;  $T_{\text{вых}}$  – момент на выходном валу, Н·м;  $\eta$  – коэффициент полезного действия электромеханического привода для выбранной схемы он равен

$$\eta = \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п}}^4 \cdot \eta_z = 0,97 \cdot 0,99^4 \cdot 0,9 = 0,8386.$$

Скорость вращения выходного вала в рад/с равна

$$\omega_{\text{вых}} = (2 \cdot 3,14 \cdot 310)/60 = 32,45 \text{ рад/с}.$$

Подставив значения  $\eta, T_{\text{вых}}, \omega_{\text{вых}}$  в выражение (1) и приняв  $k = 1,1$  получим

$$P_{\text{дв}} = (k \cdot T_{\text{вых}} \cdot \omega_{\text{вых}})/\eta = (1,1 \cdot 0,4 \cdot 32,45) = 17,02 \text{ Вт}.$$

Частота вращения электродвигателя

$$n_{\text{дв}} = n_{\text{вых}} \cdot i = 310 \cdot 4,13 = 1280,3 \text{ об/мин}.$$

Из серии двигателей, имеющих скорости вращения 1250, 1280, 1300 об/мин выбираем электродвигатель с  $n = 1280$  об/мин и мощностью  $P \geq 17$  Вт.

Выбираем число зубьев  $z_1$  шестерни. Так как  $z_{\text{min}} = 17$ , а рекомендуемое значение числа зубьев шестерни 18 – 30, принимаем  $z_1 = 20$ .

Число зубьев зубчатого колеса определяем по формуле

$$z_2 = z_1 \cdot i = 20 \cdot 4,13 = 82,6.$$

Так как колесо должно иметь целое число зубьев, принимаем  $z_2 = 82$ .

Тогда фактическое передаточное отношение зубчатой передачи

$$i_{\text{ф}} = z_2/z_1 = 82/20 = 4,1.$$

Относительная погрешность передаточного отношения зубчатой передачи

$$\Delta i \% = \left| \frac{i - i_{\phi}}{i} \right| \cdot 100 \% = \frac{4,13 - 4,1}{4,13} \cdot 100 \% = 0,73 \%$$

Допустимая погрешность  $\Delta i$  передаточного отношения не должна превышать 3,5 %.

Диаметр ведущего вала, т.е. вала шестерни, принимают близким по размеру диаметру вала двигателя. Считаем, что  $d_{дв} \geq 3$  мм.

Выбираем значение модуля  $m$  зацепления из стандартного ряда модулей (0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; ... мм). Применение малых модулей позволяет уменьшить габариты колес или при сохранении габаритов увеличить плавность передачи за счет увеличения числа зубьев. Принимаем  $m = 0,5$ , чтобы выполнялось условие, при котором диаметр окружности впадин зубьев  $d_f$  шестерни был бы больше диаметра ее ступицы, т.е.  $d_{f1} > 2d_B$ .

Предполагая прямозубый тип зубчатых колес, определим диаметр делительной окружности колеса (ведомого звена):

$$d_2 = m \cdot z_2 = 0,5 \cdot 82 = 41 \text{ мм.}$$

Линейная скорость зубчатого колеса в зацеплении

$$v = \omega_{\text{вых}} \cdot d_2 / 2 = (32,45 \cdot 41) / (2 \cdot 10^{-3}) = 0,66 \text{ м/с.}$$

При линейных скоростях  $v < 6$  м/с принимают тип передачи – прямозубая.

У зубчатых колес со стандартной (нормальной) высотой зуба коэффициент высоты головки зуба  $h_a^* = 1$ , а коэффициент радиального зазора  $c^*$  зубьев в зацеплении зависит от модуля и равен

$$c^* = 0,5 \text{ при } m \leq 0,5 \text{ мм;}$$

$$c^* = 0,35 \text{ при } 0,5 < m < 1,0;$$

$$c^* = 0,25 \text{ при } m \geq 1,0 \text{ мм.}$$

Высота головки зубьев колес

$$h_a = h_a^* \cdot m = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ мм.}$$

Высота ножки зубьев колес

$$h_f = m(h_a^* + c^*) = 0,5(1 + 0,5) = 0,75 \text{ мм.}$$

Диаметры делительных окружностей зубчатых колес:

$$\text{шестерни } d_1 = m \cdot z_1 = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ мм,}$$

$$\text{колеса } d_2 = m \cdot z_2 = 0,5 \cdot 82 = 41 \text{ мм.}$$

Диаметры окружностей вершин зубьев колес:

$$\text{шестерни } d_{a1} = d_1 + 2h_a = 10 + 2 \cdot 0,5 = 11 \text{ мм,}$$

$$\text{колеса } d_{a2} = d_2 + 2h_a = 41 + 2 \cdot 0,5 = 42 \text{ мм.}$$

Диаметры окружностей впадин зубьев колес:

$$\text{шестерни } d_{f1} = d_1 - 2h_f = 10 - 2 \cdot 0,75 = 8,5 \text{ мм,}$$

$$\text{колеса } d_{f2} = d_2 - 2h_f = 41 - 2 \cdot 0,75 = 39,5 \text{ мм.}$$

Межосевое расстояние  $a$  зубчатой передачи

$$a = (d_1 + d_2) / 2 = (10 + 41) / 2 = 25,5 \text{ мм.}$$

Длина  $b$  зуба определяется по формуле  $b = \psi_{bd} \cdot d$ , где  $\psi_{bd}$  – коэффициент ширины  $b$  венца колеса по диаметру  $d$  делительной окружности, рекомендуется принимать  $\psi_{bd} = 0,005 \dots 0,3$ .

Длина зуба колеса равна

$$b_2 = 0,05 \cdot 41 = 2,05 \text{ мм.}$$

Принимаем  $b_2 = 2,5$  мм.

Длина зуба шестерни, как более нагруженного звена, определяется по формуле

$$b_1 = b_2 + (0,5 \dots 1,0) \text{ мм} = 3,5 \text{ мм.}$$

Окружное усилие в зацеплении определяется по формуле

$$F_t = 2T_{\text{вых}}/d_2 = (2 \cdot 0,4 \cdot 10^3)/41 = 19,5 \text{ Н.}$$

Уточняем значение КПД зубчатой пары

$$\eta_{\text{зз}} = 1 - \left[ \pi \cdot c \cdot f \cdot \varepsilon_{\gamma} \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cdot \frac{1}{2} = 1 - \left[ 3,14 \cdot 1,14 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \left( \frac{1}{20} + \frac{1}{82} \right) \right] \cdot \frac{1}{2} = 0,983,$$

где  $f = 0,1$  – коэффициент трения стали по стали (шестерня и зубчатое колесо стальные);

$\varepsilon_{\gamma} = 1,5$  – коэффициент перекрытия пары прямозубых колес;

$c$  – коэффициент, учитывающий уменьшение КПД зубчатого зацепления при малых нагрузках  $c = \frac{F_t + 2,92}{F_t + 0,174} = \frac{19,5 + 2,92}{19,5 + 0,174} = 1,14$ .

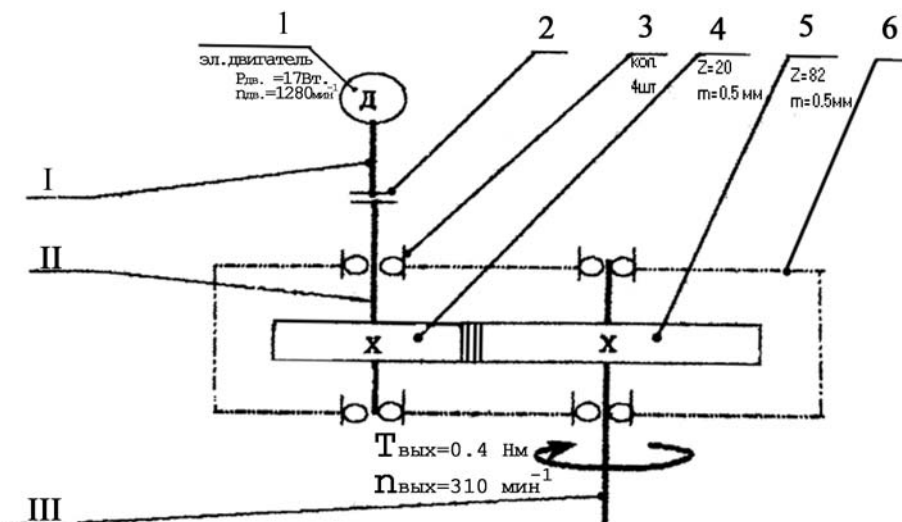
Вращающийся момент на ведущем валу зубчатого механизма

$$T_{\text{вд}} = T_{\text{вых}} / (i_{\text{ф}} \cdot \eta_{\text{зз}} \cdot \eta_{\text{п}}^4) = 0,4 / (4,1 \cdot 0,983 \cdot 0,99^4) = 0,101 \text{ Н·м.}$$

Вращающий момент на валу электродвигателя

$$T_{\text{дв}} = T_{\text{вд}} / \eta_{\text{м}} = 0,101 / 0,97 = 0,106 \text{ Н·м.}$$

Кинематическая схема механизма к задаче приведена на рисунке.



Кинематическая схема механизма:

1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – опора качения; 4 – шестерня (ведущее зубчатое колесо); 5 – ведомое зубчатое колесо; 6 – корпус; I – вал электродвигателя; II – ведущий вал; III – выходной вал

## ПРИЛОЖЕНИЕ (справочное)

$d = m \cdot z$  – диаметр делительной окружности колеса

$h_a = h_a^* \cdot m$  – высота головки зуба

$h_a^* = 1$  – коэффициент высоты головки зуба

$h_f = (h_a^* + c^*)m$  – высота ножки зуба

$c^* = 0,5$  при  $m \leq 0,5$

$c^*$  – коэффициент радиального зазора зубьев в зацеплении

$h = h_a + h_f$  – высота зуба

$d_a = d + 2h_a$  – диаметр окружности вершин зубьев

$d_f = d - 2h_f$  – диаметр окружности впадин

$a = 0,5(d_1 + d_2)$  – межосевое расстояние зубчатой передачи

$d_1$  – делительный диаметр шестерни

$d_2$  – делительный диаметр ведомого колеса

$b_2 = \psi_{bd} \cdot d_2 = (0,05 \dots 0,3)d_2$  (результат следует округлять с точностью до 0,5 мм) – длина зуба колеса

$\psi_{bd}$  – коэффициент ширины  $b$  венца по диаметру  $d$  делительной окружности

$b_1 = b_2 + (0,5 \dots 1)$  мм – длина зуба шестерни

$b = (3 \dots 15)m$  – проверочная формула для определения длины зуба

$F_t = 2T/d$  – окружное усилие в зацеплении

$i = n_{вх}/n_{вых} = n_{дв}/n_{вых}$  – передаточное отношение

$i \leq 8$

$z_2 = z_1 \cdot i$  – число зубьев колеса

$T_{вд} = T_{вых}/(i \cdot \eta_{зз} \cdot \eta_{п}^4)$  – вращающий момент на ведущем валу

$T_{дв} = T_{вд}/\eta_{м}$  – вращающий момент на валу электродвигателя

$\eta_{зз} = 1 - \left[ \pi \cdot c \cdot f \cdot \varepsilon_{\gamma} \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cdot \frac{1}{2}$  – уточненное значение КПД зубчатой

пары

$f \approx 0,1$  – коэффициент трения по стали

$\varepsilon_{\gamma} = 1,5$  – коэффициент перекрытия пары прямозубых колес

$\varepsilon_{\gamma} = 3 \dots 4$  – для косозубых колес

$c$  – коэффициент, учитывающий уменьшение КПД зубчатого зацепления

$\eta_{зз}$  при малых нагрузках

$c = 1$  при  $F_t > 30$  Н – прямозубая и косозубая передачи

$c = (F_t + 2,92)/(F_t + 0,174)$  при  $F_t < 30$  Н – прямозубая передача

$\eta_{общ} = \eta_{зз} \cdot \eta_{п}^k \cdot \eta_{м}$ , где  $k$  – число подшипников и  $\eta_{м}$  – КПД муфты

$v = (d\omega)/2$  – линейная скорость

Прямозубые передачи применяют при  $v \leq 6$  м/с

Косозубые передачи применяют при  $v > 6$  м/с

$\omega = (2\pi \cdot n)/60$  – угловая скорость вращения в рад/с,  $n$  – угловая скорость вращения в об/мин

$c = (F_n + 3,11)/(F_n + 0,185)$  при  $F_t < 30$  Н – коэффициент, учитывающий уменьшение КПД в косозубой передаче

$F_n = F_t/(\cos \alpha \cdot \cos \beta) = F_t/(\cos 20^\circ \cdot \cos 10^\circ)$  – сила нормального давления в зацеплении косозубой передачи

$\beta = 7^\circ \dots 15^\circ$  – угол наклона зубьев косозубого колеса

$p_n = \pi \cdot m_n$  – нормальный шаг косозубой передачи

$p_t = p_n/\cos \beta$  – торцовый шаг косозубой передачи

$m_t = m_n/\cos \beta$  – торцовый модуль косозубой передачи

$m_n = m$  – нормальный (стандартный) модуль косозубой передачи

$d = m_t \cdot z$  – диаметр делительной окружности косозубого колеса

$z_1 = 18 - 30$  – рекомендуемое число зубьев шестерни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сурин В.М. Техническая механика. Учеб. пособие. – Мн.: БГУИР, 2004. – 292 с.

2. Красковский Е.Я., Дружинин Ю.В., Филатов Е.М. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем. – М.: Высш. шк., 1991. – 431 с.

3. Ванторин В.Д. Механизмы приборных и вычислительных систем. – М.: Высш. шк., 1985. – 415 с.

4. Вopilкин Е.А. Расчет и конструирование механизмов приборов и систем. – М.: Высш. шк., 1980. – 463 с.

5. Прикладная механика/ Под общ. ред. А.Т. Скойбеды – Мн.: Выш.шк., 1997. – 522 с.

Учебное издание

**Техническая механика**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ**  
для контрольной работы  
для студентов специальности I-39 02 03  
«Медицинская электроника»  
заочной формы обучения

Составитель:  
**Сурин Виталий Михайлович**

Редактор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 27.04.2005.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,51.  
Заказ 52.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6