

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства

**СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ  
ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ  
направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств» (профиль  
«Металлообрабатывающие станки и комплексы»)  
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 658.56:621.81(07)  
ББК 34.42я7

**Составитель** канд. техн. наук А. В. Демидов

Системы компьютерной поддержки инженерных решений: методические указания к выполнению лабораторных работ направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Демидов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 38 с.

Методические указания направлены на изучение вопросов автоматизированного проектирования и конструирования механических систем, расчета изделий методом конечных элементов, теоретические зависимости и алгоритмы, правила разработки рабочей документации на ЭВМ в соответствии с требованиями ЕСКД.

Предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Системы компьютерной поддержки инженерных решений» для студентов 3 курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ СКПИР ЛР.2021.pdf.

Ил. 41. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

**УДК 658.56:621.81(07)**  
**ББК 34.42я7**

**Рецензент** – М. И. Попова, канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизированное оборудование машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества выпускаемой продукции во многом зависит от конструкторов, создающих новое оборудование. Ускорение выпуска изделий, необходимость сокращения материальных затрат на их изготовление оптимизация инженерных решений обуславливают жесткие требования к качеству выпускаемых изделий. Выполнение этих требований в современных условиях невозможно без применения вычислительной техники на всех этапах подготовки производства, начиная с конструкторского проектирования, на котором с помощью современных ЭВМ решают различного рода вычислительные задачи и задачи автоматизированной разработки конструкторско-технологической документации, создавая тем самым системы поддержки инженерных решений.

Сегодня уже известно множество коммерчески распространяемых расчетных и исследовательских пакетов общего машиностроительного назначения, предназначенные для выполнения расчетов деталей машин, механизмов и их конструктивных элементов, полноценного инженерного анализа создаваемого оборудования с целью выбора его оптимальных параметров в том числе и методом конечных элементов, а также оформления и хранения конструкторской документации.

ЭВМ и дополнительное программное обеспечение это инструменты для качественного проектирования деталей и машин. Основной задачей конструкторского проектирования является создание различных конструкций деталей и узлов, получаемых на основе функционального проектирования. При этом выполняется проектирование отдельных деталей, компоновка узлов машиностроительного оборудования из конструктивных элементов, после чего оформляется техническая документация на объект проектирования.

Одна группа задач конструкторского проектирования определяет чисто геометрические параметры конструкции, а другая группа предназначена для компоновки (топологии)

конструкции с учетом ее функциональных характеристик. Решение этих задач составляет сущность геометрического и компоновочного проектирования машин и их узлов. Кроме того, к задачам конструкторского проектирования необходимо отнести проверку (анализ) качества полученных конструкторских решений.

Поэтому в методических указаниях подробно прорабатываются вопросы проектирования и конструирования машиностроительных изделий, расчета деталей методом конечных элементов с целью определения зон концентрации напряжений в объеме материала исследуемой детали, теоретические зависимости и алгоритмы, правила разработки рабочей документации в соответствии с требованиями ЕСКД, позволяющие более, глубоко освоить материал, и вырабатывают умения студентов использовать его при решении конкретных технических задач.

Предлагаемые методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ, но может быть адресовано также инженерам и конструкторам, занятым разработкой нового и модернизацией существующего механического оборудования.

## Лабораторная работа №1

**Тема:** «Автоматизированный расчет механического привода»

**Цель:** провести проектный расчет механического привода на ЭВМ

### **Задачи:**

1. Выполнить кинематический расчет привода.
2. Выполнить силовой расчет привода.
3. Выполнить расчет передачи с гибкой связью.
4. Выполнить предварительный расчет зубчатой передачи.
5. Выполнить предварительный расчет валов
6. Выполнить предварительный выбор подшипников качения.

### **Теоретические сведения:**

Лабораторная работа выполняется в прикладной библиотеке Редуктор-2D, которая предназначена для проектного расчета приводов машин, состоящих из двигателя, муфты, передачи гибкой связью и одноступенчатого редуктора, и построения в КОМПАС-График чертежа общего вида редуктора, который входит в рассчитанный привод. Программа позволяет рассчитывать 35 различных схем приводов, которые представляют собой всевозможные комбинации передач гибкой связью (ременной, клиноременной или цепной) с одноступенчатым редуктором (цилиндрическим, коническим или червячным).

В расчетной части выполняется кинематический и силовой расчет всего привода, проектный расчет выбранной передачи гибкой связью, проектный расчет передачи зацеплением (редуктора), расчет валов и подбор подшипников. Для этого нужно запустить файл REDUCTOR.exe. Сам расчет практиче-

ски полностью автоматизирован, конструктор при необходимости может лишь подкорректировать некоторые параметры. Детальное описание, как работать с этой частью проекта, приведено в небольших справках, которые доступны в каждом расчетном разделе. Каждый раздел расчета представлен вкладкой: первая вкладка – это кинематический и силовой расчет привода, последняя – расчет валов и подшипников, промежуточные две – расчет механических передач, входящих в привод. Результирующие данные расчетов каждой предыдущей вкладки являются исходными данными для расчетов следующей, из чего следует, что вкладки отображают схему привода.

### Ход работы:

1. Выбрать кинематическую схему механического привода в соответствии со своим вариантом из методических указаний МУ 1-2011.

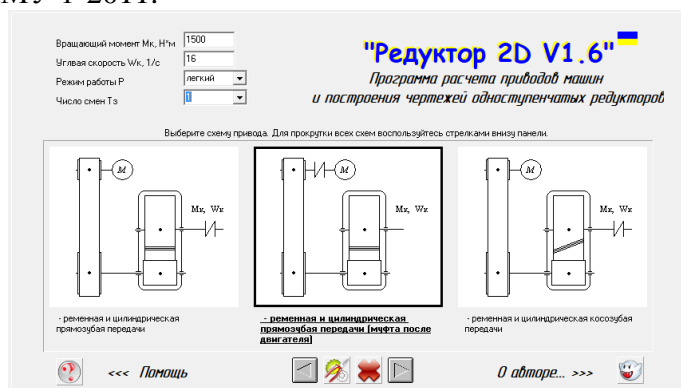


Рис. 1.1. Выбор кинематической схемы механического привода

2. В первой вкладке программы выполнить кинематический и силовой расчеты механического привода. Для этого необходимо ввести исходные данные в окно программы в соответствии со своим вариантом.

№ вала	Момент M, Н*м	Мощность N, Вт	Угловая скорость, 1/с	Уд.	Узаг.д.
1	87	26846	308,400	1	19,275
2	85	26309	308,400	3,855	
3	316	25265	80,000	5,000	
4	1501	24012	16,000		

Рис. 1.2. Результаты кинематического расчета

3. Во второй вкладке выполнить расчет передачи с гибкой связью (ременной или цепной). Проконтролировать ход расчета передачи и при необходимости произвести корректировку при помощи бегунков.

4.

Тип ремня	
Число пробегов ремня, 1/с	7,14
Окружное усилие, передающееся ремнем Ft, Н	682
Удельная окружная сила [k], МПа	0,97
Площадь поперечного сечения ремня Ar, мм кв.	703,1
Толщина ремня d, мм	<input type="text" value="2,8"/>
Ширина ремня b (стандартная), мм	280
Сила натяжения ремня Fo, Н	1568
Сила, действующая на вал F, Н	3084
Максимальное напряжение в сечении ведущей ветки Gmax, МПа	<b>5,30</b>

Рис. 1.3. Результаты расчета ременной передачи

5. В третьей вкладке выполнить предварительный расчёт зубчатой передачи.

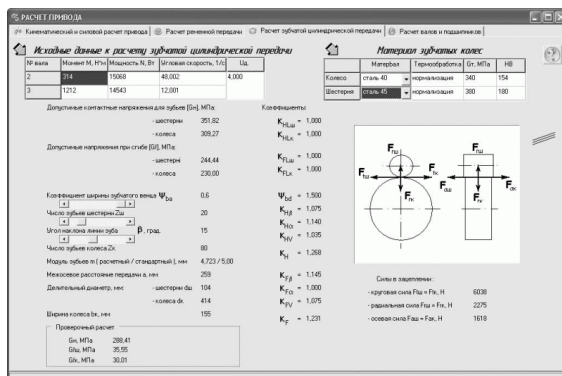


Рис. 1.4. Диалоговое окно для предварительного расчета зубчатой передачи

6. В последней вкладке выполнить предварительной расчет валов и выбрать подшипники качения.

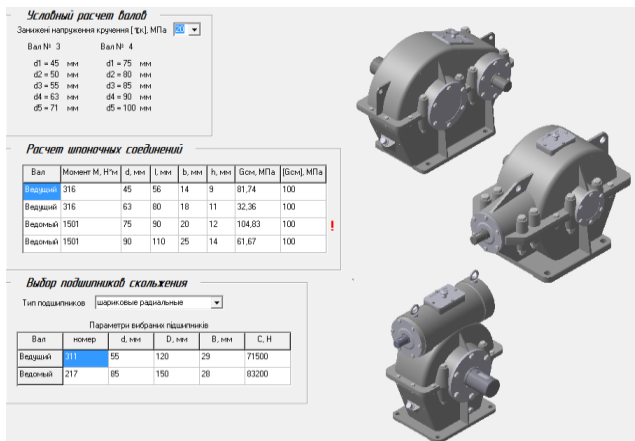


Рис. 1.5. Диалоговое окно для предварительного расчета валов, шпонок и подшипников

Выполнив все пункты сформировать отчет по лабораторной работе в виде скриншотов диалоговых окон программы Редуктор-2D и сформулировать выводы по работе.



## Лабораторная работа №2

### Тема: «Автоматизированное проектирование зубчатой передачи»

**Цель:** приобретение практических навыков проектирования механических передач в компьютерной среде.

#### **Задачи:**

1. Научиться в автоматизированном режиме проводить расчет зубчатой передачи.
2. Научиться конструировать зубчатое колесо в компьютерной среде.
3. Научиться оформлять рабочий чертёж в компьютерной среде.

#### **Теоретические сведения:**

Система Валы и механические передачи 2D предназначена для проектирования:

- валов и втулок;
- цилиндрических и конических шестерен;
- червячных колес и червяков;
- шкивов зубчатоременной и клиноременной передач;
- звездочек цепных передач;
- зубчатых муфт (глухой и соединительной).

На простых ступенях могут быть смоделированы шлицевые, резьбовые и шпоночные участки, а также другие конструктивные элементы – канавки, проточки, пазы, лыски и т. д. Сложность модели и количество ступеней не ограничиваются. Для цилиндрических участков внешнего и внутреннего контуров могут быть подобраны подшипники и манжеты. Параметрические модели сохраняются непосредственно в чертеже и доступны для последующего редактирования средствами си-

стемы Валы и механические передачи 2D. При создании и редактировании может быть изменен порядок ступеней модели, отредактировано значение любого параметра ступени.

### Ход работы:

1. Подключите систему «Валы и механические передачи 2D» (файл Shaft.rtw) к КОМПАС-3D (КОМПАС-График) как обычную библиотеку. Откройте или создайте в системе КОМПАС-3D (или в КОМПАС-График) документ типа «Чертеж». Запустите систему «Валы и механические передачи 2D» через «Менеджер библиотек» (рис. 1) и двойным щелчком мыши выберите режим работы с системой: «Построение модели».

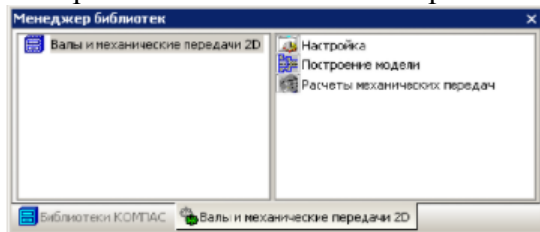


Рис. 2.1. Диалоговое окно «менеджера библиотек»

Нажмите на панели управления системы Валы и механические передачи 2D кнопку «Новая модель». Откроется окно Выбор типа отрисовки модели. Выберите вариант отрисовки: В разрезе. Щелчком мыши в поле активного документа КОМПАС укажите точку, которая будет началом отсчета создаваемой локальной системы координат. Главное окно системы Валы и механические передачи 2D вновь появится на экране.

2. На поле фрагмента курсор примет форму крестика. Нажать левую клавишу мыши и вызвать меню, в котором активировать поле «Шестерня цилиндрическая зубчатой передачи».

3. Выполнить запуск расчета цилиндрической передачи, геометрический расчет (рис. 2.2) и расчет передачи по межосевому расстоянию.

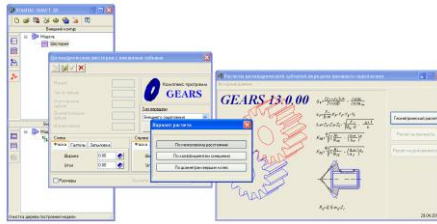


Рис. 2.2. Выбор типа расчета модели (по межосевому расстоянию)

4. В появившемся окне «Геометрический расчет» ввести все необходимые данные, воспользовавшись результатами силового расчета зубчатых передач (лаб. раб №1). В окне «Межосевое расстояние, мм» после нажатия на символ калькулятора должна появиться рассчитанная величина межосевого расстояния. Диаметр ролика (шарика) принять, как рекомендует программа.

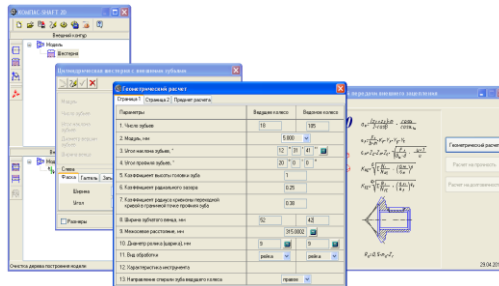


Рис. 2.3. Заполнение таблицы расчетными данными

5. Открыть страницу «Геометрического расчета» и нажать калькулятор, расположенный слева в строке меню, для проведения вычислений. Если расчет выполнен правильно, то появится соответствующая информация ниже таблицы и можно нажать кнопку выхода (красная стрелка вправо). В появившемся окне выбрать объект для построения: шестерня или колесо (рис. 2.4). Выбрать объект «Колесо Z=105».

6. Нажать кнопку «ОК» и V-образную зеленую «галочку» для создания геометрического образа колеса (рис. 2.4).

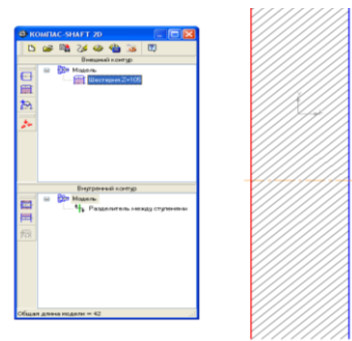


Рис. 2.4. Отображение геометрического образа колеса

7. Открыть модель «Шестерня» в окне «Валы и механические передачи 2D». Вызвать построение цилиндрической ступени (бобышки) с параметрами: длина 15 мм, диаметр 85 мм. (рис. 9.12).

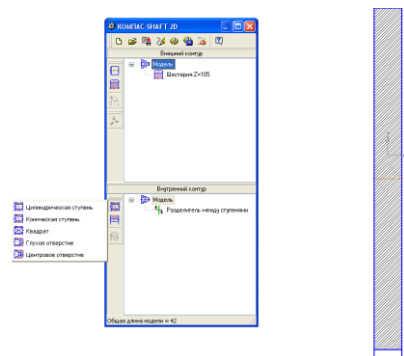


Рис. 2.5. Формирование отверстия для вала

8. В нижней части окна «для справки приведена текущая ширина ступицы (общая длина модели). Создать образ отверстия для вала, нажав на кнопку с зеленой «галочкой», рис. 2.5.

9. Для формирования шпоночного паза в меню «Внутренний контур» и «Дополнительные элементы» вызвать меню «Шпоночные пазы» (рис. 2.6) и в открывшемся окне уточнить параметры паза и нажать кнопку «ОК». Система сформирует шпоночный паз.

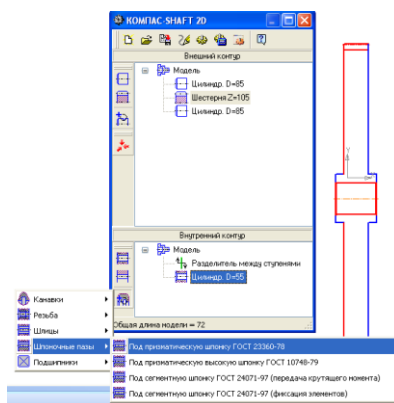


Рис. 2.6. Создание шпоночного паза

10. Вызвать меню «Кольцевые пазы» рис. 2.7.

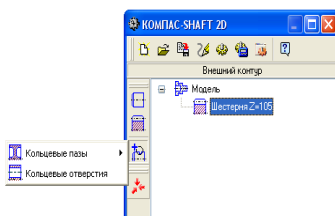


Рис. 2.7. Формирование кольцевых пазов в диске зубчатого колеса

11. В открывшемся окне «Кольцевые пазы» внести параметры кольцевых пазов «справа» и «слева», и желательно параметры фасок (рис. 2.8). Нажать кнопку «ОК» для отрисовки кольцевых пазов.

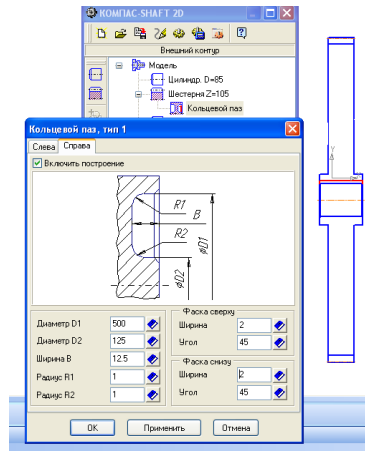


Рис. 2.8. Формирование параметров кольцевых пазов

12. В целях экономии металла в диске колеса необходимо предусмотреть сквозные отверстия. Для этого в меню дополнительных построений внешнего контура открывают меню «Кольцевые отверстия», рис. 2.9 и вводят их параметры, рис. 2.10. Для отрисовки кольцевых отверстий необходимо нажать кнопку «ОК» и сохранить модель.

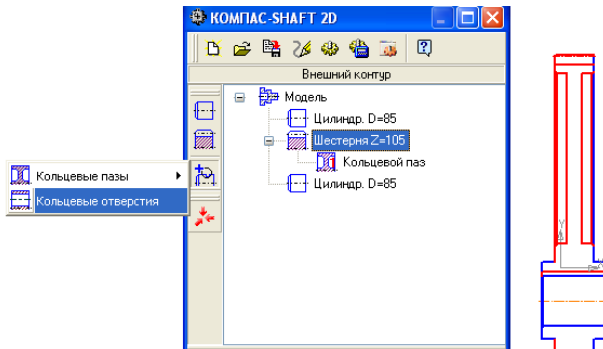


Рис. 2.9. Формирование кольцевых отверстий в диске

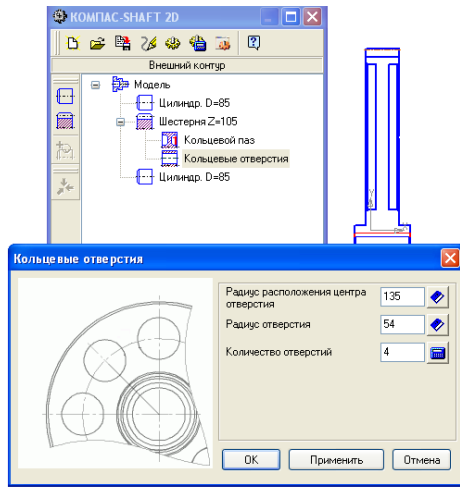


Рис. 2.10. Параметры кольцевых отверстий

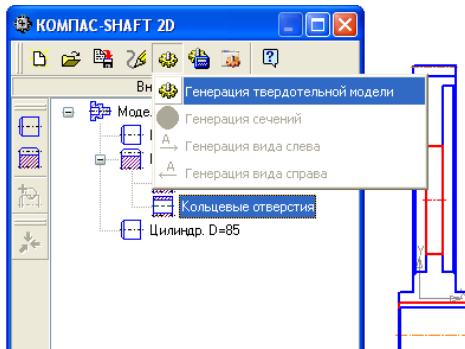


Рис. 2.11. Создание твердотельной модели

13. Для отрисовки твердотельной модели зубчатого колеса необходимо вызвать функцию «Дополнительные построения» и в ней выбрать «Генерация твердотельной модели», рис. 2.1. Через некоторое время система создаст твердотельную модель зубчатого колеса.

14. Оформить рабочий чертеж зубчатого колеса.

## Лабораторная работа №3

**Тема:** «Автоматизированное проектирование вала»

**Цель:** приобретение практических навыков проектирования механических передач в компьютерной среде.

**Задачи:**

1. Научиться в автоматизированном режиме конструировать детали типа «Вал».
2. Научиться оформлять рабочий чертёж в компьютерной среде.

**Теоретические сведения:**

Диаметр соответствующего участка вала, определяется по формуле:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]}}, \quad (\text{м}) \quad (1)$$

где  $T$  — крутящий момент на валу, Нм;

$[\tau]$  — допускаемое напряжение кручения, Па,

либо через мощность  $P$ , кВт, на валу и его частоту вращения  $n$ , мин<sup>-1</sup>:

$$d \geq (140 \dots 150) \sqrt[3]{\frac{P}{n}}, \quad \text{мм.} \quad (2)$$

Полученное значение оценивает:

- для быстроходных и тихоходных валов редукторов диаметр выходного конца вала
- для промежуточных валов средний диаметр (например, в месте установки зубчатого колеса).



Значение  $[\tau]$  принимают для выходных концов валов редукторов — 20...30 МПа; для определения диаметров под колесом — 10...20 МПа или  $[\tau] = (0,025 \dots 0,03) \sigma_B$ .

Полученное значение увеличивают на 10% для компенсации снижения усталостной прочности вала за счет установки шпоночного соединения и округляют до ближайшего значения из нормального ряда диаметров (ГОСТ 6636-82): 10; 10.5; 11; 11.5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 63; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 125; 130; 140; 150; 160...

Остальные диаметральные размеры вала или оси назначают из конструктивных соображений при помощи заплечиков  $t$  (см. рис.4.5).

Высота заплечиков  $t$  для обеспечения осевой фиксации деталей, сидящих на валу и радиус галтелей  $r$  (см. рис.4.5) для уменьшения концентрации напряжений ориентировочно могут быть определены в зависимости от соответствующего диаметра участка вала  $d$  (рис.4.5) по таблице 3.1:

$$d_n \approx d + 2t;$$

$$d_{\delta n} \approx d_n + 3r;$$

$$d_{\delta u} \geq d_u + 2r.$$

Значения  $t$  и  $r$  в зависимости от диаметра вала.

Таблица 3.1

$d$ , мм	17...24	25...30	32...40	42...50	52...60	62...70	72...85
$t$ , мм	2-2,2	2,2...2,5	2,5...2,8	2,8...3	3...3,2	3,2...3,5	3,5...5
$r$ , мм	1,6	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5

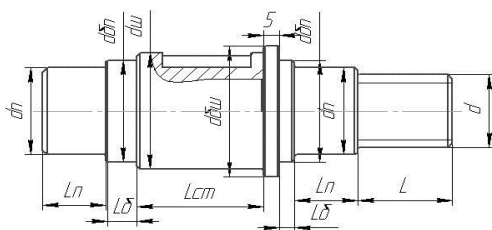


Рис. 3.1. Конструктивно проработанная схема вала

После оценки диаметров валов разрабатывают их конструктивную форму, с учетом технологии изготовления, и определяют линейные размеры всех участков вала (см. рис. 3.1).

Размеры выходных участков валов необходимо принимать стандартными. цилиндрическими (ГОСТ 12080-66) или коническими (ГОСТ 12081-66).

Длины участков ступенчатого вала определяют, используя расчетную схему и компоновочный чертеж механической передачи.

Стандартная длина выходного участка вала равна:

$$\ell \approx (1,5 \dots 1,8)d.$$

Длина выходного участка не должна выходить за пределы детали, установленной на нем (полумуфты, шкива, звездочки и т.д).

Длину посадочной поверхности под шестерню или колесо (шкив) назначают равной или большей ширины венца (обода шкива) колеса  $\ell_{ст} \geq b_2$ .

Принятую длину ступицы  $\ell_{ст}$  согласуют с расчетной исходя из прочности шпоночного (шлицевого) соединения:

$$\ell_p = \frac{2M_{кр}}{d(h-t)[\sigma]_{см}},$$

где  $\ell_p$  – рабочая длина шпонки

сталь  $[\sigma]_{см} = 100 \dots 120$  МПа;

чугун  $[\sigma]_{см} = 50 \dots 60$  МПа при неравномерной или ударной нагрузке напряжение понижают на 25...40%.

$h$  - ширина шпонки;

$t$  - глубина паза.

Для шпонки со скругленными концами  $\ell_p = \ell - b$ , для шпонки с плоскими концами  $\ell_p = \ell$  ГОСТ 23360-78

Длину ступицы согласуют также с диаметром вала

$\ell_{ст} \approx (1,5 \dots 1,8)d$ ;  $\ell_{ст} \approx \ell_p - b + (8 \dots 10)$ .

Чаще всего  $\ell_{ст} \approx \ell_p 2 d$

Если окажется, что  $\ell_{ст} \geq 1,5d$ , то вместо шпоночного соединения целесообразнее применить шлицевое.

### Ход работы:

1. Отрыть «Валы и механические передачи 2D».

Доступ к выбору режима работы с системой «Валы и механические передачи 2D» можно получить с панели инструментов. Чтобы включить панель, вызовите со страницы главного меню «Вид» команду «Панели инструментов» и в открывшемся меню панелей щелкните мышью по названию панели «Валы и механические передачи 2D». Название панели будет отмечено «галочкой», панель появится на экране.

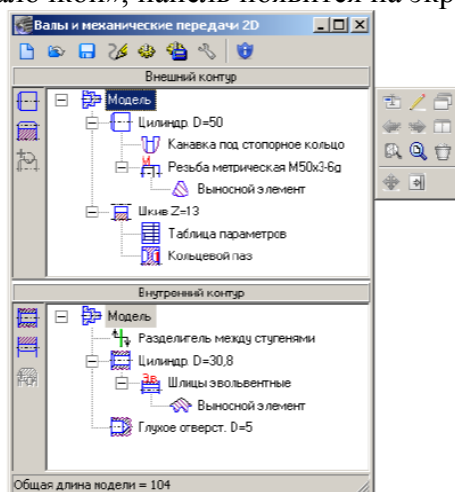


Рис. 3.2. Рабочая панель программы «Валы и механические передачи 2D»

## 2. Разработать конструкцию вала.

Конструкцию вала необходимо разработать в соответствии с материалом приведенном в разделе «Теоретические сведения». Вал необходимо проектировать с учетом его технологии изготовления.

Окно модуля построения системы Валы и механические передачи 2D состоит из заголовка, панели управления 12 и двух рабочих областей:

дерева ступеней и элементов внешнего контура – верхняя область;

дерева ступеней и элементов внутреннего контура – нижняя область.

Размеры областей могут быть изменены. Для этого необходимо подвести курсор к линии, разделяющей области (он примет форму двойной стрелки), нажать левую клавишу мыши и, не отпуская клавишу, переместить линию, устанавливая нужное соотношение размеров областей.

После начала построения новой модели или при редактировании существующей модели в левой части окна появляются панели инструментов внешнего и внутреннего контуров.

На панелях инструментов расположены кнопки, позволяющие выбирать тип проектируемых ступеней, дополнительные элементы ступеней.

Справа от окна модуля построения находится панель, на которой расположены кнопки управления выделенной ступенью (панель управления ступенью).

3. Для отрисовки твердотельной модели сконструированного вала необходимо вызвать функцию «Дополнительные построения» и в ней выбрать «Генерация твердотельной модели». Через некоторое время система создаст твердотельную модель вала.

## 4. Оформить рабочий чертеж вала.

## Лабораторная работа №4

### Тема: «Автоматизированный расчет сопротивления усталости вала»

**Цель:** приобретение практических навыков проектирования механических передач в компьютерной среде.

#### Задачи:

1. Научиться в автоматизированном режиме проводить расчёты на прочность и жесткость детали типа «Вал».

#### Теоретические сведения:

Расчет вала на прочность на ЭВМ выполняется после этапа конструирования. Расчет выполняют по программе APM WinMachine в следующей последовательности. Для ускорения процесса расчета студентам настоятельно рекомендуется самостоятельно познакомиться с примером расчета, изложенным в справочном пособии к программе.

Исходные данные.

1. Эскиз или чертеж вала.
2. Усилия, действующие в зубчатом зацеплении и на консолях вала.
3. Крутящий момент, передаваемый валом и его частота вращения.
4. Материал и ресурс вала.

#### Ход работы:

1. Загрузить в программе APM WinMachine (рис. 4.1) инженерный анализ и раздел APM Shaft (расчет, анализ и проектирование валов и осей) и вычертить в произвольной форме (без размеров) конфигурацию вала (рис. 4.2).

2. Придать каждому участку вала размеры, соответствующие его чертежу. Для этого подвести курсор к нужному

участку вала и правой кнопкой мыши вызвать меню «секция вала». Внести необходимые размеры по длине и диаметру и нажать кнопку «ОК». Система выполнит необходимые изменения (рис. 4.3). Продолжить изменения по другим участкам вала.

3. Используя инструменты программы нанести на перестроенный эскиз вала фаски, галтели и шпоночные пазы согласно чертежу (рис. 4.3, 4.4). Длину шпоночного паза назначить по исходному чертежу самостоятельно, а параметры сечения вызвать из «базы данных» для призматических шпонок (рис. 4.4).

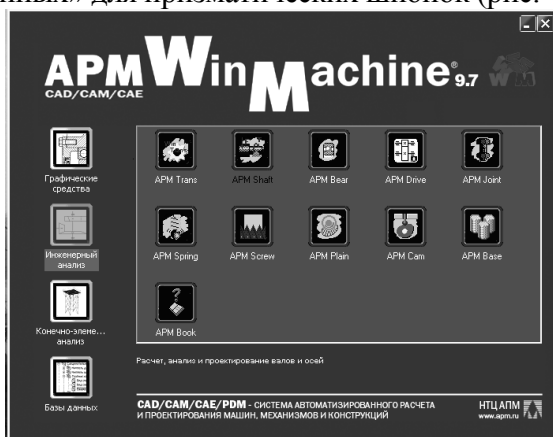


Рис. 4.1. Запуск программы

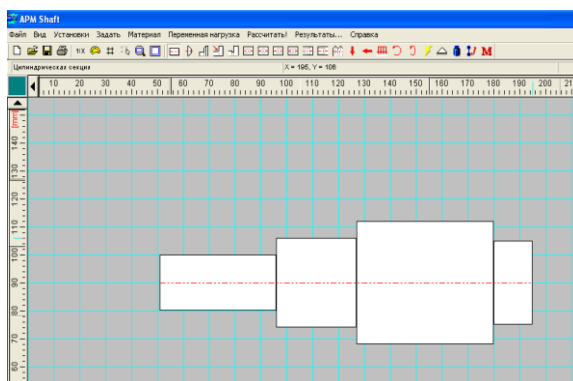
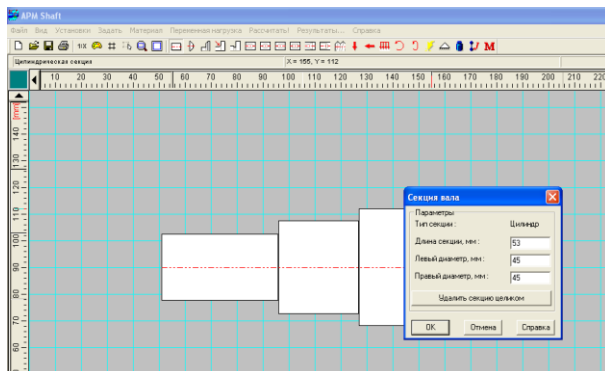
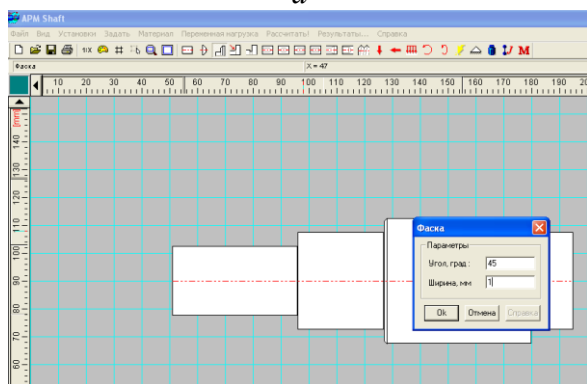


Рис. 4.2. Эскиз вала



*а*



*б*

Рис. 4.3. Вычерчивание вала по размерам

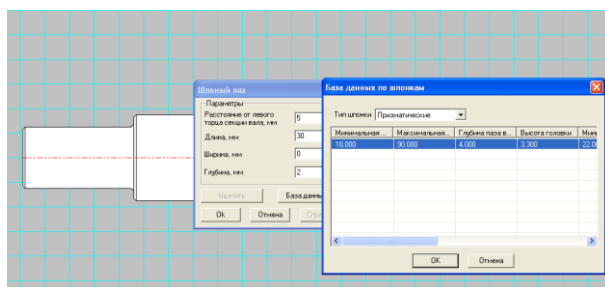
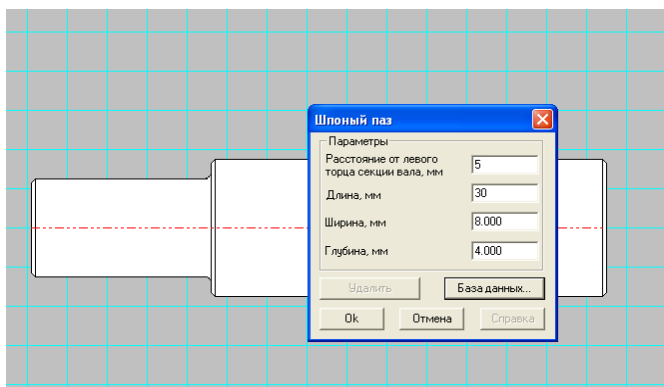
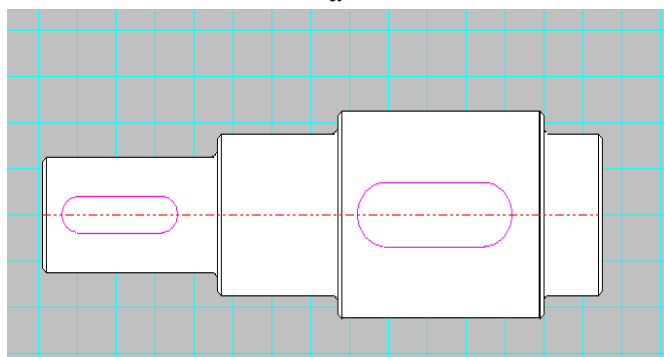


Рис. 4.4. Применение базы данных для шпоночных пазов



*а*



*б*

Рис. 4.5. Нанесение шпоночных пазов

4. Нанести по оси вала опоры и действующие нагрузки. Опоры устанавливают по центру тела качения подшипника, причем одна из них должна быть шарнирная, а другая – жесткая (рис. 4.6, 4.7).



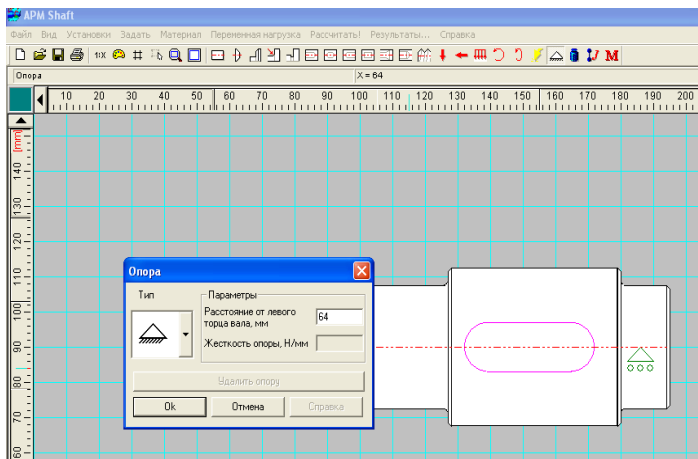


Рис. 4.6. Нанесение опор

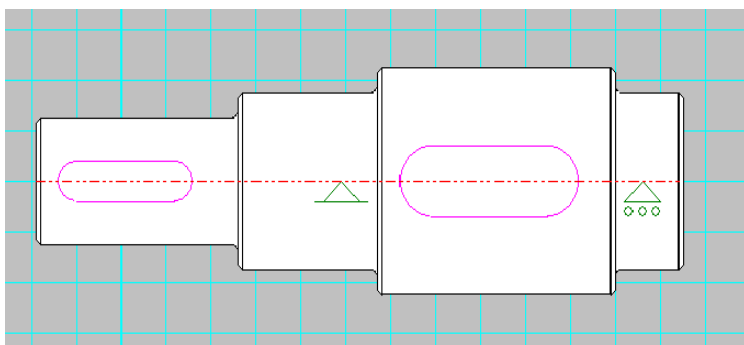


Рис.4.7. Вал с опорами и шпоночными пазы

Приложить крутящий момент: с одной стороны он должен быть положительным, а с другой – отрицательным. Крутящие моменты прикладывают посередине шпоночных пазов.

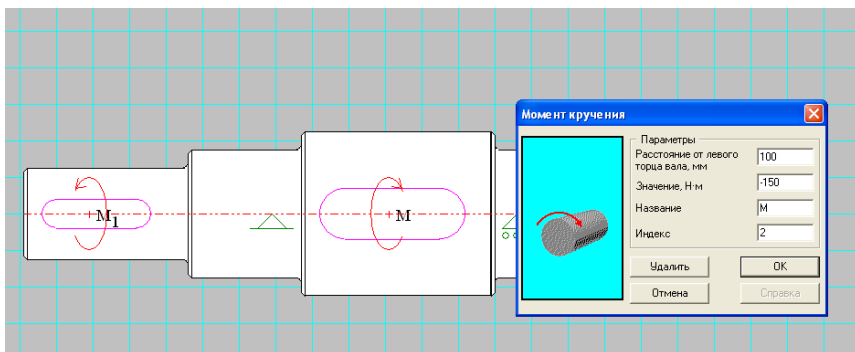


Рис. 4.8. Действие крутящего момента

Приложить по оси вала, где действует крутящий момент  $M_2$  (рис. 4.9), силы, действующие в зубчатой передаче (окружное усилие  $P_t$ , осевое усилие  $P_a$ , осевое усилие  $P_r$ ). Для этого в открывшемся окне «поперечная сила» ввести значения: вертикальная –  $P_r$ , горизонтальная –  $P_t$ .

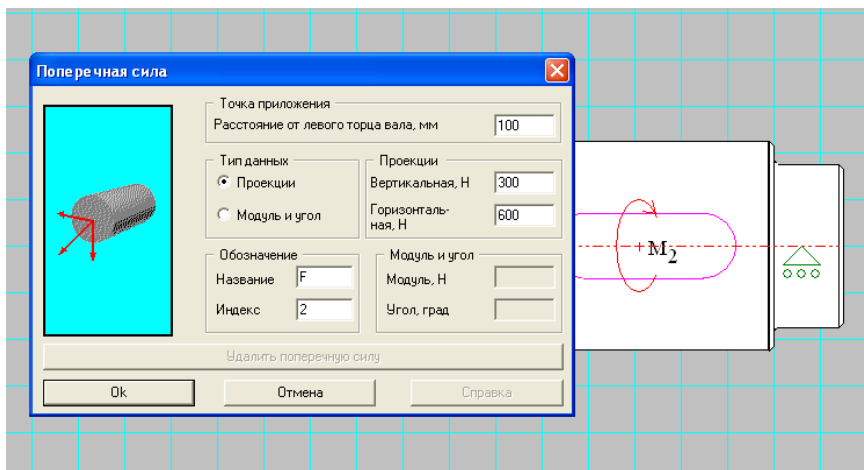


Рис. 4.9. Нанесение усилий окружного и радиального

На рис. 4.10 показан вал с нанесенным радиальными силами и крутящим моментом.

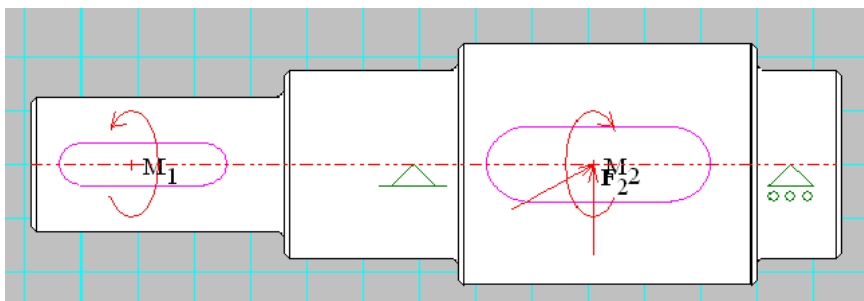


Рис. 4.10. Нанесение усилий окружного, радиального и крутящего момента

Приложить по оси вала осевую силу  $P_a$  (рис. 4.11) и компенсирующий изгибающий момент  $M_{и} = P_a \cdot D_2/2$ , где  $D_2$  – начальный диаметр колеса, (рис. 4.12).

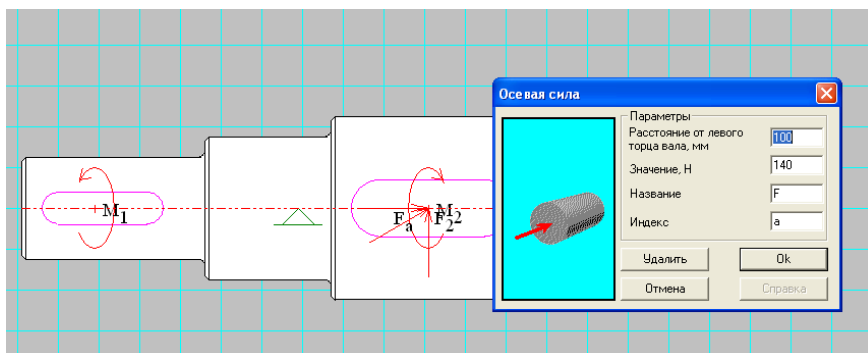


Рис. 4.11. Нанесение осевого усилия

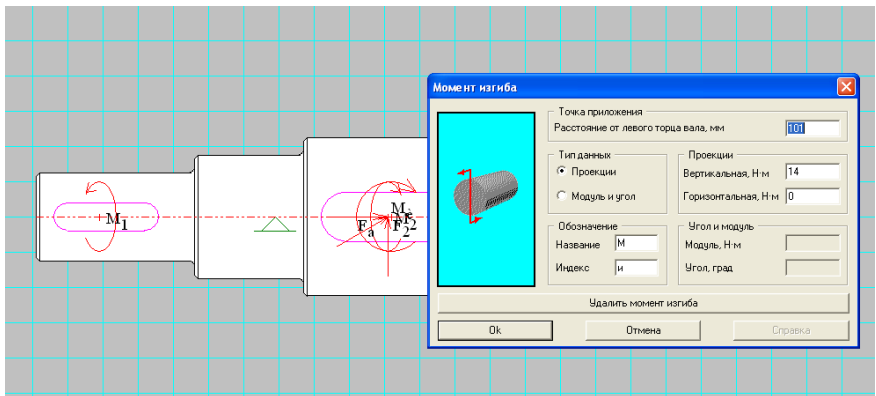


Рис. 4.12. Нанесение компенсирующего изгибающего момента

5. Назначить материал вала (Сталь 40Х), рис. 4.11.

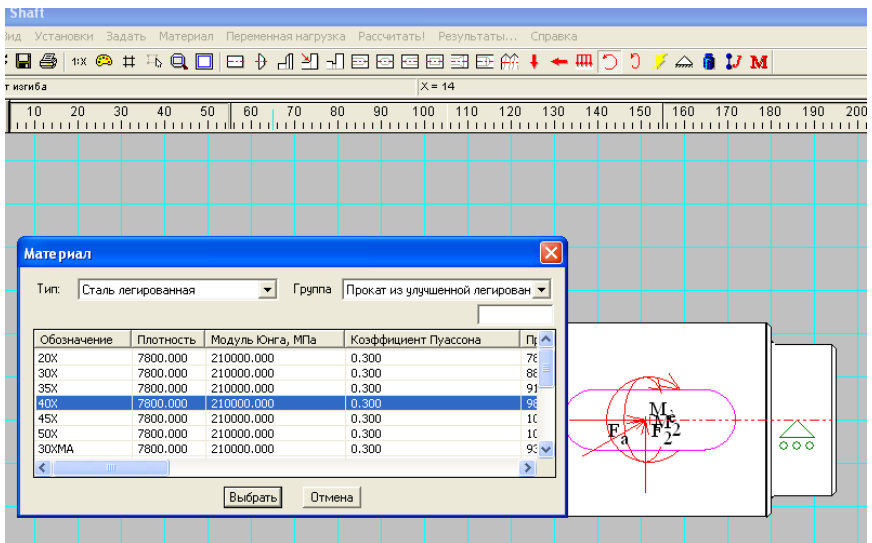


Рис. 4.13. Выбор материала вала

6. Выполнить общий расчет вала. В меню нажать клавишу «Рассчитать...» и ввести ресурс вала (в часах) и его частоту вращения,  $\text{мин}^{-1}$  (рис. 4.14).

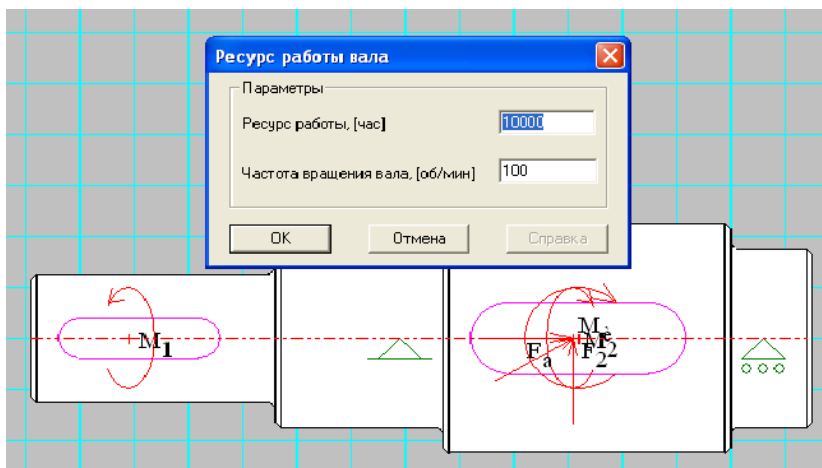


Рис. 4.14. Ввод дополнительных данных для общего расчета

7. Просмотреть результаты расчета. В меню нажать клавишу «Результаты...» (рис. 4.15) и затем в открывшемся меню «Усталостная прочность» (рис. 4.16), «Напряжения» ...

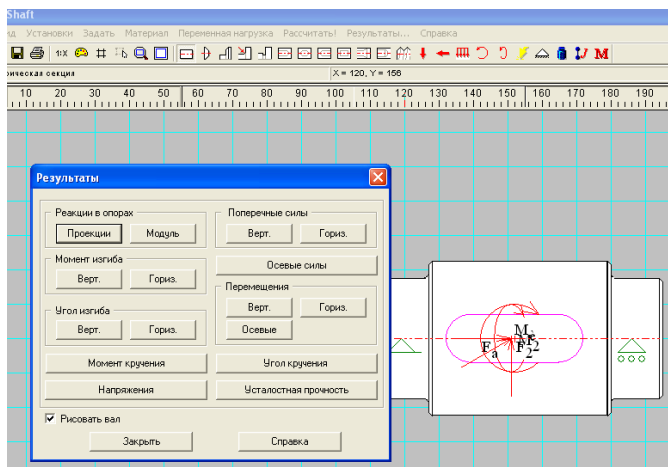


Рис. 4.15. Вывод результатов расчета

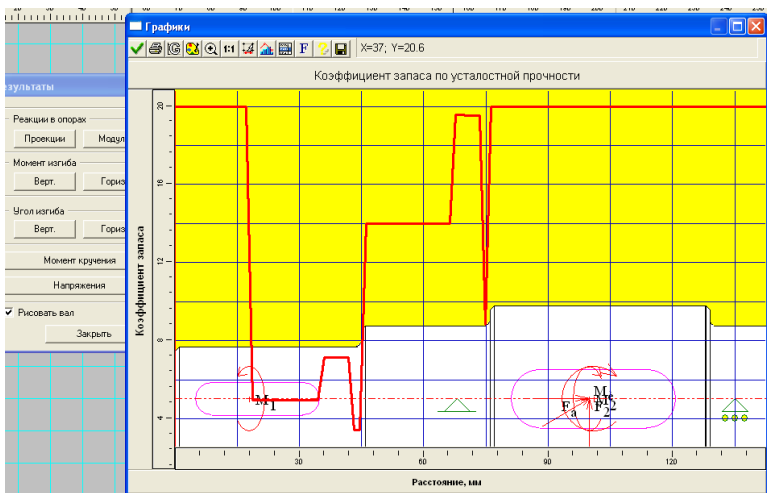


Рис. 4.16. Результаты усталостного расчета вала

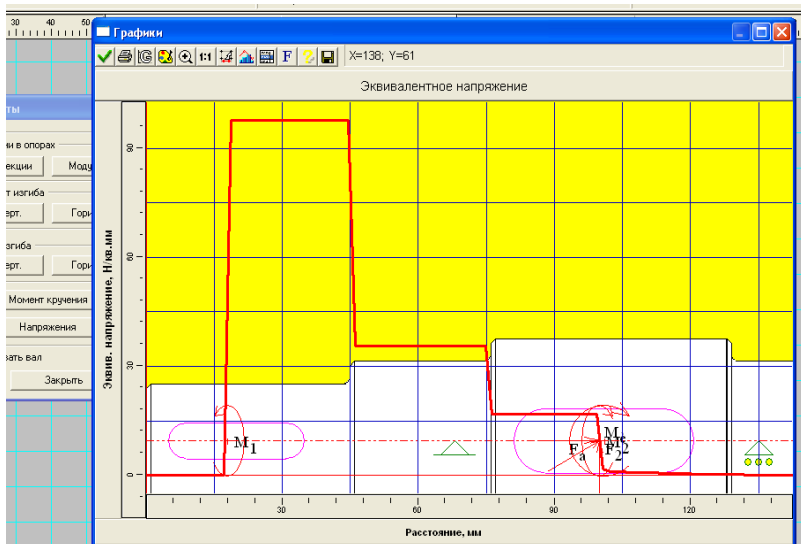


Рис. 4.17. Эквивалентные напряжения вала

8. Оформить отчет по лабораторной работе

## Лабораторная работа №5

### Тема: «Статический расчет вала методом конечных элементов»

**Цель:** приобретение практических навыков расчета методом конечных элементов.

#### **Задачи:**

1. Научиться создавать конечно-элементную модель вала.
2. Научиться проводить конечно-элементный расчет.
3. Научиться определять напряжения в материале вала.

#### **Теоретические сведения:**

В машиностроении часто бывают ситуации, когда необходимо рассчитывать системы, имеющие сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру. Машины дают возможность производить эти расчеты с помощью приближенных численных методов. Один из существующих методов - метод конечных элементов (МКЭ). Сейчас это самый распространенный способ решения задач механики твердого тела посредством численных алгоритмов. В наше время МКЭ занял лидирующую позицию и получил широкое применение. Суть метода состоит в дискретизации объекта для решения уравнений механики сплошной среды в предположении, что эти соотношения исполняются в пределах каждой из элементарных областей. Их называют конечными элементами. Они могут быть эквивалентными реальной части пространства, как, к примеру, пространственные элементы, или же быть математической абстракцией, как элементы стержней, балок, пластин или оболочек. В пределах конечного элемента назначаются свойства ограничиваемого им участка объекта и описываются поля нужных величин. Параметры из второй группы назначаются в узлах элемента, а затем берутся интерполиру-

ющие функции, посредством которых соответствующие значения можно подсчитать в любой точке внутри элемента или на его границе. Задача математического описания элемента сводится к тому, чтобы связать действующие в узлах факторы. Имея математический аппарат для получения матриц жесткости конечных элементов, приведения нагрузок, приложенных к поверхности или в объеме элемента к усилиям в узлах, а также решения обратных задач: вычисления полей деформаций и перемещений в узлах можно построить алгоритм МКЭ.

### **Ход работы:**

1. Импортировать 3D модель вала, предварительно построенного в программе “Компас 3D”, в программу “APM WinMachine” (рисунок 5.1). Для расчета вала методом конечных элементов используем программу “APM WinMachine” модуль “APM Studio”.

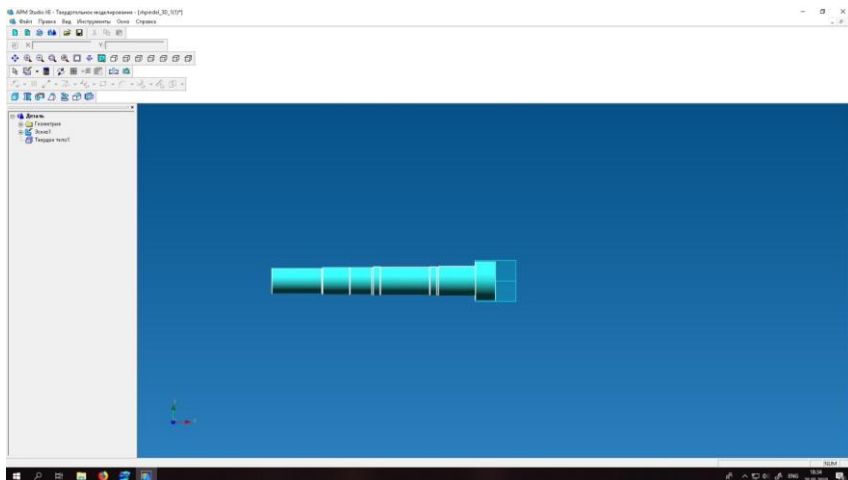


Рисунок 5.1. Импортированная 3D модель вала



2. Далее перейдем в режим расчета методом конечных элементов и расставим закрепления в местах установки подшипников (рисунок 5.2):

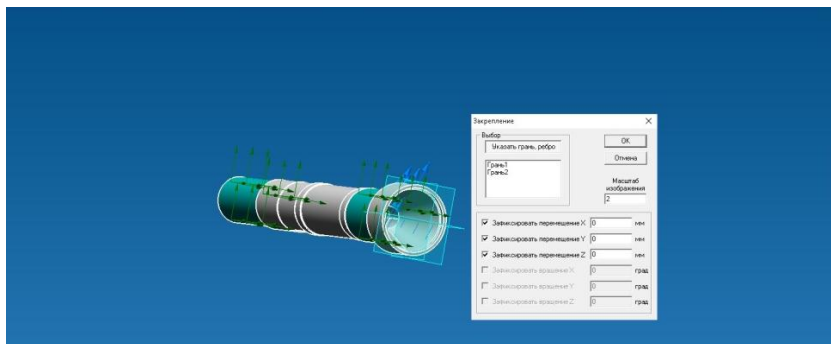


Рисунок 5.2. Расстановка закреплений

3 Приложить силы, действующие на вал:

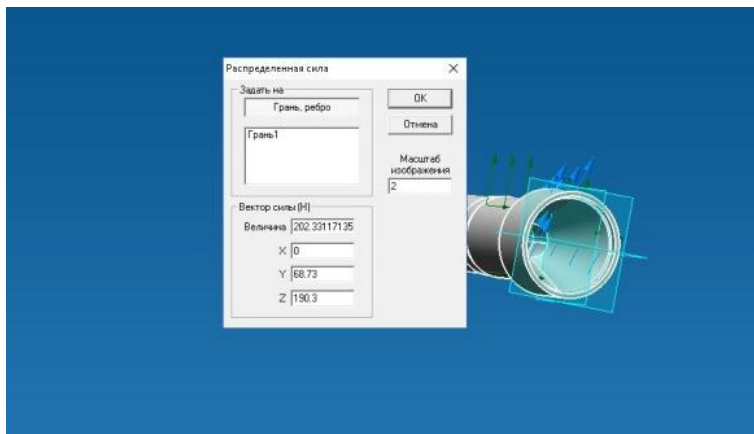


Рисунок 5.3. Приложение сил к модели вала

4. Далее необходимо разбить вал на конечные элементы (рисунок 5.4):

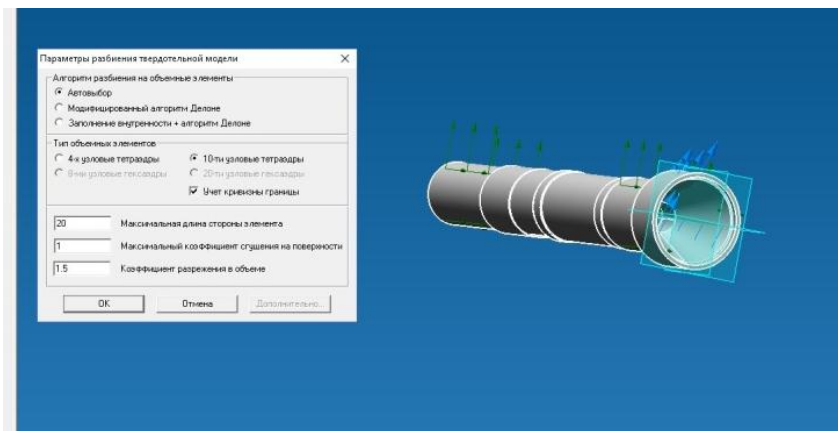


Рисунок 5.4. Разбиение вала на конечные элементы

И получаем конечно-элементную модель вала (рис. 5.5):

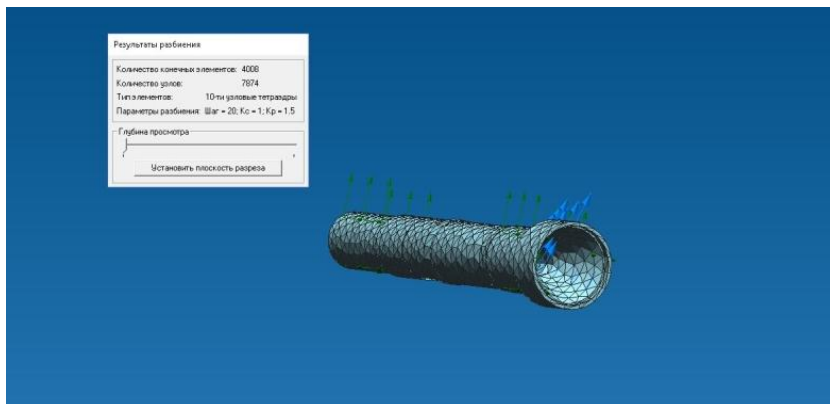


Рисунок 5.5. Конечно-элементная модель вала

5. Провести статический расчет вала (рис. 5.6):

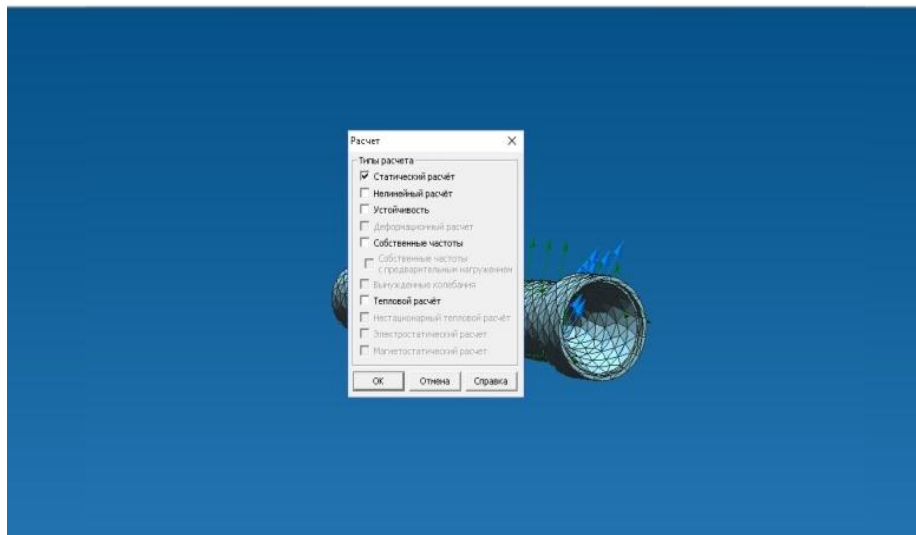


Рис. 5.6. Статический расчет вала

6. Сформировать отчет в автоматизированном режиме.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нилов В.А. Детали машин и основы конструирования: расчетно-графический практикум: учеб. пособие / В.А. Нилов, Р.А. Жилин, О.К. Битюцких, А.В. Демидов. Старый Оскол. Издательств: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2019, 136 с.
2. Демидов А.В. Программное обеспечение проектирования КПО: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А.В. Демидов Воронеж: ВГТУ, 2011. – 177 с.
3. Берлинер, Э.М. САПР в машиностроении [Текст] / Э.М. Берлинер. – М.: Форум, 2014. – 448 с. – 13 экз.
4. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Иванов. – М.: Форум, 2012. – 223с. – 13 экз.
5. Демидов, А.В. Основы конструирования деталей машин: учеб. пособие [Текст] / А.В. Демидов. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. – 183 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Лабораторная работа №1.....	5
2. Лабораторная работа №2.....	9
3. Лабораторная работа №3.....	16
4. Лабораторная работа №4.....	21
5. Лабораторная работа №5.....	31
Библиографический список.....	36

# СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ  
направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств» (профиль  
«Металлообрабатывающие станки и комплексы»)  
всех форм обучения

Составитель  
Демидов Алексей Владимирович

В авторской редакции

Компьютерный набор А. В. Демидова

Подписано к изданию 16.11.2021.  
Уч.-изд. л. 2,4

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14