

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра «Техносферная и информационная безопасность»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.06.02 – Инженерные компьютерные расчеты**

**Направление подготовки: 20.03.01 – Техносферная безопасность**

**Профиль подготовки: Безопасность жизнедеятельности в  
техносфере**

**Квалификация (степень) выпускника: бакалавр**

**Нормативный срок обучения: 4 года**

**Форма обучения: очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

1	КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....	3
1.1	Лекция № 1 Расчёт передач.....	3
1.2	Лекция №2 Расчёт передач.....	4
1.3	Лекция 3 Расчёт валов и подбор подшипников качения.....	6
1.3	Лекция 4 Расчёт упругих элементов конструкций.....	8
1.5	Лекция 5 Расчёт и проектирование привода произвольной структуры...	9
1.6	Лекция 6 Расчёт и проектирование пространственных конструкций.....	11
1.7	Лекция 7 Расчёт и проектирование балочных конструкций.....	13
1.8	Лекция 8 Система управления базами данных.....	15
2.	2. Методические указания по проведению практических занятий.....	17
2.1	Практическое занятие 1 Расчёт передач.....	17
2.2	Практическое занятие 2 (Пр-2) Расчёт передач.....	17
2.3	Практическое занятие 3 Расчёт валов и подбор подшипников качения..	20
2.4	Практическое занятие 3 Расчёт валов и подбор подшипников качения..	20
2.5	Практическое занятие 5 (Пр-5) Расчёт упругих элементов конструкций	24
2.6	Практическое занятие 6 Расчёт и проектирование привода произвольной структуры.....	26
2.7	Практическое занятие 7 Расчёт и проектирование пространственных конструкций.....	28
2.8	Практическое занятие 8 Расчет и проектирование балочных конструкций.....	32
2.9	Практическое занятие 9 Система управления базами данных.....	35

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1 Лекция № 1

### Тема «Расчёт передач»

#### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Общие сведения о зубчатых передачах
2. Общие сведения о конических передачах
3. Общие сведения о червячных передачах

#### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Общие сведения о зубчатых передачах

###### 1.1 Назначение и классификация механических передач

**Передачей** называется механизм, преобразующий параметры движения двигателя в процессе передачи его к исполнительным органам машины. **Параметры движения:** направление, скорость, силы, моменты.

Передаточное отношение и передаточное число

**Передаточное отношение** - отношение угловых скоростей и частот вращения ведущего вала к ведомому и наоборот.

**Передаточное число** - отношение угловых скоростей и частот вращения ведущего вала к ведомому.

###### 1.2 Зубчатые передачи

###### Общие сведения о зубчатых передачах

Принцип действия зубчатой передачи основан на зацеплении пары зубчатых колес.

Зубчатые передачи служат для передачи движения между валами, оси которых параллельны, пересекаются, перекрещиваются.

Передача движения между параллельными валами осуществляется цилиндрическими колесами внешнего и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями, а также шевронными.

###### 1.3 Геометрия зубчатых передач

Основным кинематическим условием, которому должны удовлетворять профили зубьев, является постоянство мгновенного передаточного отношения передачи. Этому условию удовлетворяют многие классы кривых.

Для обеспечения высокого КПД, прочности и долговечности колес профили должны обеспечивать малые скорости скольжения и достаточные радиусы кривизны в точках контакта. Профили должны быть просты в изготовлении, в частности нарезание простым инструментом независимо от числа зубьев колес.

###### Кинематика зубчатых передач

Окружная скорость в зацеплении.

##### 2. Общие сведения о конических передачах

###### 2.1 Геометрия конических передач

Конические передачи предназначены для передачи движения между валами, оси которых пересекаются (обычно под прямым углом), бывают с прямыми, косыми и круговыми зубьями. Эксплуатируются при  $v = 2 \dots 3$  м/с.

## 2.2 Силы, действующие в зацеплении прямозубой конической передачи

Силы, действующие в зацеплении прямозубой конической передачи

В зацеплении конической передачи действуют силы: *окружная* –  $F_t$ , *радиальная* –  $F_r$ , *осевая* –  $F_a$

## 2.3 Расчет конической передачи на изгиб зуба

При расчете на изгиб зуба используем формулу для расчета прямозубых

$$\text{цилиндрических передач } \sigma_F = \frac{\omega_{Ft} \cdot Y_F}{m} \leq [\sigma_F], \text{ МПа,}$$

Согласно опытным данным нагрузочная способность конической прямозубой передачи составляет лишь около 0,85 цилиндрической.

## 3. Общие сведения о червячных передачах

Червячные передачи – это передачи *зацеплением с непосредственным контактом* витков червяка и зубьев червячного колеса (рис. 7.1). Червяк 1 – это винт с трапецеидальной или близкой к ней по форме резьбой. Червячное колесо является косозубым зубчатым колесом с зубьями особой дуговой формы. Такая форма зубьев обеспечивает увеличение их длины и прочности зубьев на изгиб.

### 3.2. Достоинства и недостатки червячных передач

#### 3.3. Типы червяков

*По форме* тела червяки разделяются на *цилиндрические, глобоидные и тороидные*. Наибольшее применение находят цилиндрические червяки как более простые в изготовлении и обеспечивающие достаточно высокую нагрузочную способность.

#### 3.3. Критерии работоспособности червячных передач

Причины выхода из строя червячных передач (в порядке убывания частоты проявления отказов): износ, заедание, пластическая деформация, усталостная поломка зубьев колеса.

#### 3.5 Материалы червяка и червячного колеса

Изготовление и червяка и колеса из твердых материалов не обеспечивает достаточной износостойкости и сопротивления заеданию. Поэтому одну из деталей передачи выполняют из антифрикционного материала (материала, хорошо сопротивляющегося заеданию и износу).

## 1.2 Лекция №2

### Тема: «Расчет передач»

#### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Общие сведения о ремённых передачах
2. Общие сведения о цепных передачах

#### 1.2.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Общие сведения о ремённых передачах

##### 1.1. Общие сведения

Ременные передачи – это передачи *гибкой связью* (рис. 9.1), состоящие из ведущего 1 и ведомого 2 шкивов и надетого на них ремня 3. В состав передачи могут также входить натяжные устройства и ограждения. Возможно применение нескольких ремней и нескольких ведомых шкивов. Основное *назначение* – передача механической энергии от двигателя передаточным и исполнительным механизмам, как правило, с понижением частоты вращения.

### 1.2. Классификация передач

По *принципу работы* различаются передачи трением (большинство передач) и зацеплением (зубчатоременные). Передачи зубчатыми ремнями по своим свойствам существенно отличаются от передач трением и рассматриваются особо в 9.14.

Ремни передач трением *по форме поперечного сечения* разделяются на плоские, клиновые, поликлиновые, круглые, квадратные.

### 1.3. Достоинства и недостатки ременных передач трением

#### 1.4. Конструкция и материалы ремней

Ремни должны обладать высокой прочностью при переменных напряжениях, износостойкостью, максимальным коэффициентом трения на рабочих поверхностях, минимальной изгибной жесткостью.

### 1.5. Основные геометрические соотношения

При проектировании ременных передач определяют (рис. 9.4): угол  $\gamma$  между ветвями ремня, угол  $\alpha_1$  охвата ремнем малого шкива, длину ремня  $L$  и при использовании бесконечных ремней – межосевое расстояние  $a$ .

### 1.6. Взаимодействие ремня со шкивами, критерии расчета ременных передач

Передача работает с неизбежным упругим скольжением ремня по шкивам, так как силы натяжения ведущей  $F_1$  и ведомой  $F_2$  ветвей ремня при передаче полезной нагрузки различны (рис. 14.5). Тогда по закону Гука различно и относительное удлинение ветвей  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ .

### 1.7. Кинематика ременных передач.

Окружные скорости (м/с) на шкивах

$$v_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \cdot 1000} \text{ и } v_2 = \frac{\pi d_2 n_2}{60 \cdot 1000},$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры ведущего и ведомого шкивов, мм;  $n_1$  и  $n_2$  – частоты вращения шкивов, мин<sup>-1</sup>.

### 1.8. Силы и напряжения в ремне

### 1.9. Расчет ременной передачи по тяговой способности, КПД передачи

## 2. Общие сведения о цепных передачах

Цепные передачи – это передачи *закреплением и гибкой связью*, состоящие из ведущей 1 и ведомой 2 звездочек и охватывающей их цепи 3. В состав передачи также часто входят натяжные и смазочные устройства, ограждения. Возможно применение нескольких ведомых звездочек.

### 2.2. Достоинства и недостатки цепных передач

### 2.3. Типы цепей

Цепи *по назначению* разделяются на три группы:

- 1.грузовые – используют для закрепления грузов;
- 2.тяговые – применяют для перемещения грузов в машинах непрерывного транспорта (конвейерах, подъемниках, эскалаторах и др.);
- 3.приводные – используют для передачи движения.

#### 2.4. Критерии работоспособности цепных передач

#### 2.6. Материалы и термическая обработка деталей цепей

Пластины цепей должны обладать высоким сопротивлением усталости, поэтому их изготавливают из среднеуглеродистых качественных или легированных сталей 40, 45, 50, 40Х, 40ХН, 30ХН3А, термообработка – объемная закалка с низким отпуском, твердость обычно 40...50HRC<sub>Э</sub>.

#### 2.7. Основные параметры цепных передач

**Мощности**, для передачи которых применяют цепные передачи, изменяются от долей до сотен киловатт, обычно до 100 кВт; **межосевые расстояния** достигают 8 м.

**Частоты вращения звездочек и скорость цепи** ограничиваются величиной силы удара в зацеплении, износом шарниров и шумом передачи. Скорость цепи обычно до 15 м/с, но в передачах высокого качества при эффективном смазывании достигает 35 м/с.

#### 2.8. Расчет цепных передач

**Предварительный расчет** начинают с определения величины статической разрушающей силы проектируемой цепи

#### 2.9. Силы, действующие в ветвях передачи

В ведущей ветви цепи в процессе стационарной работы передачи действует постоянная

сила  $F_1$ , состоящая из

окружной силы  $F_t$  и силы натяжения ведомой ветви  $F_2$ .

$$F_1 = F_t + F_2$$

### 1.3 Лекция №3

#### Тема: «Расчёт валов и подбор подшипников качения»

##### 1.3.1 Вопросы лекции:

1. Общие сведения о валах
2. Силы, действующие на валы
3. Общие сведения о подшипниках качения
1. Общие сведения о валах

##### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

##### 1. Общие сведения о валах

###### 1.1. Назначение

**Валы** - детали, предназначенные для передачи крутящего момента вдоль своей оси и для поддержания вращающихся деталей машин. Вал воспринимает силы, действующие на детали, и передает их на опоры. При работе вал испытывает изгиб и кручение.

###### 1.2. Классификация.

По назначению, по форме оси, по форме поперечного сечения

### 1.3. Конструктивные элементы валов и осей.

Опорная часть вала или оси называется *цапфой*. Концевая цапфа называется *шипом*, а промежуточная – *шейкой*.

### 1.4. Материалы и термообработка.

**Выбор материала** и термической обработки валов и осей определяется критериями их работоспособности.

Основными материалами для валов и осей служат углеродистые и легированные стали благодаря высоким механическим характеристикам, способности к упрочнению и легкости получения цилиндрических заготовок прокаткой.

Для большинства валов применяют среднеуглеродистые и легированные стали 45, 40Х. Для высоконапряженных валов ответственных машин применяют, легированные стали 40ХН, 40ХНГМА, 30ХГТ, 30ХГСА и др. Валы из этих сталей обычно подвергают улучшению, закалке с высоким отпуском или поверхностной закалке с нагревом ТВЧ и низким отпуском.

Для изготовления фасонных валов - коленчатых, с большими фланцами и отверстиями - и тяжелых валов наряду со сталью применяют высокопрочные чугуны (с шаровидным графитом) и модифицированные чугуны.

## 2. Силы, действующие на валы. Расчеты валов и осей.

Валы испытывают действие напряжений изгиба и кручения, оси - только изгиба.

В процессе работы валы испытывают значительные нагрузки, поэтому для определения оптимальных геометрических размеров необходимо выполнить комплекс расчетов, включающий в себя определение:

- статической прочности;
- усталостной прочности;
- жесткости при изгибе и кручении.

## 3. Общие сведения о подшипниках качения

### 3.1. Общие сведения

Подшипники качения представляют собой законченный узел, основными элементами которого являются тела качения - шарики или ролики, установленные между кольцами и удерживаемые на определенном расстоянии друг от друга обоймой, называемой сепаратором. В процессе работы тела качения катятся по беговым дорожкам колец, одно из которых в большинстве случаев неподвижно

### 3.2. Достоинства и недостатки подшипников качения

Достоинства: 1. Сравнительно малая стоимость, вследствие массового производства подшипников.

### 3.3. Классификация подшипников качения и их маркировка

Подшипники качения классифицируются по признакам:

- направлению воспринимаемой нагрузки относительно оси вала (радиальные, радиально-упорные, упорные);
- форме тел качения (шариковые, роликовые причем последние могут быть с цилиндрическими, коническими, бочкообразными, игольчатыми и витыми роликами);
- числу рядов тел качения (однорядные, двухрядные, четырехрядные, многорядные);

### 3.4. Материалы подшипников качения

Тела качения и кольца изготавливают из высокопрочных шарикоподшипниковых хромистых сталей ШХ 15 и других с термообработкой и последующим шлифованием и полированием. Твердость закаленных тел качения и колец HRC 61...66.

Сепараторы чаще штампуют из листовой стали. Для высокоскоростных подшипников сепараторы изготавливают массивными из бронзы, латуни, легких сплавов или пластмасс.

### 3.5. Выбор типа подшипника

Выбор типа подшипника зависит от его назначения, направления и величины нагрузки, угловой скорости, режима работы, стоимости подшипника и особенностей монтажа.

### 3.6. Расчет (подбор) подшипников качения на долговечность

Расчет на долговечность радиальных и радиально-упорных подшипников основан на динамической грузоподъемности  $C$  подшипника, представляющей собой постоянную радиальную нагрузку (а для упорных и упорно-радиальных подшипников осевую нагрузку), которую подшипник может выдержать в течение  $10^6$  оборотов.

3.7. Последовательность расчета (подбора) подшипников качения на долговечность  
*Исходные данные:* 1. Расчетная схема вала с величиной и направлением нагрузок.

2. Угловая скорость вала  $\omega$ .

3. Диаметр цапф вала  $d$ .

4. Условия работы подшипникового узла.

Последовательность расчета: 1. Определяют радиальные опорные реакции в вертикальной  $F_B$  и горизонтальной  $F_G$  плоскостях, а затем суммарные реакции  $F_r$  для каждой опоры:

$$F_r = \sqrt{F_B^2 + F_G^2}.$$

2. Выбирают тип подшипника, исходя из условий работы, действующих нагрузок и намечаемой конструкции подшипникового узла.

По каталогу-справочнику, ориентируясь на легкую серию, по диаметру цапфы подбирают подшипник и характеризующие его значения динамической  $C$  и статической  $C_0$  грузоподъемности.

Для радиально-упорных подшипников определяют осевые составляющие  $F_s$  от радиальных нагрузок, а затем расчетную осевую нагрузку

## 1.4 Лекция №4

### Тема: «Расчет упругих элементов конструкций»

#### 1. Общие сведения о пружинах

##### 2. Виды пружин

#### 1. Общие сведения о пружинах

**Пружина** — упругий элемент, предназначенный для накапливания или поглощения механической энергии. Пружина может быть изготовлена из любого материала, имеющего

достаточно высокие прочностные и упругие свойства (сталь, пластмасса, дерево, фанера, даже картон).

Стальные пружины общего назначения изготавливают из высокоуглеродистых сталей (У9А-У12А, 65, 70), легированных марганцем, кремнием, ванадием (65Г, 60С2А, 65С2ВА). Для пружин, работающих в агрессивных средах, применяют нержавеющую сталь (12Х18Н10Т), бериллиевую бронзу (БрБ-2), кремнемарганцевую бронзу (БрКМц3-1), оловянноцинковую бронзу (БрОЦ-4-3), титановые (ВТ-16) и никелевые сплавы (А-286, INCONEL, ELGILOY).

Небольшие пружины можно навивать из готовой проволоки, в то время как мощные изготавливаются из отожжённой стали и закаляются уже после формовки.

## 2. Виды пружин

Витая цилиндрическая пружина сжатия

Тарельчатые пружины

Место установки тарельчатых пружин

### **По виду воспринимаемой нагрузки:**

- пружины сжатия;
- пружины растяжения;
- пружины кручения;
- пружины изгиба.

*Пружины растяжения* — рассчитаны на увеличение длины под нагрузкой. В ненагруженном состоянии обычно имеют сомкнувшиеся витки. На концах для закрепления пружины на конструкции имеются крючки или кольца.

*Пружины сжатия* — рассчитаны на уменьшение длины под нагрузкой. Витки таких пружин без нагрузки не касаются друг друга. Концевые витки поджимают к соседним и торцы пружины шлифуют. Длинные пружины сжатия, во избежание потери устойчивости, ставят на оправки или стаканы. Волновые пружины, навитые из синусоидальной металлической ленты, отличаются более высокой устойчивостью благодаря соприкасающимся вершинам волн соседних витков.

Также *пружина Бурдона* — трубчатая пружина в манометрах для измерения давления, играющая роль чувствительного элемента.

Витки пружин растяжения-сжатия под действием постоянной по величине силы испытывают напряжения двух видов: изгиба и кручения.

*Пружины кручения* — могут быть двух видов:

- торсионные — стержень, работающий на кручение (имеет большую длину, чем витая пружина)
- витые пружины, работающие на кручение (как в бельевых прищепках, в мышечках и в канцелярских дыроколах).

### **По конструкции:**

- витые цилиндрические (винтовые);
- витые конические (амортизаторы);
- спиральные (в балансе часов);
- плоские;
- пластинчатые (например, рессоры);
- тарельчатые;
- волновые;
- торсионные;
- жидкостные;
- газовые.

## 1.5 Лекция №5

### Тема: «Расчёт и проектирование привода произвольной структуры»

#### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Общие сведения о приводах
2. Разновидности схем редукторов
1. Общие сведения о приводах

#### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Общие сведения о приводах**

**Приводом** называется совокупность механизмов, передающих движение от источника энергии (двигателя) до элемента выполняющего заданное движение, т.е. к рабочим или, иначе говоря, исполнительным органам.

**В привод входят:** двигатель, механизм изменения передаточного отношения, механизмы включения, выключения и реверсирования движения.

По способу изменения скорости движения рабочих органов приводы подразделяют на:

- 1 Ступенчатые
- 2 Бесступенчатые

**Ступенчатое** изменение скорости движения обеспечивается :

- Коробками скоростей и подач
- ступенчатыми шкивами
- электроприводом в виде многоскоростных асинхронных электродвигателей переменного тока.

**Бесступенчатое регулирование движения:**

- электроприводом постоянного тока
- гидроприводом
- комбинированным приводом.

В свою очередь, в зависимости от того посредством чего (рабочего тела) осуществляется передача и преобразование движения различают следующие типы приводов:

1. Электропривод
2. Механический привод
3. Гидропривод
4. Пневмопривод
5. Комбинированный привод (гидромеханический, гидро - электрический, пневмо - гидравлический и т.д.).

**Электропривод** осуществляет передачу движения к рабочим органам станка с помощью электрического тока.

**Механический привод** передача движения осуществляется посредством твердых тел (механических передач: ременных, фрикционных, зубчатых и т.п.).

**Гидропривод и пневмопривод** осуществляет передачу движения посредством рабочей жидкости, находящейся под избыточным давлением или сжатого воздуха.

**Комбинированный привод** включает в себя элементы двух и более типов приводов.

#### **2. Разновидности схем редукторов**

**Редукторы** - продукция материально-технического назначения. Эти механизмы служат для изменения скорости вращения при передаче вращательного движения от одного вала к другому.

Мотор редуктор - представляет собой электродвигатель и редуктор, соединенные в единый агрегат (в некоторых странах его называют редукторным электродвигателем). Мотор-редуктор более компактен по сравнению с приводом на базе редуктора, его монтаж значительно проще, кроме того, уменьшается материалоемкость фундаментной рамы, а для механизма с насадным исполнением (с полым валом) не требуется никаких рамных конструкций. Большое количество конструкционных решений и типоразмеров дает возможность оснащения предприятий прецизионными редукторами приводов различных назначений, размеров и мощностей. Мотор редуктор, как универсальный элементы электропривода, находят свое применение практически во всех областях промышленности.

**По типу передачи они делятся на зубчатые, червячные и гидравлические.**

**Мотор редуктор** - представляет собой электродвигатель и редуктор, соединенные в единый агрегат (в некоторых странах его называют редукторным электродвигателем). Мотор-редуктор более компактен по сравнению с приводом на базе редуктора, его монтаж значительно проще, кроме того, уменьшается материалоемкость фундаментной рамы, а для механизма с насадным исполнением (с полым валом) не требуется никаких рамных конструкций. Большое количество конструкционных решений и типоразмеров дает возможность оснащения предприятий прецизионными редукторами приводов различных назначений, размеров и мощностей. Мотор редуктор, как универсальный элементы электропривода, находят свое применение практически во всех областях промышленности.

Наибольшее распространение в промышленности получили **планетарные и цилиндрические мотор-редукторы**, выполненные по соосной схеме взаимного расположения электродвигателя и выходного вала. А также **червячные мотор-редукторы** с расположением электродвигателя под 90град. к выходному валу.

**К мотор-редукторам общемашиностроительного применения относят:**

- цилиндрические мотор-редукторы (1МЦ2С, 4МЦ2С),
- планетарные мотор-редукторы (3МП, МПО-1М, МПО-2М, МП1, МП2, МП3),
- спироидные мотор-редукторы,
- червячные и цилиндрическо-червячные мотор-редукторы (МЧ, UD-RV (аналог NMRV), МЧ2, DRV),
- волновые мотор-редукторы (МВз-80, МВз-160),
- мотор-редукторы специального назначения.

## 1.6 Лекция №6

**Тема: «Расчёт и проектирование пространственных конструкций»**

**1.6.1 Вопросы лекции:**

1. Статический расчёт
2. Расчётные сочетания усилий (РСУ)
3. Расчёт устойчивости
4. Расчёт на собственные частоты
5. Тепловой расчёт

### **1.6.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Статический расчёт**

Статический расчет основан на матричном методе перемещений, целью которого является определение неизвестных перемещений узлов конструкции. Основным уравнением для решения является уравнение равновесия  $K x F$ , где  $K$  – матрица жесткости системы,  $F$  – вектор внешних силовых факторов,  $x$  – вектор неизвестных узловых перемещений. Размерность системы представляет собой количество степеней свободы конструкции. В общем случае в каждом узле 6 степеней свободы (3 линейных перемещения и 3 угла поворота). После решения данной системы, т.е. нахождения перемещений, находятся все остальные неизвестные параметры конструкции: деформации, усилия в элементах, напряжения и т.д.

В статическом расчете схема конструкции считается недеформированной, при этом продольные силы в стержнях и усилия в плоскости пластин не влияют на величины изгибающих моментов.

#### **2. Расчётные сочетания усилий (РСУ)**

Определение расчетных сочетаний усилий (РСУ) производится только для стержневых конструкций. Целью РСУ является определение для каждого стержня таких комбинаций из существующих загружений, при реализации которых определенные величины достигают экстремумов. При этом рассматривается группа из 30 критериев, включающих в себя значения нормальных и касательных напряжений в характерных точках сечения, а также осевой и перерезывающей сил. Принципы подбора наборов сочетаний и коэффициентов, с которыми комбинации входят в загружения, соответствуют изложенным в п. 1 СНиП-2.01.07-85. Сам расчет представляет собой перебор для каждого стержня всех комбинаций загружений и нахождение значений критериев в результате действия сил из этих загружений. Далее из этих значений критериев выбирается экстремальное, которое, совместно с комбинацией, на которой это значение реализовалось, и является результатом расчета для данного стержня (и данного критерия). Результаты расчёта могут быть использованы при расчёте несущей способности конструктивных элементов.

#### **3. Расчет устойчивости**

Расчет на устойчивость (по Эйлеру) относится к конструкциям, все элементы которых под действием заданной нагрузки находятся в безызгибном состоянии, т.е. работают на растяжение – сжатие. Для каждой конструкции при заданной схеме нагружения существует определенная величина нагрузки, при которой исходная форма равновесия становится неустойчивой. Становится возможным другое деформированное состояние, также являющееся состоянием равновесия. Выход системы из первоначального состояния равновесия мы называем потерей устойчивостью по Эйлеру. Нагрузка, при которой возможно существование новой устойчивой формы называется критической нагрузкой.

При расчете конструкций нагрузка приводится к узлам. Вектор узловых сил  $P$  представляется в виде  $P = p F$ , где  $p$  – скалярная величина, называемая *параметром нагружения*,  $F$  – вектор внешней нагрузки. Таким образом, рассматривается простое нагружение, при котором все нагрузки изменяются пропорционально одному параметру

нагружения  $p$ .

Результатом расчета является коэффициент запаса устойчивости, показывающий, во сколько раз нужно увеличить внешнюю нагрузку (все силовые факторы одновременно), чтобы система потеряла устойчивость и форма потери устойчивости. Расчет на устойчивость выполняется вместе со статическим расчётом, поскольку для его проведения необходимо знать осевые усилия в стержнях и напряжения в плоскости пластин, которые рассчитываются в статическом расчете. Расчет устойчивости (по Эйлеру) так же как и статический расчет ведется по недеформированной схеме конструкции.

#### 4. Расчет вынужденных колебаний

При расчете на вынужденные колебания считается, что конструкция подвержена действию силовых факторов, изменяющихся во времени по определенному закону. Основным уравнением, описывающим поведение системы, является уравнение равновесия:

$$M \ C \ K \ P(t),$$

где  $M$  - матрица масс системы,  $C$  - матрица демпфирования,  $K$  - матрица жесткости, - вектор узловых перемещений конструкции,  $P(t)$ - вектор внешней нагрузки, зависящий от времени.

Для приближенного учета демпфирования матрица  $C$  представляется в виде линейной комбинации матриц  $K$  и  $M$  :

$$C = \alpha K + \beta M,$$

где коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  подбираются таким образом, чтобы при различных собственных частотах декременты колебаний были постоянны. Этим обеспечивается частотно-независимое демпфирование, характерное для многих строительных материалов и конструкций.

Согласно записи уравнения равновесия все силовые факторы изменяются по одному закону. При решении этой задачи используется метод разложения решения в ряд по собственным формам колебания конструкции.

#### 5. Тепловой расчет

Тепловой расчет рассматривается в стационарной постановке. Расчет заключается в определении значений температур (поля температур) в модели по заданным температурам в конкретных узлах (краевое условие). Полученное поле температур можно использовать для учета термонапряжений в рамках статического расчета, вызванных рассчитанным полем температур. Для этого тепловой расчет нужно выполнить перед или одновременно со статическим расчетом.

Для расчета необходимо указать значения температур в требуемых узлах. Результатом расчета являются, температуры в узлах конструкции.

### **1.7.1 Вопросы лекции:**

1. Назначение и классификация балок
2. Расчет балок и стержней
  - 2.1 Расчет статической прочности
  - 2.2. Расчет жесткости
  - 2.3. Расчет динамических характеристик

### **1.7.2 Краткое содержание вопросов**

#### **1. Назначение и классификация балок**

Твердое тело, поперечные размеры которого много меньше продольных, называется **бруском**.

Брус с прямолинейной осью называется **стержнем**, а конструкция, состоящая из совокупности стержней, называется **стержневой**. Стержневые конструкции нагружаются преимущественно напряжениями растяжения и сжатия. Они могут воспринимать также и крутящий момент.

Стреки круглого поперечного сечения, передающие преимущественно крутящий момент, называются **валами**.

Если прямолинейные брусья нагружены преимущественно изгибающим моментом, то они называются **балками**.

#### **2. Расчет балок и стержней**

Критерии, используемые при расчете балок:

1. статическая прочность;
2. жесткость при изгибе, кручении и растяжении(сжатии);
3. статическая устойчивость;
4. динамическая устойчивость.

#### **2.1 Расчет статической прочности**

Расчет статической прочности является проверочным. Для балки заданной формы вычисляются значения наибольших эквивалентных напряжений в поперечном сечении и изменения этих напряжений по длине. Как правило, форма и геометрические размеры балки определяются из конструктивных соображений. Расчет должен подтвердить или опровергнуть предложенную конструктором конструкцию с точки зрения статической прочности. Заметим, что статическая прочность не является единственным критерием проверки правильности выбора конструкции . Окончательный вывод может быть сделан только при проверке всех критериев.

Балки изготавливаются из стали, механические характеристики которой определяют величину запаса прочности при заданном нагружении. Таким образом, цель расчета балки может быть сформулирована как определение таких значений механических характеристик материала балки (стержня), которые обеспечивают заданные значения коэффициентов запаса прочности при заданном нагружении.

Если в каждом сечении балки напряжения одинаковы по величине, то такая балка (стержень) называется *равнопрочной*. В силу ряда причин создать равнопрочную конструкцию на практике невозможно, но чем ближе фактические напряжения к средним, тем лучше будет использоваться материал проектируемой конструкции.

В качестве исходных данных при расчете статической прочности, помимо геометрических характеристик, должны быть заданы нагрузки. В модуле *APM Beam* к ним относятся:

- сосредоточенные и распределенные радиальные силы;

- осевые силы;
- изгибающие моменты;
- моменты кручения.

Необходимо также указать условия закрепления балки, задав конечное число опор (количество опор не должно превышать пятидесяти). Кроме того, допускается жесткое закрепление крайних поперечных сечений слева и справа либо с одной из сторон.

Если жесткое закрепление отсутствует, то при приложении осевой нагрузки следует следить за выполнением условия осевого равновесия, а при приложении момента кручения нужно проверить выполнение условия равновесия от моментов кручения. В случае, если сумма сил в осевом направлении не будет равной нулю, то наличие осевых сил будет проигнорировано. Если при отсутствии жесткого закрепления сумма моментов не равна нулю, то наличие моментов кручения будет также проигнорировано.

## 2.2 Расчет жесткости

В некоторых случаях важным критерием, обуславливающим пригодность предложенной конструкции балки (стержня), является **жесткость**. Напомним, что под жесткостью понимается нагрузка, вызывающая единичную деформацию (в принятой системе единиц измерения).

Расчет жесткости в модуле *APM Beam* включает в себя определение перемещений, возникающих под действием приложенной нагрузки. Для расчета радиальных перемещений используется метод интеграла Мора. В соответствии с характером нагрузки жесткость делится на изгибную, крутильную и осевую. В *APM Beam* Вы можете рассчитать каждую из этих жесткостей, причем результаты расчета выводятся в виде графика изменения деформации вдоль оси в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В некоторых случаях бывает необходимо определить углы поворота поперечных сечений балки и параметры кручения, полученные дифференцированием кривой перемещений. *APM Beam* позволяет провести такие расчеты. Деформации кручения определяются методом конечных элементов. Условие жесткости считается выполненным, если фактические перемещения и углы наклона рассматриваемых сечений не превышают максимально допустимых значений. Величины допустимых значений зависят от назначения проектируемого оборудования и требуемой точности.

## 2.3 Расчет динамических характеристик

При расчете нежестких балок и балок, работающих при циклическом нагружении, возникает задача определения собственных частот изгибных и крутильных колебаний.

*APM Beam* позволяет рассчитать как абсолютные значения собственных частот, так и собственные формы.

В основу определения собственных частот в *APM Beam* положен метод начальных параметров. При расчете изгибных колебаний учитывается как собственная масса балки, так и инерция поворота сечения балки.

При расчете учитываются также внешние массы, к которым относятся массы и осевые моменты инерции. При расчете крутильных колебаний предполагается, что моменты инерции описывают тела вращения (для которых осевой момент инерции в два раза меньше, чем полярный).

## 1.8. Лекция №8

Тема: «Система управления базами данных»

### 1.8.1 Вопросы лекции:

1. Открытие/Создание базы данных
2. Объекты базы данных
3. Базы данных APM WinMachine

4. Работа со структурой базы данных
5. Открытые объекты базы данных

### 1.8.2 Краткое содержание вопросов

#### 1. Открытие/Создание базы данных

Запуск *APM Base* осуществляется соответствующей командой меню *Windows Пуск | Программы | APM WinMachine | APM Base*. Группа *APM WinMachine* создается при установке системы. Запуск *APM Base* возможен также из группы *Базы данных* оболочки *APM Integrator*. Ярлык *APM Integrator* размещается после установки *APM WinMachine* на рабочем столе. Выполнение данных команд приведет к открытию основного окна *APM Base*.

После того, как основное диалоговое окно базы данных открыто, следует открыть необходимые для работы базы данных. Для открытия конкретной базы данных(или всех сразу), а также для создания пользовательской базы данных следует нажать кнопку «*Открыть базу*», находящуюся в левом верхнем углу основного окна базы данных. После нажатия этой кнопки у пользователя откроется диалоговое окно *Менеджер баз данных*

#### 2. Объекты базы данных

После создания новой базы данных пользователю предстоит ее наполнить. Для этого, нажав правую клавишу мыши в дереве базы данных, выберете в появившемся контекстном меню один из пунктов.

 Возможен также импорт данных из *APM Base* базы данных используя соответствующую команду контекстного меню.

В окне *APM Base*, в его левой части, показывается структура открытой базы данных, ее дерево. Структура состоит из следующих объектов:

-  *Папки*, имеющие то же значение, что и папка (директория) в системе *Windows*. В редакторе базы данных возможен только просмотр содержимого конкретной папки. Папка обозначается стандартным значком, принятым в системе *Windows*.
-  *Группы объектов* — объект базы данных, в составе которого могут находиться только параметрические модели. К группе объектов относятся, например параметрические модели одного и того же устройства, например болта (см. раздел крепежные элементы механической базы данных), но представляющие ее различные виды (вид спереди, вид слева, разрез и т.п.). С числовыми параметрами группы моделей работают различные расчетные программы. В редакторе базы данных возможно также открыть группу объектов(как папку) и посмотреть какие модели входят в ее состав. В группу нельзя объединить модели, если одна и та же переменная в них имеет разные выражения или в данных моделях содержится разное число строк.

#### 4. Базы данных APM WinMachine

Базы данных, поставляемые с системой *APM WinMachine* содержат параметрические модели стандартных элементов; модели, используемые расчетными модулями системы для построения параметризованных чертежей; исходные табличные данные расчетных модулей(выбор данных для расчета подшипников качения, данные для *APM Technology Data...*); табличные данные по метрологии, шероховатости, обозначению сварных соединений... для *APM Graph*.

Все параметрические модели баз данных в чертежном редакторе *APM Graph* могут быть непосредственно вставлены в чертеж. Для этого служит команда *APM Graph Рисовать | Блок |  Вставить* объект из базы данных. Помимо геометрического контура параметрические модели содержат некоторые характеристические данные, например мощность, номинальная частота вращения, КПД электродвигателей; динамическая и статическая грузоподъемность подшипников и т.д. Наличие такого рода информации позволяет пользоваться базой данных как справочником.

#### 4. Работа со структурой базы данных

Работа со структурой базы данных предполагает собой перенос различных объектов из одного места базы данных в другое. Все вышеперечисленные объекты базы данных могут вместе со всем своим содержимым

- ПЕРЕНЕСЕНЫ в другое место(в другую папку, группу объектов) базы данных,
- СКОПИРОВАНЫ в любой другой объект базы данных.

Выполнения этих операций возможно, если это не противоречит логике работы с базой.

#### *Замечание.*

Под логикой работы с базой понимается то, какие объекты могут входить в состав других объектов. В соответствии с логикой в состав группы объектов могут входить только параметрические модели, и там не может быть ни эскиза, ни таблицы. Эта логика учитывается при возможности переноса или копирования объектов базы.

Аналогично, объект рисунок может входить в состав как таблицы, так и располагаться отдельно в базе данных; он не может входить в состав, например, группы объектов.

Для того, чтобы переместить объекты из одного места базы данных в другое достаточно просто, зажав левую кнопку мыши, «перетащить» требуемый объект в нужное место базы данных. В этом случае перемещаемый объект удалится в своем предыдущем месте и появится в составе того объекта, куда его переместили.

#### 5. Открытые объекты базы данных

Для открытия конкретного объекта базы данных необходимо:

1. выделить нужный объект из структуры открытой базы данных и...
2. сделать на этом элементе двойной щелчок левой кнопкой мыши или нажать клавишу «Enter» на клавиатуре.

После этих операций выбранный объект откроется в отдельном диалоговом окне, располагающемся справа от структуры открытой базы данных. Пользователь может одновременно открыть любое число объектов, причем каждый из них будет открыт в отдельном окне, исключение составляют файлы *APM Graph*, которых не может быть открыто более 20. Переключение между открытыми объектами осуществляется посредством вкладок, расположенных в верхней части окна просмотра объекта.

#### 2. Методические указания по проведению практических занятий

##### 2.1 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1-2 (4 часа)

Тема: «Проектирование и расчет передач вращения»

###### 2.1.1 Вопросы к занятию:

1. Основные положения
2. Как работать с системой APM Trans
3. Запуск программы
4. Выбор типа передачи
5. Выбор типа расчета
6. Ввод исходных данных
7. Выполнение расчета
8. Сохранение данных и результатов в файл
9. Просмотр результатов расчетов
10. Типы расчетов

### **2.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

#### **Основные положения**

Модуль *APM Trans* предназначен для проектирования и расчета механических передач вращения. Название модуля образовано сокращением от английского слова «*transmission*»(передача).

Система предназначена для расчета и проектирования восьми наиболее часто используемых типов передач вращения:

- прямозубые передачи внешнего и внутреннего зацепления;
- косозубые передачи;
- шевронные передачи;
- конические передачи с круговым и прямым зубом;
- червячные передачи;
- плоскоременные передачи;
- клиноременные передачи;
- цепные передачи.

В системе *APM Trans* можно выполнить следующие виды расчетов:

- проектировочный расчет передачи;
- проверочный расчет передачи по моменту;
- проверочный расчет передачи по ресурсу.

С помощью *APM Trans* можно рассчитать следующие характеристики передач вращения:

- геометрические параметры передач;
- силы, действующие в передаче;
- долговечность;
- максимальную допустимую нагрузку;
- параметры контроля.

#### **Как работать с системой APM Trans**

Система *APM Trans* предоставляет пользователю удобный и интуитивно понятный интерфейс. Типичная последовательность действий при работе с системой *APM Trans* включает в себя следующие операции:

1. Запуск программы.
2. Выбор типа передачи.
3. Выбор типа расчета.
4. Ввод основных и дополнительных исходных данных.
5. Выполнение расчета.
6. Выбор результатов для просмотра.
7. Непосредственный просмотр результатов.
8. Задание необходимых конструктивных параметров для создания чертежей.
9. Выход в систему *APM Graph* для окончательной работы над чертежом.
10. Возврат в систему *APM Trans*.

## Запуск программы

Запуск *APM Trans* осуществляется соответствующей командой меню Windows **Пуск Программы | APM WinMachine | APM Trans**. Группа **APM WinMachine** создается при установке системы. Запуск *APM Trans* возможен также из группы *Инженерный анализ оболочки APM Integrator*. Ярлык **APM Integrator** размещается после установки **APM WinMachine** на рабочем столе.

## Выбор типа передачи

Для выбора типа передачи используйте команду **Тип | Тип Передачи**. В диалоговом окне, которое появится на экране выберите тип передачи, которую Вы хотите.

## Выбор типа расчета

В системе *APM Trans* реализован проверочный и проектировочный типы расчета передач. Для выбора типа расчета используется команда **Тип | Расчет | Тип Расчета**. **Тип Расчета** может принимать одно из трех значений: проектировочный, проверка по ресурсу, проверка по моменту.

## Ввод исходных данных

Для ввода исходные данные служит команда **Данные...** главного меню. В ответ на эту команду появляется диалоговое окно для ввода данных. Содержание этого окна зависит от типа передачи и от типа проводимого расчета.

Все исходные данные делятся на две группы «Основные данные», без которых невозможен расчёт передачи, и «Дополнительные данные», которые накладывают дополнительные ограничения при расчете. В ответ на команду **Данные** появляется диалоговое окно «Основные данные». Для вызова диалогового окна «Дополнительные данные» необходимо нажать кнопку *Ещё...*. Признаком установленного параметра является любое отличное от нуля значение. Это соглашение действует на все дополнительные параметры кроме установки коэффициентов смещения инструмента, которые могут иметь нулевое значение. При этом Вас попросят подтвердить их значения в случае равенства нулю. В случае если введённые данные лежат вне допустимых пределов, то система выдаст окно с предупреждением о некорректности параметра

## Выполнение расчета

После того как введены исходные данные, Вы можете провести вычисления, выбрав команду **Расчет** главного меню. Если система не может рассчитать передачу с указанными параметрами, она выдаст сообщение об ошибке. Измените значения исходных данных. В некоторых случаях после проведения расчетов появляется окно с предупреждением, что система проигнорировала какой-либо дополнительный параметр. Такое возможно либо по конструктивным соображениям (очень тонкое колесо, например), либо если указано слишком много дополнительных параметров (например, при расчете цилиндрической прямозубой передачи были одновременно заданы межосевое расстояние, модуль и коэффициент смещения инструмента колёс).

## Сохранение данных и результатов в файл

Для сохранения исходных данных передачи и результатов расчет служит команда **Файл | Сохранить**. При этом появляется диалоговое окно для сохранения информации в файл. Далее необходимо указать папку для сохранения результатов и имя файла. Команда **Сохранить** доступна только после определения начальных параметров передачи. Для

сохранения ранее открытых данных в файл под другим именем используется команда **Сохранить как....** Данная команда может быть использована для сохранения результатов серии расчетов при варьировании исходных данных. Кроме того, выбрав тип файла **Текст в формате \*.rtf** можно сохранить исходные данные и результаты в виде отчета формата **\*.rtf**. Файл отчета доступен для дальнейшего редактирования и может быть использован для обмена результатами между отделами предприятия и оформления пояснительной документации.

### **Просмотр результатов расчетов**

После того как был проведён расчёт, для просмотра результатов вычисления необходимо выбрать команду **Результаты** главного меню. По этой команде появляется диалоговое окно, содержащее кнопки, каждая из которых отвечает за демонстрации отдельной группы результатов. Содержимое окна зависит от типа передачи. Для облегчения выбора всех результатов в окнах, где групп результатов достаточно много, добавлены кнопки – **«Выделить всё»** и **«Отменить всё»**.

Каждая группа результатов при просмотре размещается в отдельном окне и снабжена поясняющей схемой. В окне присутствуют кнопки **Продолжить** и **«Прервать»**. Кнопка **«Прервать»** прерывает показ результатов и возвращает программу в то же состояние, какое было перед выполнением команды **Результаты**. Кнопка **«Продолжить»** закрывает текущее окно с результатами и вызывает следующее. Если текущее окно является последним в цепочке, то эта кнопка будет недоступна. Переход к следующему окну отображения результатов осуществляется нажатием кнопки **«Продолжить»**. Для прерывания показа результатов нажмите соответствующую кнопку **«Прервать»**. Указанная схема отображения результатов работает для всех типов передач.

### **Типы расчетов**

С помощью *APM Trans* можно выполнить следующие типы расчетов:

- проектировочный расчет передачи;
- проверочный расчет передачи по моменту;
- проверочный расчет передачи по ресурсу.

#### *Проектировочный расчет*

При проектировочном расчете пользователь задает значения таких параметров, как внешняя нагрузка, материалы, тип термообработки, кинематические характеристики, ресурс. Используя эти данные, *APM Trans* рассчитывает основные геометрические размеры передачи, основываясь на критериях усталостной прочности на изгиб и сопротивления выкрашиванию.

#### *Проверочный расчет*

С помощью проверочного расчета определяется нагрузочная способность передачи при заданных значениях параметров (геометрических размеров, характеристик конструкционных материалов и т.п.). Реализовано два вида проверочных расчетов:

- определение максимального момента при заданном ресурсе;
- определение ресурса при заданной нагрузке.

## **2.3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 (2 часа)**

### **Тема: «Проектирование и расчет валов»**

#### **2.3.1 Вопросы к занятию:**

1. Основные положения
2. Назначение и классификация валов

3. Критерии, используемые при расчете валов
  - 3.1 Расчет валов
  - 3.2 Расчет статической прочности
  - 3.3 Расчет вала на сопротивление усталости
  - 3.4 Расчет жесткости
  - 3.5 Расчет динамических характеристик вала

### **2.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

#### **Основные положения**

**APM Shaft** представляет собой систему для расчета и проектирования валов и осей, разработанную в НТЦ "Автоматизированное Проектирование Машин".

С помощью **APM Shaft** можно рассчитать следующие параметры:

- реакции в опорах;
- распределение поперечных сил;
- распределение моментов и углов изгиба;
- распределение моментов и углов кручения;
- распределение деформаций вала;
- распределение напряжений;
- распределение коэффициента запаса усталостной прочности;
- собственные частоты и формы изгибных и крутильных колебаний вала.

**APM Shaft** позволяет получить рабочий чертеж вала в формате **APM Graph (\*.agr)**, а также генерировать файл отчета в формате **\*.rtf**.

#### **Назначение и классификация валов**

Валы и оси служат для установки вращающихся деталей машин, таких как зубчатые колеса, шкивы, звездочки и т.п. Вал предназначен для поддержания расположенных на нем деталей и для передачи крутящего момента. При работе вал испытывает изгиб и кручение, а в отдельных случаях дополнительно растяжение и сжатие. Ось предназначена только для поддержания расположенных на ней деталей. В отличие от вала ось не передает крутящего момента и, следовательно, не испытывает кручения. Оси могут быть неподвижными или вращаться вместе с присоединенными к ним деталями.

#### **Расчет валов**

##### **Критерии, используемые при расчете валов**

В процессе работы валы испытывают значительные нагрузки, поэтому при определении оптимальных геометрических размеров валов необходимо выполнить комплекс расчетов, включающий в себя определение:

- статической прочности;
- усталостной прочности;
- жесткости при изгибе и кручении.

При высоких скоростях вращения необходимо определять частоты собственных колебаний вала для того, чтобы предотвратить попадание в резонансные зоны. Длинные валы проверяют на устойчивость.

#### **Расчет статической прочности**

Этот расчет является проверочным. С его помощью для вала заданной формы вычисляются значения коэффициентов запаса прочности. Как правило, форма и геометрические размеры вала определяются из конструктивных соображений. Расчет должен подтвердить или опровергнуть предложенную конструктором конфигурацию вала с точки зрения статической прочности. Заметим, что статическая прочность не является единственным критерием проверки правильности конструкции вала. Окончательный вывод может быть сделан только в результате проверки всех критериев (см. выше).

При расчете статической прочности вал рассматривается как круглая балка переменного сечения. Валы изготавливаются из стали, механические характеристики

которой определяют величину запаса прочности при заданном нагружении вала. Таким образом, цель расчета вала может быть сформулирована как определение таких значений механических характеристик материала вала, которые обеспечивают заданные значения коэффициентов запаса прочности при заданном нагружении вала.

Если в каждом сечении вала напряжения одинаковы по величине, то такой вал называется *равнопрочным*. В силу ряда причин спроектировать равнопрочный вал на практике невозможно, но чем ближе фактические напряжения к напряжениям, имеющим место для равнопрочного вала, тем лучше будет использоваться материал проектируемого вала.

При расчете статической прочности в качестве исходных данных, помимо геометрических характеристик, должны быть заданы действующие на вал нагрузки, такие как:

- сосредоточенные и распределенные радиальные силы;
- осевые силы;
- изгибающие и крутящие моменты;
- сосредоточенные массы и осевые моменты инерции.

Необходимо также указать условия закрепления вала, задав конечное число опор, причем количество опор не должно превышать пятидесяти.

При вводе моментов кручения следует следить за тем, чтобы соблюдалось условие равновесия по кручению. Если это условие не выполняется, система проигнорирует введенные моменты кручения.

Расчет статической прочности включает в себя определение моментов изгиба и кручения в выбранных сечениях вала, а также расчет напряжений изгиба и кручения. Прочность вала оценивается величиной эквивалентных напряжений, рассчитанных исходя из гипотезы максимальных касательных напряжений. В случае статически неопределеных валов расчет реакций опор выполняется методом сил.

Результаты расчета изгибающих моментов представляются в виде эпюров, построенных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Крутящие моменты и результаты расчета эквивалентных напряжений представляются в виде графиков изменения по длине вала. Статическая прочность считается достаточной, если коэффициент запаса составляет 1,3...1,5 и более. Под коэффициентом запаса понимается отношение предела текучести материала вала к величине эквивалентного напряжения в наиболее нагруженной точке. В качестве дополнительных параметров вычисляются величины реакций опор, которые необходимы для расчета сопряженных с валом деталей.

### ***Расчет вала на сопротивление усталости***

Вращение вала приводит к возникновению переменных по времени напряжений. В случае изменений приложенной к валу внешней нагрузки неравномерность напряжений еще более возрастает. Переменный характер напряжений приводит к появлению усталостных трещин, которые могут стать причиной разрушения. Разрушение начинается в наиболее напряженных точках вала.

Большую роль в возникновении и развитии разрушений играют местные напряжения. Эти напряжения появляются в местах размещения канавок, галтелей, шлицов, шпоночных пазов, резьб и т.п.

Расчет усталостной прочности производится исходя из номинальных напряжений изгиба и кручения, с учетом местных напряжений, действующих в рассматриваемой точке вала. Влияние местных напряжений учитывается введением коэффициентов концентрации напряжений; значения этих коэффициентов зависят от типа концентратора.

Результаты расчета усталостной прочности представляются в виде графика изменения коэффициента запаса усталостной прочности по длине вала. Под коэффициентом запаса понимается запас длительной прочности. Так как точность расчета

этого коэффициента существенно ниже, чем точность определения статической прочности, минимально допустимое значение коэффициента запаса не должно быть меньше 2,5.

В системе предусмотрен также механизм учета переменности внешних силовых факторов, при котором переменный режим нагружения приводится к эквивалентному постоянному режиму или может быть задан пользователем в виде графика.

#### ***Расчет жесткости***

В некоторых случаях важным критерием, обуславливающим пригодность предложенной конструкции вала, является его **жесткость**. Напомним, что под жесткостью понимается нагрузка, вызывающая единичную деформацию (в принятой системе единиц измерения).

Расчет жесткости в модуле *APM Shaft* включает в себя определение деформаций, возникающих под действием приложенной нагрузки. Для расчета деформаций используется метод интеграла Мора. В соответствии с характером нагрузки жесткость вала делится на *изгибную* и *крутильную*; в *APM Shaft* можно рассчитать оба этих типа. Результаты расчета выводятся в виде графика изменения жесткости вдоль оси вала.

В некоторых случаях бывает необходимо определить углы поворота поперечных сечений вала и параметров кручения, полученных дифференцированием кривой деформаций; *APM Shaft* позволяет провести такие расчеты. Условие жесткости считается выполненным, если фактические деформации и углы наклона рассматриваемых сечений не превышают максимально допустимых значений. Величины допустимых значений зависят от назначения проектируемого оборудования и требуемой точности.

#### ***Расчет динамических характеристик вала***

При расчете быстроходных или нежестких валов возникает задача определения собственных частот изгибных и крутильных колебаний.

*APM Shaft* позволяет рассчитать как абсолютные значения собственных частот, так и их собственные формы.

В основу определения собственных частот в *APM Shaft* положен метод начальных параметров.

При расчете изгибных колебаний учитывается как собственная масса вала, так и инерция поворота сечения вала.

При расчете учитываются внешние массы, к которым относятся массы и осевые моменты инерции. При расчете крутильных колебаний предполагается, что моменты инерции описывают тела вращения (для которых осевой момент инерции в два раза меньше, чем полярный).

Система *APM Shaft* позволяет рассчитать вал при различных граничных условиях и различных типах опор.

Рассматриваются опоры следующих видов:

- жесткая шарнирно-подвижная опора (реактивный момент равен нулю);
- жесткая безмоментная опора (смещение оси вала и реактивный момент равны нулю);
- упругая опора (смещение оси вала пропорционально реакции в опоре).

Из параметров материалов система использует:

- предел прочности;
- модуль упругости;
- коэффициент Пуассона;
- плотность материала.

## **2.4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4 (2 ЧАСА)**

**Тема: «Расчет и подбор подшипников качения»**

### **3.1.1 Вопросы к занятию:**

### **3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

#### **Основные положения**

**APM Bear** представляет собой систему расчета параметров неидеальных подшипников качения, разработанную в НТЦ «Автоматизированное проектирование машин». Название системы происходит от англ. «bearing» (подшипник). Неидеальный подшипник – подшипник качения, геометрические размеры которого имеют отклонения от номинальных значений.

С помощью **APM Bear** могут быть рассчитаны следующие характеристики подшипника:

- перемещения в подшипниках качения;
- наибольшие контактные напряжения;
- долговечность;
- силы, действующие на тела качения;
- моменты трения;
- потери мощности;
- тепловыделение в подшипнике.

Расчеты могут быть выполнены для шариковых и роликовых подшипников восьми типов:

- шариковых радиальных;
- шариковых сферических;
- шариковых радиально-упорных;
- шариковых упорных;
- роликовых радиальных;
- роликовых сферических;
- роликовых радиально-упорных;
- роликовых упорных.

## **2.5 Практическое занятие №5**

**Тема: «Расчёт упругих элементов конструкций»**

### **2.5.1 Вопросы к занятию:**

- 1. Основные положения**
- 2. Типы расчетов**

### **2.5.2 Краткое описание проводимого занятия:**

#### **Основные положения**

**APM Spring** – система комплексного расчета и проектирования пружин и упругих металлических элементов машин. Система разработана в НТЦ "Автоматизированное Проектирование Машин".

С помощью *APM Spring* можно рассчитать следующие типы пружин и упругих элементов:

- пружины сжатия (из проволоки круглого и квадратного сечения);
- пружины растяжения (из проволоки круглого и квадратного сечения);
- пружины кручения (из проволоки круглого и квадратного сечения);
- тарельчатые пружины;
- плоские прямоугольные пружины;
- торсионы;
- рессорные пружины.

*APM Spring* позволяет выполнить проектировочный и проверочный расчет, а также расчет по ГОСТ (для пружин сжатия и растяжения).

По результатам расчетов имеется возможность генерации чертежа в формате *APM Graph(\*.agr)*, а также текстового файла отчета и табличных данных.

*Упругими элементами* называют детали, имеющие высокую податливость при малых геометрических размерах. Напомним, что *податливость* определяется как деформация, возникающая под действием единичной нагрузки. Конструктивно, упругие элементы выполняются в виде пружин, торсионов, рессор, упругих резинотехнических изделий и изделий из специальных материалов.

Упругие элементы предназначены для демпфирования колебаний ударов и толчков. Они могут также аккумулировать энергию за счет упругих деформаций, создавать необходимую нагрузку и способны управлять этой нагрузкой. Зависимость деформации от нагрузки в дальнейшем принимается *линейной*. Нелинейные характеристики имеют место в тех случаях, когда пружины имеют нецилиндрическую форму.

С помощью *APM Spring* можно рассчитать упругие элементы семи наиболее часто используемых типов.

В зависимости от выполняемых функций выделяют пружины *сжатия, растяжения, кручения и изгиба*.

Обычно для изготовления пружин используется проволока круглого сечения, вместе с тем в отдельных случаях может применяться проволока прямоугольного либо квадратного сечения.

Круглое сечение характеризуется диаметром, квадратное – стороной квадрата. *Пружины прямоугольного сечения в APM Spring не рассматриваются*.

*Диаметр пружины* – диаметр цилиндра, на который навивается проволока.

*Число рабочих витков* – количество витков, необходимое для обеспечения требуемой деформации.

*Шаг пружины* – расстояние между соседними витками пружины.

*Опорными* или *поджатыми* называются витки, расстояние между которыми меньше шага. Они располагаются на концах пружины. Количество опорных витков по умолчанию принимается равным 0.

*Полное число витков* – сумма опорных и рабочих витков пружины.

*Обработанные* (например, шлифованные) *витки* – это обработанные опорные витки. Все обработанные витки являются опорными, но не все опорные витки являются обработанными.

Обрабатывают обычно половину или 3/4 дуги окружности витка. Следовательно, общее число обработанных витков может быть 0 (нет обработанных витков), 1 (обработано по 0.5 окружности с каждой стороны), 1.5 (обработано по 3/4 окружности с

каждой стороны). Количество обработанных витков по умолчанию принимается равным 0.

*Число обработанных витков* используется для определения длины при *максимальной деформации*. *Число опорных витков* используется для определения полного числа витков и других параметров. На отрисовку пружин эти введенные параметры не влияют, пользователь сам выбирает необходимый вид окончания пружины сжатия.

Угол навивки пружины называется *углом наклона винтовой линии*. Пружины сжатия навиваются с зазором между витками, величина которого составляет 15% от диаметра проволоки пружины в условиях полного сжатия. Пружины растяжения и кручения навивают без осевого зазора.

### Типы расчетов

*APM Spring* позволяет выполнить проверочные, проектировочные расчеты, а также для пружин сжатия и растяжения расчеты по ГОСТ 13765-86. В *APM Spring* выполняются статические расчеты, расчеты на выносливость и устойчивость.

Статические расчеты включают определение прочности и жесткости и выполняются, как правило, в виде проектировочных расчетов. Расчеты на выносливость проводятся в случае переменного характера внешнего нагружения и сводятся к определению коэффициента запаса усталостной прочности. При большой длине пружины возникает опасность потери продольной устойчивости пружины, т.е. выпучивание пружины в сторону.

Под *проектировочным* расчетом понимается расчет статической прочности и жесткости, в результате которого определяются геометрические параметры упругих элементов машин при заданных значениях коэффициентов запаса, внешних нагрузок и перемещений.

При *проверочном* расчете заданными считаются внешние геометрические размеры, а решение сводится к определению коэффициентов запаса статической, а в случае переменной нагрузки, и усталостной прочности.

При *расчете по ГОСТ 13765-86* (возможен только для пружин растяжения и сжатия) заданными считаются силы рабочей и предварительной деформации пружины, рабочий ход, класс и разряд. В результате расчета определяются геометрические параметры пружин, напряжения и энергия, накапливаемая пружиной. Внешний диаметр пружин, диаметр проволоки и некоторые другие параметры подбираются из базы данных, составленной на основе ГОСТ 13766, ГОСТ 13776.

Геометрические характеристики некоторых типов пружин и механические характеристики пружинных материалов могут быть взяты из базы данных.

## 2.6 Практическое занятие №6

**Тема: «Расчёт и проектирование привода произвольной структуры»**

### 2.6.1 Вопросы к занятию:

1. Основные положения
2. Проверочный расчет по моменту
3. Проверочный расчет по долговечности
4. Проектирование с ограничениями

## 2.6.2 Краткое описание проводимого занятия:

### 1.Основные положения

Модуль *APM Drive* представляет собой инструмент для комплексного расчета и проектирования привода вращательного движения произвольной структуры. С помощью *APM Drive* можно получить геометрические размеры зубчатых и червячных колес, а также подходящие размеры подшипников качения и валов. Процедура вычислений выполняется автоматически. При этом корректировка конструкции в зависимости от полученных промежуточных результатов осуществляется в интерактивном режиме. В целом программа завершает работу автоматической генерацией сборочного чертежа редактора (в плоском графическом редакторе *APM Graph*).

В качестве инструментов для расчета и проектирования привода используются следующие модули системы *APM WinMachine*: *APM Trans*, *APM Shaft*, *APM Bear*, *APM Base*, *APM Graph*. При этом в полном объеме можно использовать возможности перечисленных модулей. Модуль *APM Drive* представляет собой объединяющий модуль, который готовит исходные данные для функционирования и последовательного запуска каждого из перечисленных выше модулей. По этой причине работа модуля *APM Drive* оказывается невозможной, если при установке системы *APM WinMachine* отсутствует хотя бы один из перечисленных модулей.

- помостью *APM Drive* можно выполнить следующие типы расчетов:
  - проектировочный расчет кинематической схемы;
  - роверочный расчет кинематической схемы по моменту;
  - роверочный расчет кинематической схемы по долговечности.

### 2. Проектировочный расчет

При проектировочном расчете по условиям работы рассчитываются геометрические размеры элементов кинематической схемы – передач, подшипников и валов. В качестве входных параметров выступают момент на выходе, обороты на выходе, передаточные отношения элементов схемы, требуемый ресурс. Кроме того, для каждого элемента схемы можно задавать дополнительные параметры, такие как материал, тип термообработки и т.д. Используя эти данные, *APM Drive* рассчитывает основные геометрические размеры передач, основываясь на критериях усталостной прочности на изгиб и сопротивления выкрашиванию, делает предварительный подбор геометрии валов, исходя из критерия усталостной прочности, и выбирает требуемые при этом подшипники.

После этого геометрию каждого вала можно задать детально с учетом всех его особенностей – канавки, шпонки, шлицы, фаски и т.д. Пользователь также может вручную установить требуемые подшипники.

Проектировочный расчет может быть выполнен с различными ограничениями. Подробнее смотреть раздел «Проектирование с ограничениями».

### 3. Проверочный расчет по моменту

С помощью проверочного расчета по моменту определяется нагрузочная способность как схемы в целом, так и отдельных ее элементов. Входными данными являются геометрические параметры элементов кинематической схемы (передач, подшипников, валов) целиком передачи при заданных значениях параметров (геометрических размеров, характеристик конструкционных материалов и т.п.). В результате вычисляется, в том числе, и максимальная передаваемая мощность.

Для выполнения проверочного расчета необходимо задать геометрические параметры передач, валов и подшипников. Для этого используется команда «Параметры» контекстного меню. Данное меню доступно при нажатии правой кнопки мыши в

режиме «Выделить» при выбранном элементе схемы или командой меню **Вид | Параметры**.

#### **4. Проверочный расчет по долговечности**

С помощью проверочного расчета по долговечности определяется долговечность элементов кинематической схемы. Входными данными являются геометрические параметры элементов кинематической схемы (передач, подшипников, валов) целиком передачи при заданных значениях параметров (геометрических размеров, характеристик конструкционных материалов и т.п.).

Для выполнения проверочного расчета необходимо задать геометрические параметры передач, валов и подшипников. Для этого используется команда «Параметры» контекстного меню. Данное меню доступно при нажатии правой кнопки мыши в режиме «Выделить» при выбранном элементе схемы или командой меню **Вид | Параметры**.

Если перед расчетом не заданы подшипники, то они будут подобраны в результате проверочного расчета.

#### **5. Проектирование с ограничениями**

В *APM Drive* возможны дополнительные ограничения на параметры проектируемых передач редуктора. Такая необходимость возникает при проектировании передачи, например, со стандартным межосевым расстоянием или определенным углом наклона зубьев и т.д. Для задания ограничений необходимо ввести **дополнительные данные**, которые позволяют наложить ограничения на рассчитываемую передачу. Вызов диалогового окна ввода дополнительных данных осуществляется нажатием кнопки «*Еще...*» окна ввода основных данных (команда «Параметры» всплывающего по правой кнопки мыши меню). Признаком установленного параметра является любое отличное от нуля значение. Это соглашение действует на все дополнительные параметры кроме установки коэффициентов смещения инструмента, которые могут иметь нулевое значение. При этом Вас попросят подтвердить их значения в случае равенства нулю.

Для выполнения расчета обязательным является введение всех основных данных. Вводить дополнительные данные следует только при наложении ограничения.

### **2.7 Практическое занятие №7 ( 2 часа)**

**Тема: «Расчет и проектирование пространственных конструкций»**

#### **2.7.1 Вопросы к занятию**

- 1. Виды расчетов**
- 2. Статический расчет**
- 3. Расчетные сочетания усилий**
- 4. Расчет устойчивости**
- 5. Деформационный расчет**

#### **2.7.2 Краткое описание проводимого занятия:**

1. Виды расчетов

В Система *APM Structure3D* позволяет выполнить следующие типы расчетов:

- Статический расчёт.

- Расчётные сочетания усилий (РСУ).
- Расчёт устойчивости.
- Деформационный расчёт (расчет при больших перемещениях).
- Нелинейный расчёт (геометрическая нелинейность).
- Расчёт на собственные частоты.
- Расчёт вынужденных колебаний.
- Тепловой расчёт.
- Усталостный расчёт.
- Расчёт контактного взаимодействия.
- Подбор армирования железобетонных элементов

В этой главе дается краткое описание всех типов расчета. Их детальное теоретическое рассмотрение можно найти в книгах по методу конечных элементов и по проектированию зданий и сооружений.

## 2. Статический расчет

Статический расчет основан на матричном методе перемещений, целью которого является определение неизвестных перемещений узлов конструкции. Основным уравнением для решения является уравнение равновесия  $K x F$ , где  $K$  – матрица жесткости системы,  $F$  – вектор внешних силовых факторов,  $x$  – вектор неизвестных узловых перемещений. Размерность системы представляет собой количество степеней свободы конструкции. В общем случае в каждом узле 6 степеней свободы (3 линейных перемещения и 3 угла поворота). После решения данной системы, т.е. нахождения перемещений, находятся все остальные неизвестные параметры конструкции: деформации, усилия в элементах, напряжения и т.д.

В статическом расчете схема конструкции считается недеформированной, при этом продольные силы в стержнях и усилия в плоскости пластин не влияют на величины изгибающих моментов.

Результатом расчета конструкции являются:

- Перемещения узлов конструкции (линейные и угловые).
- Нагрузки на концах стержней, в узлах пластин и объёмных элементов.
- Напряжения, действующие в стержнях, пластинах и объёмных элементах.
- Распределение напряжений в произвольном сечении стержня.
- Эпюры силовых факторов для всей конструкции
- Коэффициент запаса по текучести
- Результаты усталостного расчёта (коэффициент запаса и количество циклов).
- Расчетные параметры, характерные для отдельной балки, такие как: моменты изгиба, кручения; боковые и осевые силы; углы изгиба, закручивания; деформации и напряжения по длине балки. Все эти параметры, представленные в форме графиков, выводятся в системе координат стержня. В системе можно просмотреть величины как относительных деформаций (перемещения относительно линии, соединяющей два деформированных конца стержня) так и величины полной деформации. В случае, когда конструкция состоит из единственной балки, графики перемещений и значения абсолютных и относительных перемещений совпадают.
- Реакции (силы и моменты), действующие в опорах конструкции.
- Масса всей конструкции.

## 3. Расчетные сочетания усилий

Определение расчетных сочетаний усилий (РСУ) производится только для стержневых конструкций. Целью РСУ является определение для каждого стержня таких комбинаций из существующих загружений, при реализации которых определенные величины достигают экстремумов. При этом рассматривается группа из 30 критериев, включающих в себя значения нормальных и касательных напряжений в характерных

точках сечения, а также осевой и перерезывающей сил. Принципы подбора наборов сочетаний и коэффициентов, с которыми комбинации входят в загружения, соответствуют изложенным в п. 1 СНиП-2.01.07-85. Сам расчет представляет собой перебор для каждого стержня всех комбинаций загружений и нахождение значений критериев в результате действия сил из этих загружений. Далее из этих значений критериев выбирается экстремальное, которое, совместно с комбинацией, на которой это значение реализовалось, и является результатом расчета для данного стержня (и данного критерия). Результаты расчета могут быть использованы при расчёте несущей способности конструктивных элементов.

#### 4. Расчет устойчивости

Расчет на устойчивость (по Эйлеру) относится к конструкциям, все элементы которых под действием заданной нагрузки находятся в безызгибном состоянии, т.е. работают на растяжение – сжатие. Для каждой конструкции при заданной схеме нагружения существует определенная величина нагрузки, при которой исходная форма равновесия становится неустойчивой. Становится возможным другое деформированное состояние, также являющееся состоянием равновесия. Выход системы из первоначального состояния равновесия мы называем потерей устойчивостью по Эйлеру. Нагрузка, при которой возможно существование новой устойчивой формы называется критической нагрузкой.

При расчете конструкций нагрузка приводится к узлам. Вектор узловых сил  $P$  представляется в виде  $P = p F$ , где  $p$  – скалярная величина, называемая *параметром нагружения*,  $F$  –

вектор внешней нагрузки. Таким образом, рассматривается простое нагружение, при котором все нагрузки изменяются пропорционально одному параметру нагружения  $p$ .

Результатом расчета является коэффициент запаса устойчивости, показывающий, во сколько раз нужно увеличить внешнюю нагрузку (все силовые факторы одновременно), чтобы система потеряла устойчивость и форма потеряла устойчивость. Расчет на устойчивость выполняется вместе со статическим расчетом, поскольку для его проведения необходимо знать осевые усилия в стержнях и напряжения в плоскости пластин, которые рассчитываются в статическом расчете. Расчет устойчивости (по Эйлеру) так же как и статический расчет ведется по не-деформированной схеме конструкции.

где  $K$  – матрица жесткости,  $L$  – геометрическая матрица,  $p_{cr}$  – критический параметр нагружения,  $\Delta$  – собственный вектор перемещений.

#### 5. Деформационный расчет

Деформационный расчет относится к конструкциям, элементы которых находятся под воздействием как продольных сил, так и изгибающих моментов. В этом случае существует только одна изогнутая форма равновесия. При малых нагрузках перемещения пропорциональны нагрузкам.

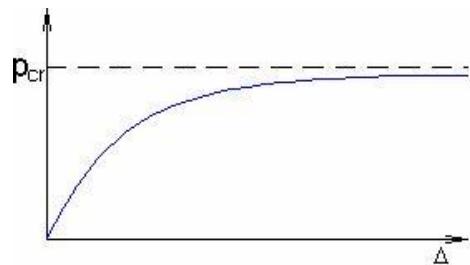


График зависимости перемещений от параметра нагрузки.

С увеличением нагрузки пропорциональность нарушается, перемещения начинают расти быстрее нагрузки. Это происходит из-за того, что при перемещении узлов элементы конструкции изгибаются. Благодаря изгибу, внешние нагрузки вызывают дополнительные

усилия и перемещения, которые могут достигать значительной величины. Расчет конструкции с учетом дополнительных усилий от продольных и поперечных сил при деформировании мы называем де-формационным или по деформированной схеме. Может наступить такой момент, когда для роста перемещений уже не требуется увеличение нагрузки. Нагрузка, соответствующая началу увеличения перемещений без изменения нагрузки, называется критической силой потери устойчивости 2-го рода. Потерю устойчивости по Эйлеру можно рассматривать как частный случай потери устойчивости 2-го рода при поперечной нагрузке, стремящейся к нулю.

Уравнением равновесия системы для деформационного расчета является:

$$K \bar{L}(\cdot) \bar{F}, \quad \bar{\cdot}$$

где  $K$  - матрица жесткости,  $\cdot$  - вектор перемещений,  $F$  - вектор внешних усилий,  $L(\cdot)$  - геометрическая матрица системы, которая характеризует приращение изгибной жесткости из-за деформации системы и зависит неявно от перемещений. Уравнение является нелинейным относительно перемещений и решается методом итераций.

Результатом деформационного расчёта являются те же параметры, что и для статического расчета, плюс критический параметр нагружения (см. выше параметр нагружения) потери устойчивости 2-го рода и форма потери устойчивости.

### Нелинейный расчёт

На практике предположения о малости перемещений, используемые в линейном статическом анализе, часто приводят к неправильным результатам даже при малых деформациях, не превышающих предел упругости материала конструкции. При точном определении перемещений ряда конструкций может оказаться необходимым учет геометрической нелинейности. Например, мембранные напряжения, которыми обычно пренебрегают при изгибе пластин, могут явиться причиной значительного уменьшения перемещений даже при малых деформациях. С другой стороны, может оказаться, что нагрузка, при которой прогиб увеличивается, достигается быстрее, чем это предсказывается линейной теорией, и может возникнуть ситуация, в которой при продолжающемся деформировании несущая способность будет падать.

В линейном статическом расчёте принимается линейное соотношение между деформациями и перемещениями внутри элемента:

$$B_0 q$$

где  $q$  – вектор узловых перемещений. При учёте нелинейного поведения выражение для деформаций можно переписать в виде:

$$(B_0 B_{NL}(q)) q$$

Нелинейный член возникает из полной записи тензора деформаций:

$$ij = (U_{i,j} + U_{j,i} + U_{k,i} * U_{k,j})/2$$

Отсюда видно, что решение нелинейной задачи не может быть получено из однократного решения матричного уравнения конечных элементов  $Kx=F$ , т.к. теперь матрица жёсткости ан-самбля КЭ зависит от перемещений. Из условия равенства внешней и внутренней работ получается нелинейное матричное уравнение, которое может быть решено итерационным методом Ньютона-Рафсона. В уравнение входит матрица начальных напряжений, или геометрическая матрица, используемая в расчёте на начальную устойчивость, и матрица больших перемещений.

В качестве критерия достижения решения используется максимальное значение невязки по внутренним силовым факторам в элементах. Пользователь может управлять расчётом, задавая точность и максимальное количество итераций.

#### **Создание и расчет моделей содержащих элементы типа «канат»**

Канат моделируется стержнем с поперечным сечением в форме круга, эквивалентного диаметра. Разбивать такие стержни на отдельные части не следует.

Канаты в отличие от балочных или ферменных элементов могут воспринимать только растягивающую нагрузку, для них необходимо задавать предварительное натяжение либо использовать такие элементы в конструктивных схемах, в которых исключается работа на сжатие.

## **2.8 Практическое занятие №8 (2 часа)**

**Тема: «Расчет и проектирование балочных конструкций»**

### **2.8.1 Вопросы к занятию:**

- 1. Начало работы**
- 2. Общие принципы работы с редактором**
  - 2.1 Выбор режима*
  - 2.2 Рисование*
  - 2.3 Редактирование*
- 3. Настройка интерфейса редактора**
- 4. Задание сегмента балки**
- 5. Редактирование и удаление сегмента балки**
- 6. Нагрузки, действующие на балку**

### **2.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

#### **1. Начало работы**

Запуск *APM Beam* осуществляется соответствующей командой меню *Windows Пуск | Программы | APM WinMachine | APM Beam*. Группа *APM WinMachine* создается при установке системы. Запуск *APM Beam* возможен также из группы *Конечно-элементный анализ* оболочки *APM Integrator*. Ярлык *APM Integrator* размещается после установки *APM WinMachine* на рабочем столе.

Для выполнения расчета балки необходимо выполнить следующие действия:

- 1) Создание геометрической модели балки (рисование секций и сечений балки);
- 2) Задание нагрузки (радиальная сила, осевая сила, распределенная сила, момент изгиба, момент кручения, момент инерции, присоединенная масса);
- 3) Размещение опор;
- 4) Задание параметров материала;
- 5) Выполнение расчета;
- 6) Просмотр и сохранение результатов.

Достаточным условием для выполнения расчета балки является: создание модели балки (п.1), задание хотя бы одной нагрузки (п.2), размещение опор (п.3) так чтобы балка не являлась механизмом, материалом по умолчанию является Сталь3кп.

Для получения справочной информации по работе с системой воспользуйтесь

## Общие принципы работы с редактором

### Выбор режима

Для того, чтобы нарисовать балку, нужно последовательно задать элементы ее конструкции; для проведения расчетов нужно также задать нагрузки и разместить опоры. *Чтобы нарисовать или отредактировать какой либо элемент расчетной схемы балки, нужно переключить редактор в режим рисования этого элемента.* Для этого нужно выбрать либо соответствующую кнопку на инструментальной панели, либо команду в меню. Показателем текущего режима является состояние инструментальной панели и форма курсора в рабочем поле - она соответствует объектам, с которыми в данный момент работает редактор.

### Рисование

Непосредственно рисование сегмента балок и ввод нагрузок и опор в системе *APM Beam* производится с помощью мыши. В процессе рисования курсором мыши Вы указываете точку или участок, где нужно поместить очередной элемент; после этого параметры элемента могут быть уточнены в диалоговом окне.

По особенностям задания примитивы редактора балок можно условно разделить на две группы – «точечные» и «протяженные».

К «точечным» элементам относятся те, для размещения которых нужно указать только осевую координату (пример - сосредоточенные силы и опоры). Для задания этих элементов нужно поместить курсор в нужную точку и щелкнуть **левой** кнопкой мыши. На экране появляется диалоговое окно, в котором вводятся характеристики элементов (например, величина силы).

К числу “протяженных” относятся сегменты балки и распределенные силы. При вводе этих примитивов обычно нужно задать габариты соответствующего элемента, например, начальную и конечную точки. Сначала нужно поместить курсор в ту точку, где начинается элемент, и щелкнуть **левой** кнопкой мыши. Затем переместить курсор в ту точку, где элемент заканчивается, и снова щелкнуть **левой** кнопкой мыши. В процессе перемещения курсора при на-жатой кнопке мыши рисуется текущая форма(или текущие габариты) элемента, а в информационном окне выводятся текущие значения основных параметров. После того, как пользователь отпустит кнопку, на экране появляется диалоговое окно для уточнения значений параметров.

Элементы балки можно также разделить на «первичные» и «вторичные». К первичным относятся сегменты балки. Все остальные элементы являются вторичными - они могут быть введены только после того, как Вы задали первичные элементы, и только в их границах(то есть, например, Вы не сможете ввести нагрузку или опоры при отсутствии балки).

### Редактирование

Редактирование в модуле *APM Beam* включает в себя изменение параметров элементов балки, а также их удаление. *При редактировании нужно переключить редактор в режим рисования элементов того типа, который Вы хотите отредактировать.* Затем необходимо указать объект, который Вы хотите удалить или изменить. Для этого нужно поместить курсор на объект и нажать **правую** кнопку мыши. (Точность указания объекта курсором должна быть достаточной для того, чтобы программа могла определить, какой именно объект Вы хотите отредактировать; не обязательно помещать курсор непосредственно на объект, достаточно, чтобы он был ближайшим среди объектов данного типа). На экране появляется диалоговое окно, содержащее параметры объекта и с доступной кнопкой **Удалить**. Пользователь может ввести новые значения параметров или удалить объект.

## Настройка интерфейса редактора

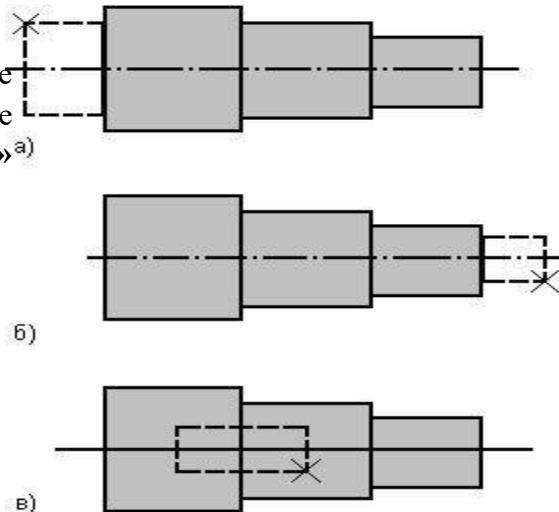
Для удобства работы с системой *APM Beam* предусмотрено изменение пользовательских настроек. Для изменения настроек используются команды выпадающего меню **Вид** (**Информационная панель**, **Панель инструментов**, **Линейки**) и **Установки** (**Единицы**, **Палитра...**, **Сетка...**, **Шаг курсора**, **Масштаб...**). При этом следует отметить, что настройки «по умолчанию» являются достаточно удобными для построения наиболее распространенных моделей.

### Задание сегмента балки

Для рисования сегмента балки выберите команду **Задать** | **Сегмент** или нажмите соответствующую кнопку «Сегмент»<sup>a)</sup> панели инструментов.

Рисование сегмента может осуществляться в трех режимах:

- добавление сегмента слева;
- добавление сегмента справа;
- вставка сегмента



Поперечное сечение может быть создано четырьмя способами:

- вставлено из базы данных сечений в виде параметрической модели;
- открыто в заранее сохраненном файле собственного формата модуля *APM Graph* с расширением *\*.agr*;
- импортировано в редактор поперечных сечений через файл формата *\*.dx*;
- создано непосредственно в редакторе поперечных сечений *APM Graph*.

Рассмотрим каждый из способов подробнее. Редактор перечных сечений *APM Graph* позволяет выбрать сечение, представленное в виде графического объекта, из базы данных. Графические объекты, которые могут быть взяты из базы данных, как правило, представляют собой параметрическую модель, которая переносится в поле редактора как параметрический блок. Такой блок перед добавлением его в библиотеку сечений должен быть обязательно расчленен. Рассмотрим кратко порядок вставки объекта из базы данных.

1. Переходим в режим вставки объекта из базы данных нажатием одноименной кнопки панели инструментов «Рисование» (команда **Рисовать** | **Блок** | **Вставить объект из базы данных**). После этого откроются те базы данных, которые были выбраны более ранним к ним обращением, причем не обязательно из модуля *APM Beam*. Если таковых не окажется, то следует на панели инструментов «Инструменты» нажать кнопку «Менеджер баз данных» (команда **Инструменты** | **Менеджер баз данных...**) и в открывшемся диалоговом окне (рис. 3.9) отметить флагом одну или несколько баз данных – те, в которых находятся необходимые для встраивания объекты. Параметрические библиотеки сечений расположены в разделе сортаменты в следующих базах, поставляемых с системой АРМ:

#### Механическая:

C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM Winmachine 2007 (v.9.3)\DataBase\APM Section Data

#### Сечения:

C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM Winmachine 2007

### Редактирование и удаление сегмента балки

Чтобы отредактировать или удалить какой либо из сегментов балки, нужно сначала выбрать его. Для этого войдите в режим рисования (с помощью команды меню или пиктографической кнопки) и выберите нужный элемент, подведя к нему курсор и нажав *правую* кнопку мыши. При этом на экране появится диалоговое окно. Для редактирования сегмента балки используется одно и тоже диалоговое окно. Оно содержит поля ввода, заполненные текущими значениями параметров редактируемого элемента, и клавишу для удаления элемента. Так же с помощью этого диалога Вы сможете задать/отредактировать поперечное сечение сегмента.

### Нагрузки, действующие на балку

С помощью редактора *APM Beam* можно задать радиальные и осевые сосредоточенные силы, распределенную радиальную нагрузку, моменты изгиба и кручения, присоединенные массы и моменты инерции.

**Замечание.** Присоединенные массы и моменты инерции учитываются только для расчета динамических характеристик.

## 2.9 Практическое занятие 9 (Пр-9) Система управления базами данных.

### 2.9.1 Вопросы к занятию:

1. Работа со структурой базы данных
2. Элементы пользовательского интерфейса APM Base
3. Классификаторы

### 2.9.2 Краткое описание проводимого занятия:

#### 1.Работа со структурой базы данных

Работа со структурой базы данных предполагает собой перенос различных объектов из одного места базы данных в другое. Все вышеперечисленные объекты базы данных могут вместе со всем своим содержимым:

#### 2.Элементы пользовательского интерфейса APM Base

##### Главное меню

Главное меню (рис. 1.11) расположено в верхней части окна и содержит команды системы *APM Base*. Описание команд главного меню приведено в справочнике(таблица 1.3). В случае, если выполнение команд невозможно, например, команды редактирования текста неприменимы для параметрической модели, то такие команды и элементы меню будут недоступны.

#### Справочник команд главного меню APM Base

Таблица 1.3 – Справочник команд главного меню *APM Base*

Команда	Описание команды
<b>Меню Базы данных</b>	
Открыть базу (Ctrl+B)	Вызов диалогового окна выбора базы для открытия или создание новой базы данных
Закрыть базу (Ctrl+C)	Закрыть выделенную базу

Меню Файл		
	Сохранить	Сохранить изменения в базе данных
	Печать	Печать текущего текстового файла или таблицы
	Предварительный просмотр	Просмотр документа в полностраничном режиме
	Параметры страницы...	Вызов диалогового окна задания параметров страницы
	Выход	Завершение работы с запросом на сохранение документа

Пользователь имеет возможность настройки и конфигурации элементов главного меню системы. Подробное описание настройки меню приведено в главе «Полезные настройки».

### **Панели инструментов**

Панели инструментов содержат кнопки вызова команд *APM Base*. Для вызова нужной команды просто щелкните левой кнопкой мыши по соответствующей кнопке. Кнопки панелей инструментов сгруппированы по виду операций и типу объектов .

#### **Замечание.**

Под логикой работы с базой понимается то, какие объекты могут входить в состав других объектов. В соответствии с логикой в состав группы объектов могут входить только параметрические модели, и там не может быть ни эскиза, ни таблицы. Эта логика учитывается при возможности переноса или копирования объектов базы.

Аналогично, объект рисунок может входить в состав как таблицы, так и располагаться отдельно в базе данных; он не может входить в состав, например, группы объектов.

Для того, чтобы переместить объекты из одного места базы данных в другое достаточно просто, зажав левую кнопку мыши, «перетащить» требуемый объект в нужное место базы данных. В этом случае перемещаемый объект удалится в своем предыдущем месте и появится в составе того объекта, куда его переместили.

Команды по перемещению элементов дерева доступны также из соответствующей панели инструментов (таблица 1.2).

**Таблица 1.2 – Команды панели Операции по перемещению элементов дерева.**

Команда	Описание команды
 Переместить вверх (Ctrl+U)	Переместить объект вверх по дереву в пределах папки
 Переместить вниз (Ctrl+D)	Переместить объект вниз по дереву в пределах папки

Если требуется переместить копию объекта в другое место базы данных, а сам объект оставить на своем месте, то для этого достаточно выполнить процедуру «перетаскивания», держа на клавиатуре нажатой клавишу **SHIFT**.

#### **Замечание.**

Если пользователь удалил какой-либо объект базы данных АРМ, а потом заменил его на этом же месте его копией, то эта копия по своим свойствам не будет идентична первоначальному объекту. В частности с ней не смогут работать расчетные модули, которые были настроены на работу с оригиналом объекта. Для возможности работы расчетных модулей с такой копией необходима дополнительная настройка расчетного модуля на эту копию.

Данное ограничение связано с тем, что каждый объект базы данных имеет свой уникальный идентификатор, благодаря которому и происходит работа с этим объектом и в базе данных и с расчетными модулями. Идентификатор генерируется при инсталляции базы данных и позволяет, помимо всего прочего, отличать объекты, поставляемые с базой данных(которые не могут быть удалены), от объектов, добавленных пользователем. При перемещении объектов внутри структуры базы данных идентификатор перемещаемого объекта сохраняется.

Если пользователь создает копию какого-либо объекта, то она будет иметь отличный от оригинала идентификатор, и поэтому расчетный модуль без перенастройки не сможет работать с копией так же, как и с оригиналом.

В явном виде пользователь может увидеть этот идентификатор, если он просмотрит содержимое соответствующих директорий, в которых хранятся объекты, добавленные в базу — модели, таблицы, файлы. Имена соответствующих объектов и будут их идентификаторами. Не рекомендуется что-либо изменять в имени этих объектов, поскольку они перестанут быть видны в базе данных, и их прежнее имя восстановить не удастся.

При изменении структуры базы данных не допускается выполнение следующих операций:

- Удалять и изменять положение объектов, поставляемых с базой данных АРМ;
- Добавлять таблицу или эскиз в состав группы объектов.

### **Замечание.**

Поставляемые с системой АРМ базы данных являются стандартными, поэтому настоятельно рекомендуется их открывать ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ. Для редактирования лучше дополнительно создать новую пользовательскую базу данных.

### **Классификаторы**

Классификатор — это ключевое слово(группа слов), которое однозначно определяет конкретный объект базы данных. Объекту может быть присвоен классификатор, или нет, но в последнем случае с данным объектом базы данных не смогут работать расчетные программы. При организации поиска в базе данных пользователь выбирает это ключевое слово, и ему будет найден конкретный объект.

Для того, чтобы задать классификатор какому-либо объекту, предварительно необходимо создать список классификаторов объектов этой базы данных. Сделать это можно, выбрав пункт контекстного меню **Классификаторы...**

При выборе этого пункта контекстного меню **Классификаторы...**, у пользователя откроется диалоговое окно «**Классификаторы**», (рис. 1.13), в котором показывается весь список классификаторов, использующийся объектами этой базы данных. С помощью кнопок в данном диалоговом окне можно:

- а) Нажатием кнопки «**Добавить**» — добавить классификатор; в этом случае имя классификатора следует ввести в открывшемся диалоговом окне **Добавить классификатор** (рис. 1.13). При добавлении нового классификатора в списке классификаторов одноименного диалогового окна появится его имя и флажок в поле, удостоверяющий то, что это классификатор пользователя;
- б) Кнопка «**Изменить**» — позволяет изменить имя ранее введенного классификатора. Для изменения имени конкретного классификатора, его следует выделить, а затем, нажав кнопку «**Изменить**», переименовать в диалоговом окне **Изменить классификатор**.
- с) Кнопка «**Удалить**» — позволяет удалить выделенный классификатор из списка.
- д) Кнопка «**Отмена**» — закрывает диалоговое окно **Классификаторы** после внесения в него всех изменений.

## Поиск объектов в базе

В базе данных возможно организация двух видов поиска: *по строке данных* и *по классификаторам*. Рассмотрим каждый из видов поиска подробнее.

Поиском *по строке данных* удобно пользоваться, если заранее полно или частично известно имя объекта или комментарии к нему. Для проведения поиска объектов в базе данных служит команда **Правка | Найти...** (Ctrl+F). В появившемся диалоговом окне (рис. 1.16) необходимо ввести слово (или слова) для поиска и отметить необходимые атрибуты. Далее нажатием кнопки «**Найти далее**» производим поиск в той области базы данных, которая отмечена флагками. Найденные элементы (в рассматриваемом случае это элементы дерева) выделяются (рис. 1.16). Для поиска следующего объекта, содержащего заданное слово, нажимаем кнопку «**Найти далее**» еще раз.

## . Объекты APM Base

Для того, чтобы иметь возможность работы над объектами существующей базы данных (не изменяя содержащуюся в них информацию), следует выделить объект базы данных, с которым пользователь хочет работать, и нажав правую кнопку мыши, вызвать контекстное меню, содержание которого в зависимости от выбранного объекта будет различаться.

Для работы с данными объекта (изменение информации), объект, должен быть, прежде всего, открыт. После этого, в зависимости от того объекта, с данными которого предполагается работать, имеются различные возможности такой работы.

### Папка

Папка *APM Base* имеет то же значение, что и папка (директория) в системе *Windows*. В редакторе базы данных возможен только просмотр содержимого конкретной папки. При работе с папкой, пользователь, вызвав контекстное меню, (рис. 2.1) имеет возможность:

-  **Создать папку...** — в выделенной папке или в пустой базе данных будет создана новая папка, имя которой нужно будет ввести в диалоговом окне *Создать папку...*;
-  **Создать группу...** — в выбранной папке будет создана группа объектов, имя которой нужно будет ввести в диалоговом окне *Добавить группу...*;
-  **Создать таблицу...** — в выделенной папке будет создана новая таблица, имя которой требуется ввести в одноименном диалоговом окне *Создать таблицу...*;
-  **Добавить таблицу...** — пользователь имеет возможность добавить в выбранную папку предварительно сохраненную таблицу из отдельного файла с расширением *APMBase Table \*.abt*. После выбора этого пункта контекстного меню открывается стандартное окно открытия файлов *Windows*, в котором нужно указать путь к файлу таблицы.
-  **Добавить APM Graph параметрическую модель...** — добавление в выбранную папку файл параметрической модели, имеющей расширение *\*.agr*.
-  **Добавить APM Graph файл...** — добавление в выбранную папку файл чертежа (эскиза), имеющего расширение *\*.agr*. Далее открывается стандартное окно открытия файлов *Windows*, в котором нужно указать путь к файлу *APM Graph*.
- Добавить рисунок...** — добавление рисунка в выделенную папку как самостоятельного элемента. Картинка является поясняющим объектом. Формат такой картинки может быть различным.
- Добавить текстовый файл** — добавление текстового файла формата *\*.txt* или *\*.rtf* в выделенную папку как самостоятельного элемента. Возможно также добавление документов других форматов, например *\*.pdf*. При этом просмотр данного документа будет осуществляться соответствующим приложением *Windows*, для *\*.pdf* — программой *Adobe Acrobat*.
-  **Преобразовать в группу.** Данная операция возможна только в том случае, если в

выбранной папке содержатся только параметрические модели, имеющие расширение **\*.agp**, в этом случае выбранная папка станет группой объектов.



**Удалить.** Удаление выделенного объекта из базы данных.

**Создать копию объекта.** С помощью этого инструмента можно создать копию выбранного объекта в этой же самой *папке* или *группе объектов*, где находится выбранный объект. Необходимость такой операции зачастую бывает вызвана добавлением каких-либо параметров объекта.