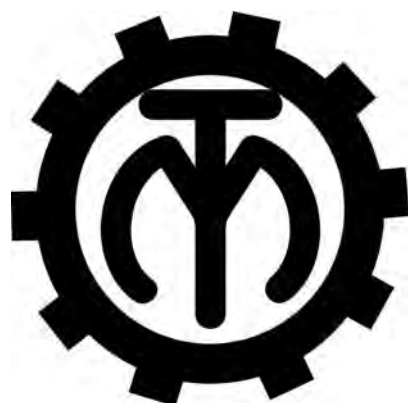


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ МАШИН

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2019

УДК 621.01/.03
ББК 30.2-5-05
К 19

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «9» апреля 2019 г.,
протокол № 15

Составители: канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова;
канд. техн. наук, доц. О. Е. Печковская

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

Методические рекомендации предназначены для выполнения практических работ по дисциплине «Компьютерные системы инженерного анализа динамики и прочности машин» студентами специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения».

Учебно-методическое издание

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ МАШИН

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2019



Содержание

Инструкция по охране труда при проведении практических работ.....	4
1 Знакомство с системой трехмерного моделирования SolidWorks. Использование интерфейса	5
2 Построение сборок в SolidWorks	20
Список литературы.....	25



Инструкция по охране труда при проведении практических работ

Общие требования безопасности

1 Для работы на ПЭВМ в компьютерном классе допускаются студенты, прошедшие обучение и проверку знаний по мерам безопасности.

2 Студенты должны соблюдать правила внутреннего распорядка. Не допускается находиться в классах в верхней одежде, в состоянии алкогольного, токсического или наркотического опьянения.

3 При проведении практических работ необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

Требования безопасности перед началом работы

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения практической работы, а также безопасные приемы его выполнения.

2 В случае неисправности оборудования немедленно сообщить об этом преподавателю и до ее устранения к работе не приступать (работать на неисправном оборудовании запрещается).

Требования безопасности во время работы

Студенту при работе на ПЭВМ запрещается:

- прикасаться к задней стенке системного блока при включенном питании;
- загромождать верхние панели устройств ненужными бумагами и посторонними предметами;
- допускать попадания влаги на поверхность системного блока, монитора, рабочую поверхность клавиатуры и другие устройства.

Требования безопасности по окончании работы

1 Произвести закрытие всех активных задач.

2 Отключить питание системного блока.

3 Осмотреть и привести в порядок рабочее место.

4 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных неисправностях оборудования.




1 Знакомство с системой трехмерного моделирования SolidWorks. Использование интерфейса

Цель работы: ознакомление с системой трехмерного моделирования SolidWorks и изучение принципов построения трехмерных моделей деталей.

Теоретические сведения

1 Создание нового документа. Новый документ в SolidWorks можно создать несколькими способами:

- нажать кнопку «Создать»  на стандартной панели инструментов;
- выбрать в меню пункты «Файл», «Новый».

Откроется окно «Новый документ SolidWorks» (рисунок 1).

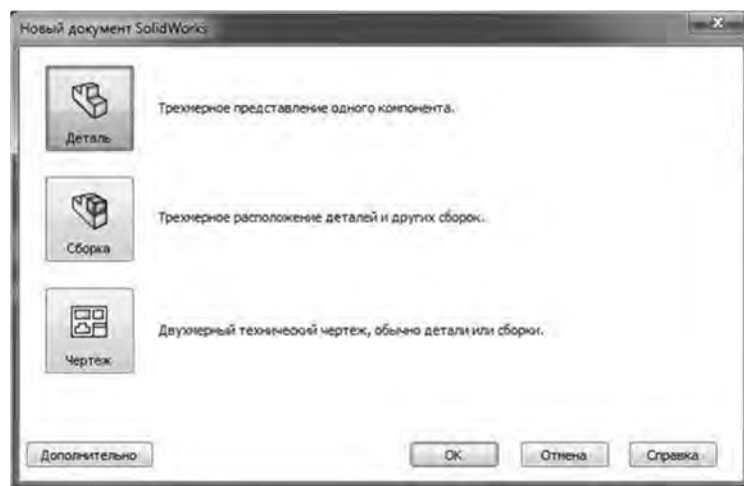


Рисунок 1 – Диалоговое окно создания нового документа SolidWork

В диалоговом окне «Новый документ SolidWorks» представлены три вида стандартных шаблонов документов: «Деталь», «Сборка» и «Чертеж».

Шаблон представляет собой основу нового документа, которая содержит сведения о формате, свойствах документа, а также параметры пользователя, такие как единицы измерения, примечания, или стандарты по оформлению чертежей.

Шаблон документа «Деталь» предназначен для создания трехмерных моделей отдельных компонентов (деталей).

Шаблон «Сборка» предназначен для создания трехмерных моделей сборок нескольких компонентов (деталей).

Шаблон «Чертеж» предназначен для создания двухмерных чертежей по имеющимся моделям отдельных деталей или же сборок.

2 Знакомство с пользовательским интерфейсом SolidWorks. Основные элементы пользовательского интерфейса SolidWorks представлены на рисунке 2.

Графическая область представляет собой пространство, в котором на

экране отображается деталь, сборка или чертеж, а также происходит построение и оформление вышеперечисленных объектов.

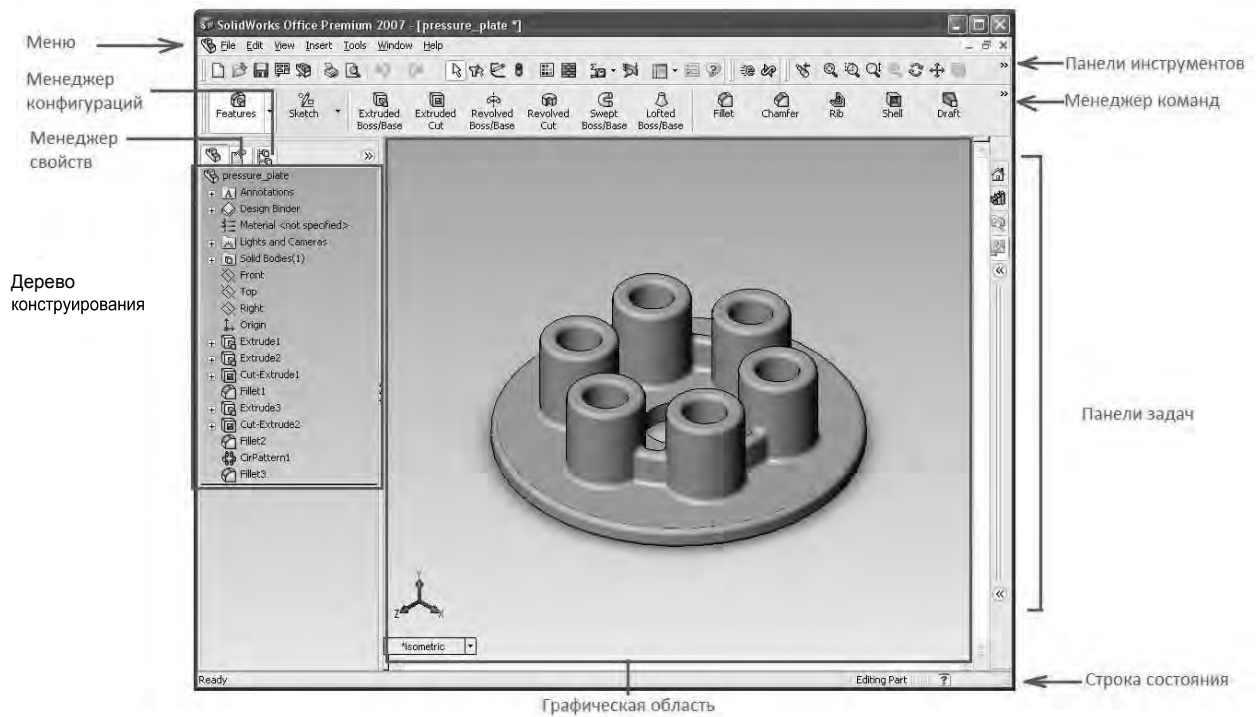


Рисунок 2 – Пользовательский интерфейс SolidWorks

Дерево конструирования (FeatureManager) расположено в левой части окна SolidWorks и представляет собой набор строк, содержащих полную информацию о трехмерном объекте.

Менеджер конфигураций (ConfigurationManager) предназначен для создания нескольких конфигураций деталей и сборок в документе.

Панели инструментов отображают различные кнопки, активизирующие команды. На панели инструментов «Элементы» сосредоточены все кнопки команд, позволяющие различными способами строить твердотельные модели.

Менеджер команд представляет собой контекстную панель инструментов, которая обновляется автоматически.

Строка состояния расположена в нижнем правом углу окна и предназначена для отображения информации о выполняемой функции.

3 Отображение трехмерных моделей объектов. Возможности SolidWorks при отображении трехмерных моделей обширны и создают максимальное количество удобств для конструктора.

Команды для отображения трехмерных моделей располагаются в меню «Вид», а наиболее часто использованные команды продублированы кнопками на панели инструментов «Вид» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Панель инструментов «Вид»



– Предыдущий вид – позволяет вернуть предыдущий вид объекта.



– Изменить размер экрана – производит масштабирование объекта до размеров окна графической области.



– Увеличить элемент вида – увеличивает область объекта при помощи граничной рамки.



– Увеличить/уменьшить вид – приводит к увеличению масштаба вида при перетаскивании указателя мыши вверх и, соответственно, к уменьшению масштаба при перетаскивании указателя вниз.



– Вращать вид – позволяет вращать вид модели в графической области. Данная команда активируется, если нажать на колесо мыши.



– Перемещать – позволяет перемещать вид параллельно самому себе в пределах окна графической области.



– Панель инструментов «Стандартные виды» – обеспечивает ориентацию модели, сборки или эскиза, используя один из стандартных видов по умолчанию.

Панель инструментов «Стандартные виды» обеспечивает ориентацию модели, сборки или эскиза, используя один из стандартных видов по умолчанию.

Панель инструментов «Стандартные виды» открывается при нажатии на треугольник справа от иконки (рисунок 4).



– Спереди – эта команда разворачивает модель, отображая вид спереди.



– Сзади – эта команда разворачивает модель, отображая вид сзади.



– Слева – эта команда разворачивает модель, отображая вид слева.



– Справа – эта команда разворачивает модель, отображая вид справа.



– Сверху – эта команда разворачивает модель, отображая вид сверху.



– Снизу – эта команда разворачивает модель, отображая вид снизу.



– Изометрия – эта команда разворачивает деталь в изометрическую ориентацию.



– Триметрия – эта команда поворачивает деталь в триметрическую ориентацию.



– Диметрия – модель разворачивается в диметрическую ориентацию.

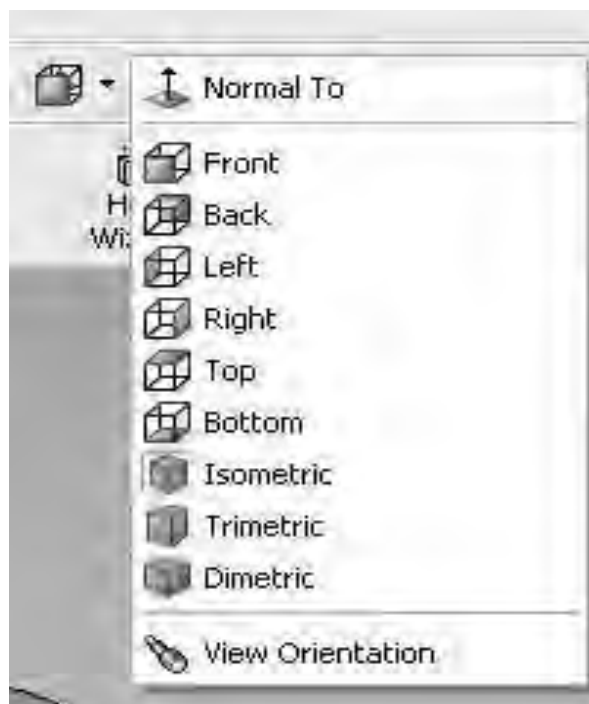






Рисунок 4 – Панель инструментов «Стандартные виды»

 – Перпендикулярно – эта команда располагает выбранную плоскость или грань детали параллельно экрану дисплея.


 – Каркасное представление – отображает все кромки трехмерной модели.


 – Невидимые линии отображаются – приводит к отображению всех кромок модели, при этом невидимые в текущем виде кромки изображаются другим цветом.

 – Удалить невидимые линии – отображает на модели только те кромки, которые можно видеть в текущей ориентации вида.

 – Закрасить с кромками – эта команда позволяет увидеть модель в закрашенном виде с четко прорисованными кромками.

 – Закрасить – позволяет увидеть закрашенное отображение модели.

 – Тени в режиме «Закрасить» – эта команда отображает тени под моделью.


 – Разрез – отображает вырез детали или сборки с помощью указанных плоскостей или граней.

Порядок выполнения практической работы

Задание 1

Построить трехмерную модель, изображенную на рисунке 5.

Порядок выполнения задания

1 Создать новый файл, выбрать шаблон «Деталь»  и сохранить созданный документ в своей папке, выбрав в главном меню пункт «Файл», «Сохранить как...». В открывшемся диалоговом окне в поле «Имя файла»

задать имя файла «Практическая_работа_1 (ФИО студента)».

2 Построить трехмерную модель прямоугольного параллелепипеда (основание) с размерами $100 \times 200 \times 15$ (рисунок 6).



Рисунок 5 – Трехмерная модель

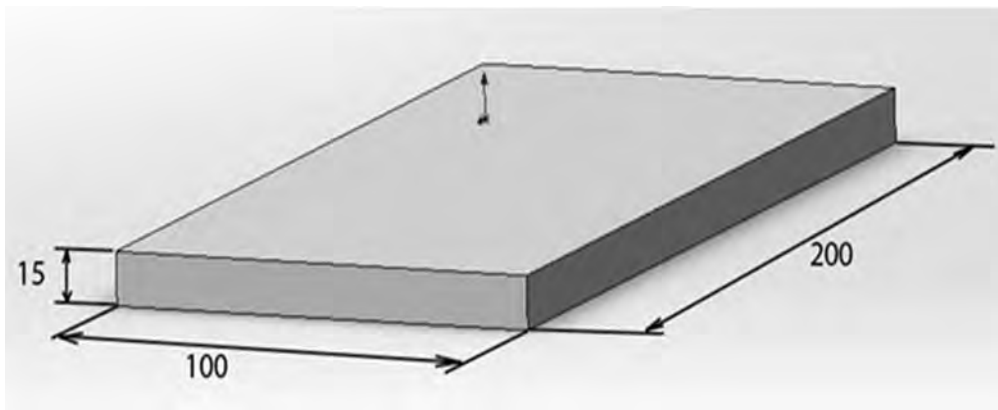



Рисунок 6 – Трехмерная модель параллелепипеда

Для этого создать эскиз, нажав на кнопку  Эскиз на панели инструментов (или выбрать в меню пункт «Вставка», «Эскиз»). В графической области отобразятся три плоскости «Спереди», «Сверху» и «Справа» (рисунок 7).

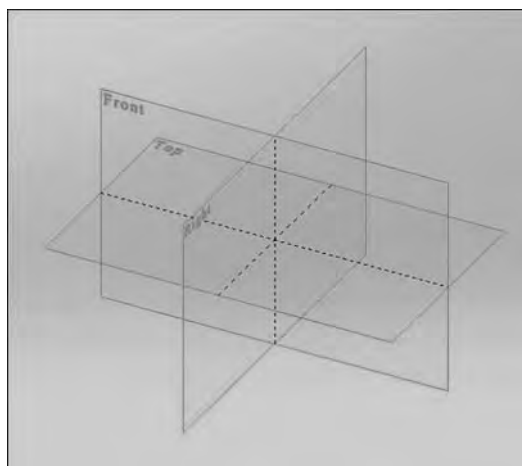


Рисунок 7 – Отображение плоскостей

Выбрать плоскость «Сверху». После того как будет создан новый эскиз, или будет открыт для редактирования существующий эскиз, на панели менеджера команд отобразятся кнопки инструментальной панели «Эскиз» (рисунок 8).

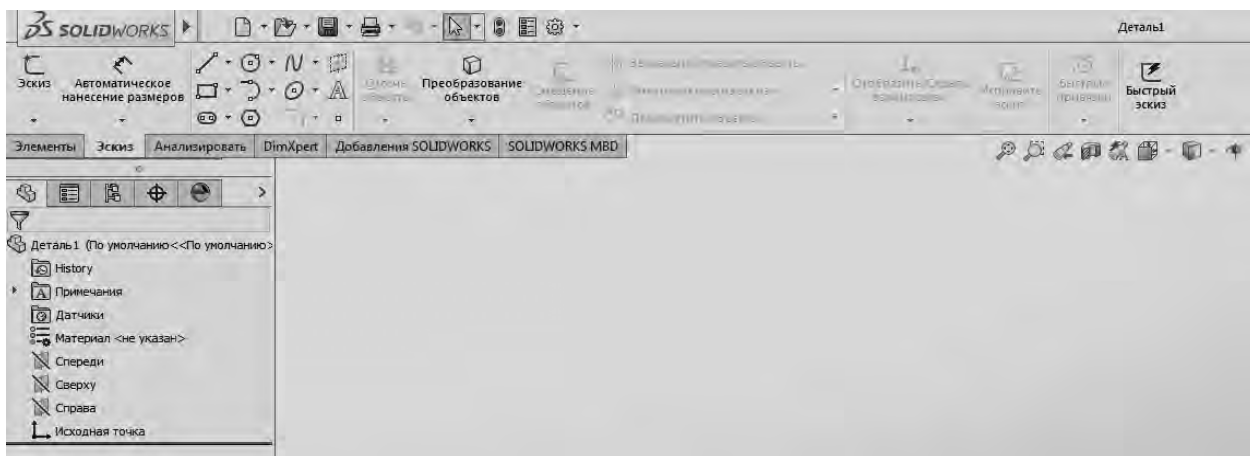



Рисунок 8 – Инструментальная панель «Эскиз»

Выбрать на инструментальной панели «Эскиз» «Прямоугольник по углам» .

Переместить указатель в исходную точку эскиза .

Зажав левую клавишу мыши, перетащить указатель в верхний правый угол и построить прямоугольник произвольного размера (рисунок 9).



Рисунок 9 – Построение прямоугольника произвольного размера



Выбрать команду «Автоматическое нанесение размеров» (рисунок 10).

Выбрать верхнюю линию и нажать над ней, чтобы нанести размер.

Щелкнуть двойным кликом по размеру и в открывшемся диалоговом окне указать размер 200. Аналогично для второй стороны прямоугольника указать размер 100 (рисунок 11).

Далее необходимо нажать на кнопку «Элементы». После чего на панели менеджера команд отобразятся кнопки инструментальной панели «Элементы». Выбрать команду «Вытянутая бобышка/основание» (рисунок 12).

В правой части экрана отобразится Менеджер Свойств (PropertyManager). Вид эскиза изменится на триметрию, и предварительный просмотр вытяжки отобразится в графической области (рисунок 13).

В «Менеджере свойств» в разделе «Направление 1» выбрать «На заданное расстояние», а для параметра «Глубина»  установить значение 15 (рисунок 14). И затем нажать .

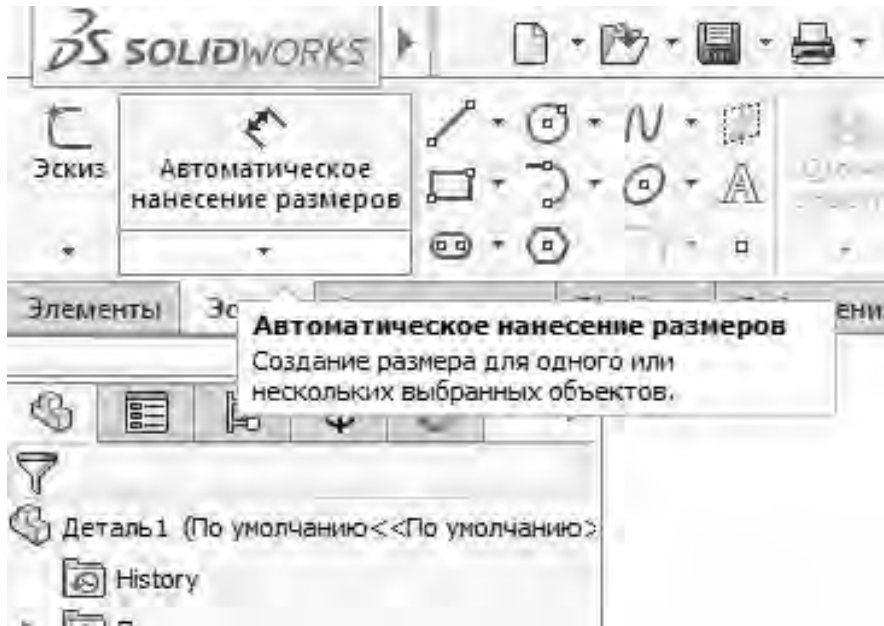


Рисунок 10 – Команда «Автоматическое нанесение размеров» на панели инструментов «Эскиз»

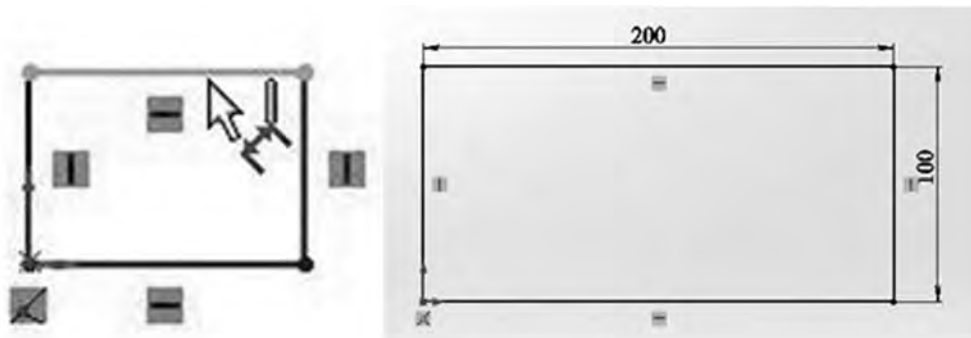


Рисунок 11 – Эскизы основания с проставленными размерами сторон прямоугольника

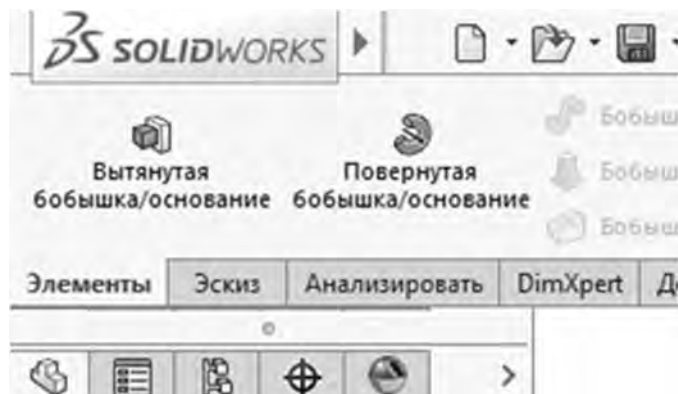


Рисунок 12 – Панель инструментов «Элементы»

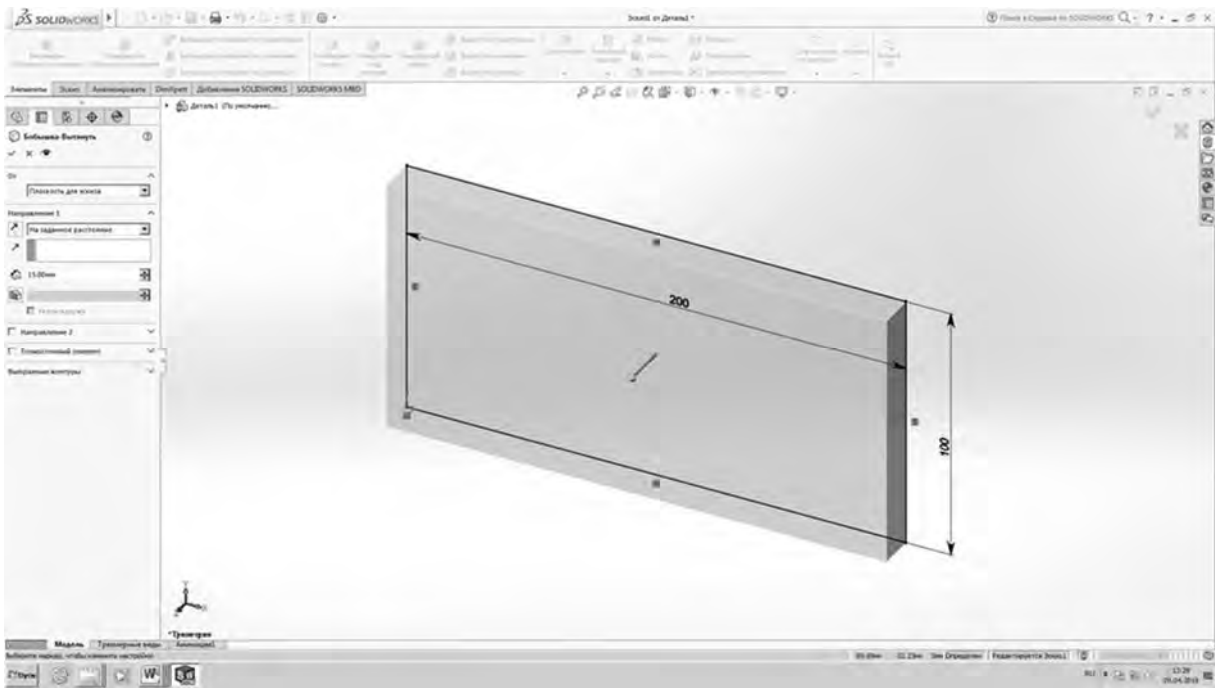


Рисунок 13 – Предварительный просмотр вытяжки

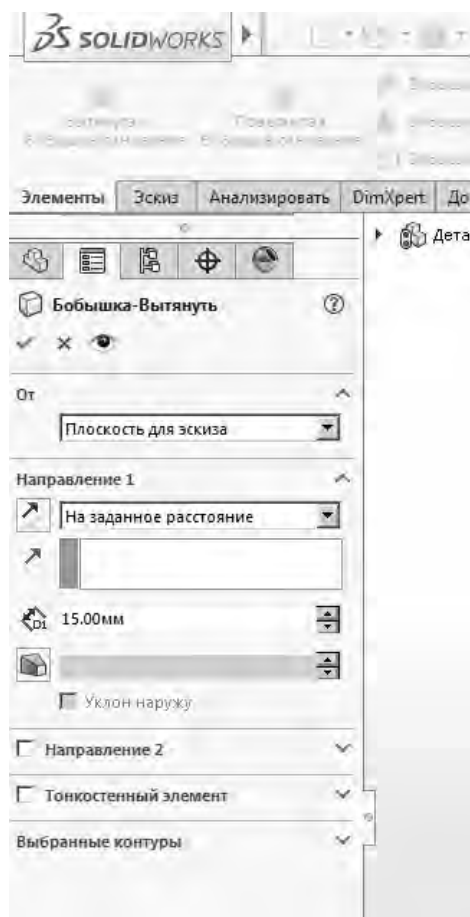


Рисунок 14 – Задание параметров элемента «Вытянутая бобышка/основание»

Новый элемент «Бобышка-Вытянуть1» появится в дереве конструирования «FeatureManager» и в графической области.

3 Добавить к построенной модели основания бобышку круглой формы (диаметром 70 мм, высотой 20 мм) (рисунок 15).

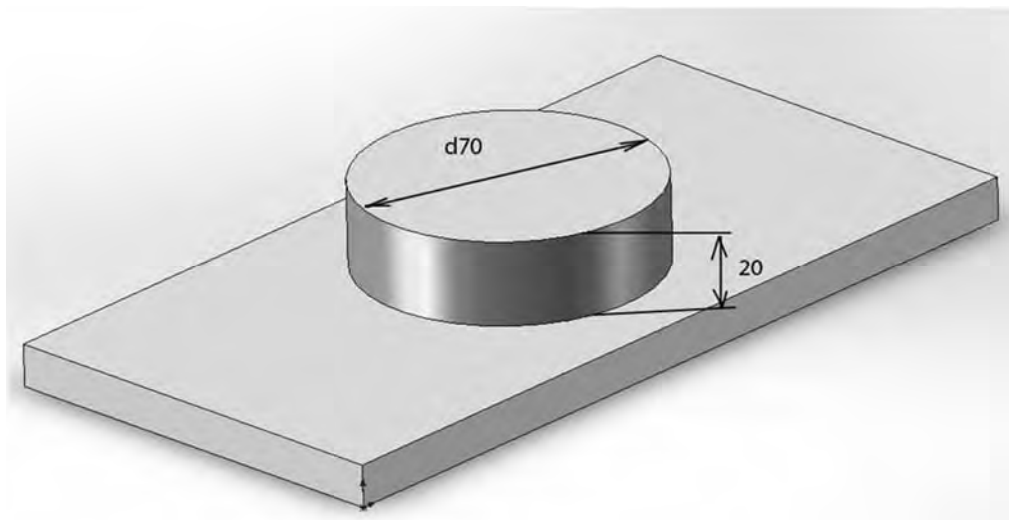


Рисунок 15 – Трехмерная модель основания с бобышкой круглой формы

Выбрать верхнюю грань основания, щелкнув по ней левой клавишей мыши (рисунок 16).

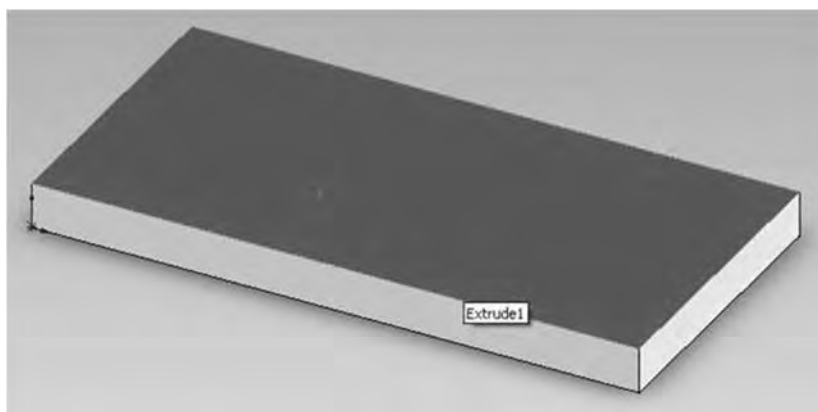






Рисунок 16 – Трехмерная модель основания с выбранной верхней гранью

Нажать на кнопку «Эскиз»  на панели инструментов либо нажать правую клавишу мыши и в открывшемся меню выбрать «Вставить эскиз».

Затем на панели инструментов «Стандартные виды» нажать «Перпендикулярно» . Модель развернется таким образом, чтобы созданный эскиз отобразился параллельно дисплею.

С помощью команды «Окружность»  панели инструментов «Эскиз» построить основание бобышки. Затем командой «Автоматическое нанесение размеров» проставить необходимые размеры (рисунок 17).

Далее перейти в панель инструментов «Элементы» и нажать кнопку «Вытянутая бобышка/основание». В Менеджере свойств в поле «Глубина» указать 20 мм. Нажать .

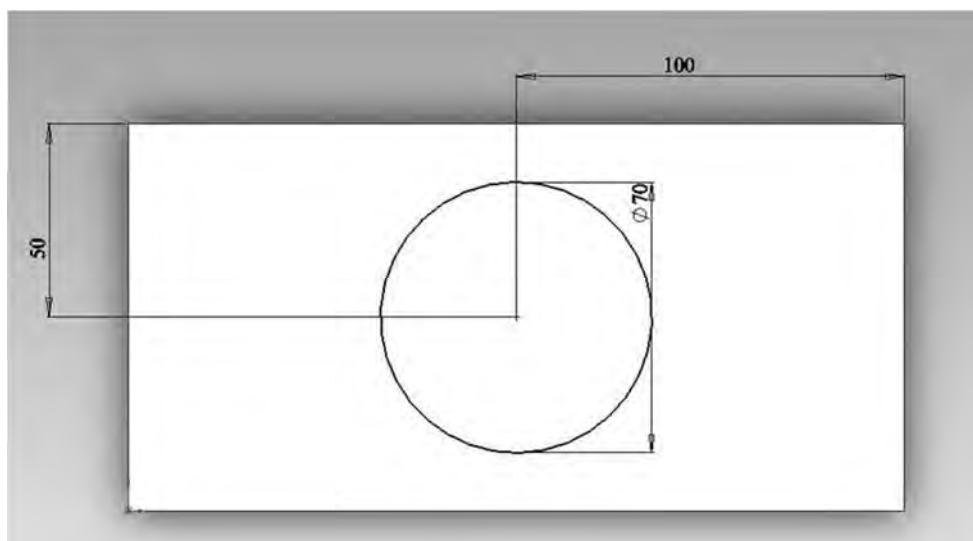


Рисунок 17 – Эскиз бобышки с проставленными размерами

4 Добавить к построенной модели детали отверстие диаметром 50 мм (рисунок 18).

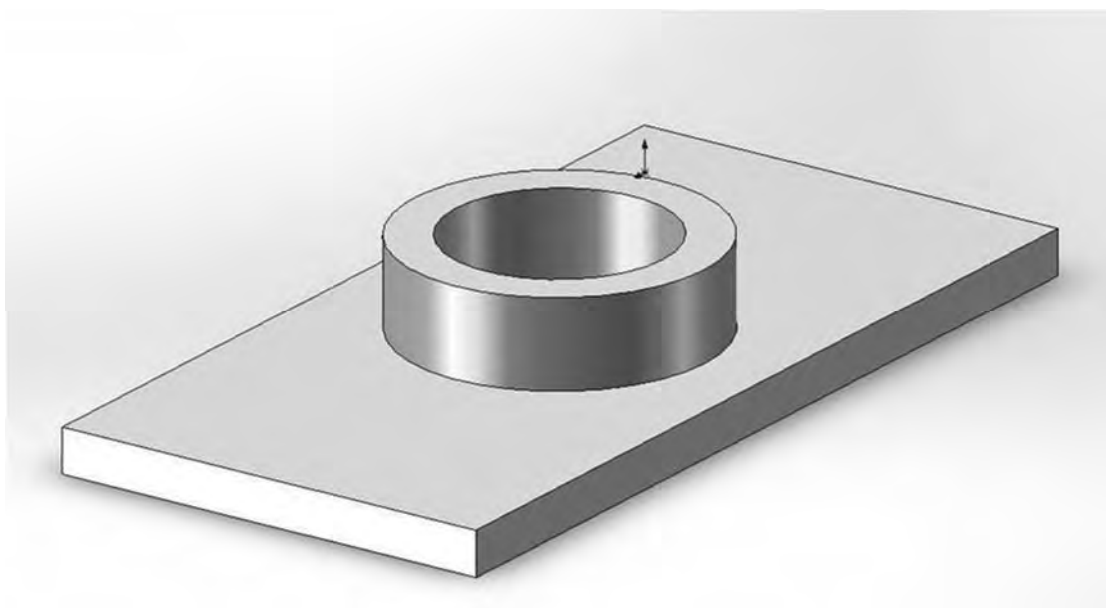



Рисунок 18 – Трехмерная модель детали с бобышкой круглой формы и отверстием

Создать эскиз на верхней грани круглой бобышки. Построить окружность диаметром 50 мм. Для этого выбрать команду «Окружность» и переместить курсор в центр бобышки. Курсор должен изменить форму, как показано на рисунке 19. Это означает, что центр окружности совпадает с центром бобышки.

Перейти в панель инструментов «Элементы» и нажать кнопку «Вытянутый вырез» (рисунок 20).

В Менеджере свойств в окне группы «Направление 1» установить для параметра «Граничное условие» значение «Насквозь» (рисунок 21). И нажать .

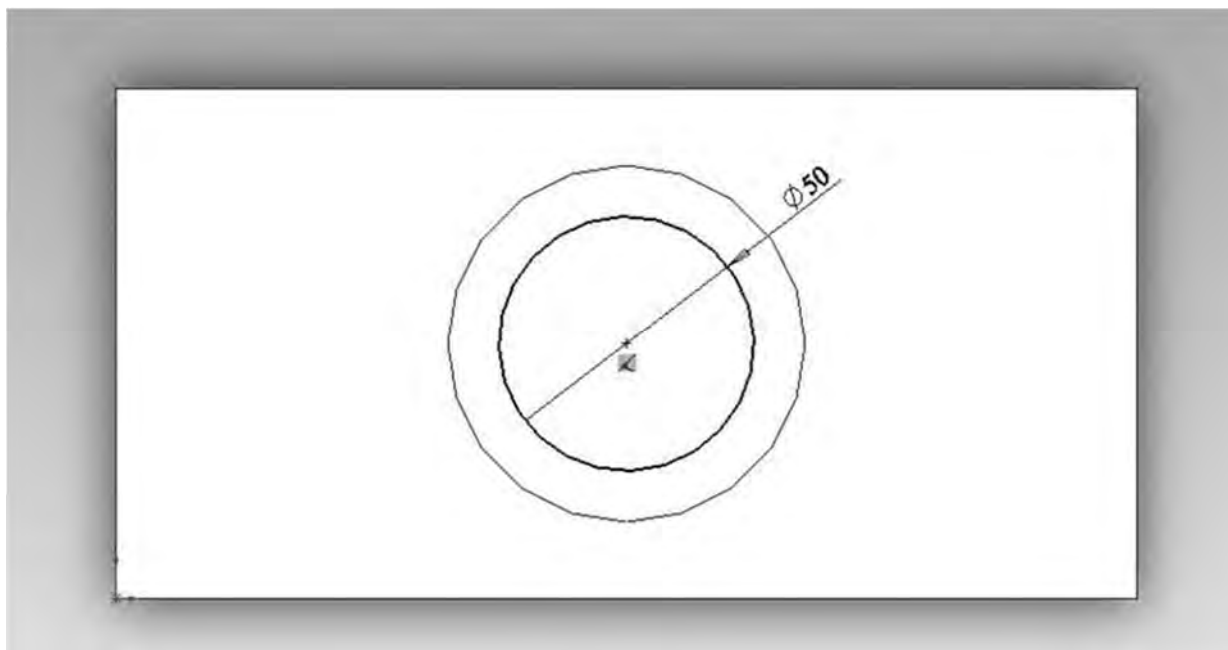


Рисунок 19 – Эскиз бобышки с отверстием и проставленными размерами

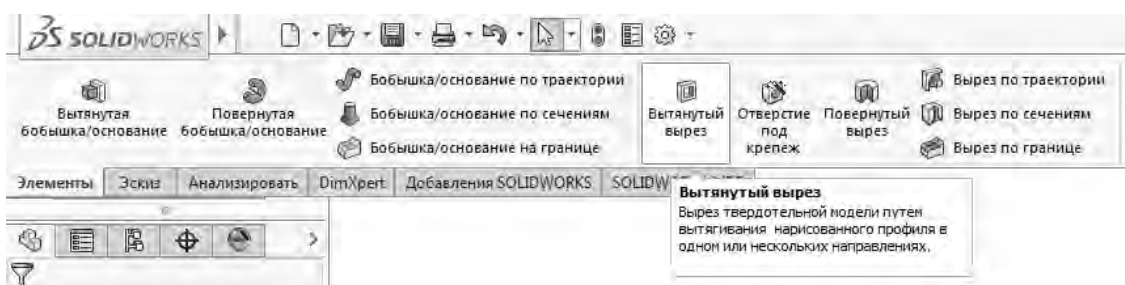


Рисунок 20 – Панель инструментов «Элементы»

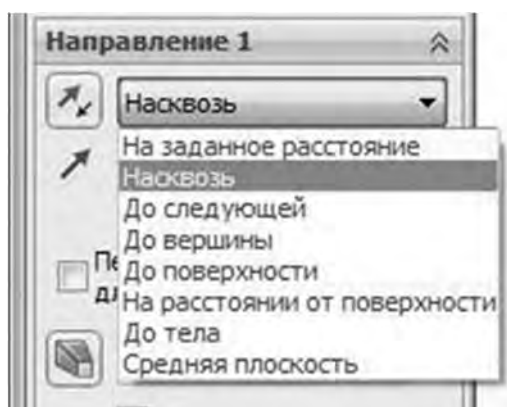



Рисунок 21 – Задание параметров элемента «Вытянутый вырез»

5 Добавить к построенной модели детали четыре отверстия диаметром 20 мм на расстоянии 20 мм от двух торцов (рисунок 22).

6 Создать скругления четырех кромок радиусом 10 мм с помощью команды  панели инструментов «Элементы».

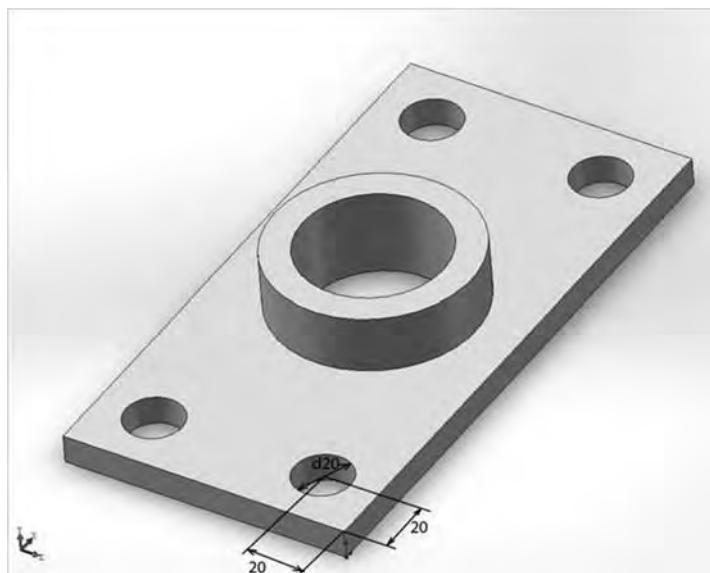


Рисунок 22 – Трехмерная модель детали с отверстиями в основании

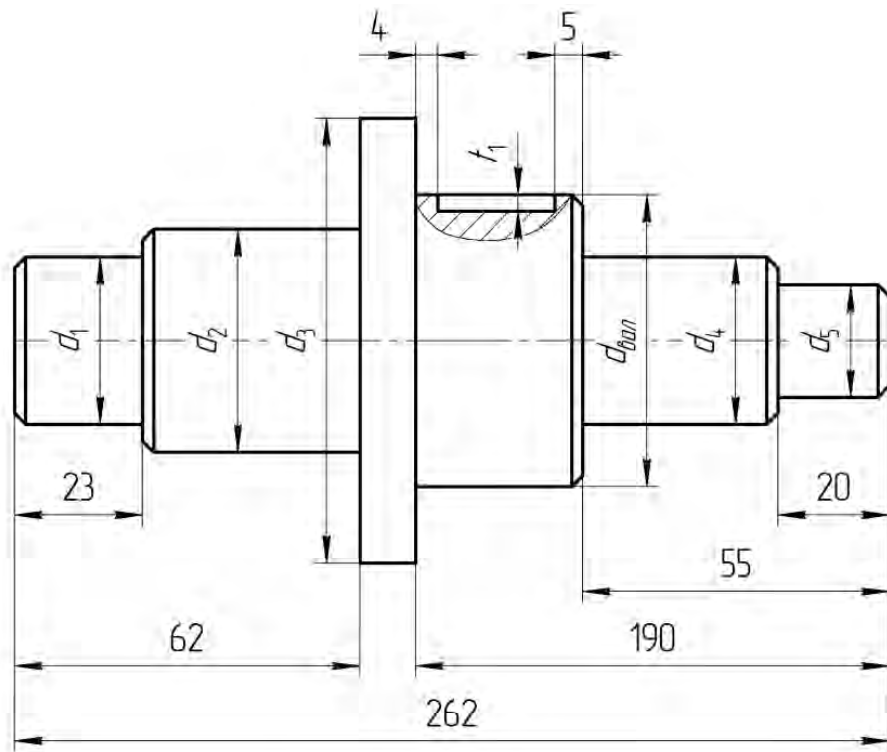
Задание 2

В соответствии с заданием построить трехмерную модель вала (рисунок 23). Варианты заданий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты заданий

Номер варианта	Эскиз проектируемого вала (рисунок 22)	$d_{вал}$	b	t_1
1	a	42	12	5
2	b	28	8	4
3	a	35	10	5
4	b	36	10	5
5	a	50	16	5,5
6	b	42	12	5
7	a	38	10	5
8	b	22	6	4
9	a	42	12	5
10	b	34	10	5
11	a	25	8	4
12	b	30	8	4
13	a	40	12	5
14	b	54	16	6
15	a	32	10	5
16	b	63	18	7
17	a	28	8	4
18	b	42	12	5
19	a	34	10	5
20	b	35	10	5

a)



б)

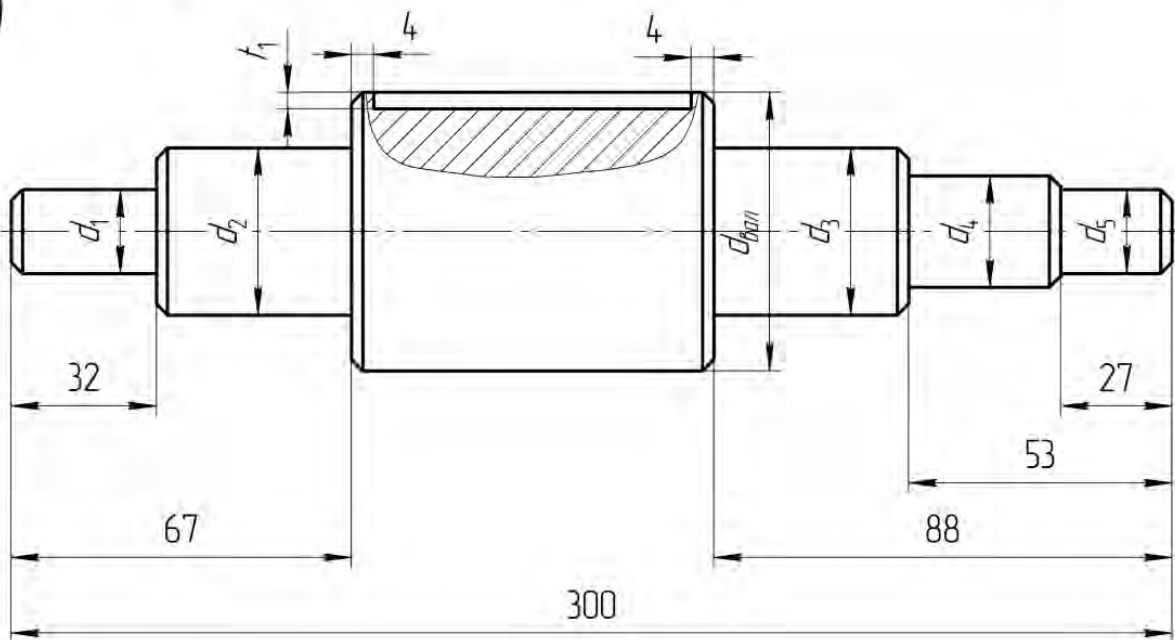


Рисунок 23 – Эскизы проектируемых валов

Для вала, изображенного на рисунке 23, а, принять:

$$d_1 = 0,6d_{вал};$$

$$d_2 = 0,75d_{вал};$$

$$d_3 = 1,5d_{вал};$$

$$d_4 = 0,6d_{вал};$$

$$d_5 = 0,35d_{вал}.$$

Диаметры d_1 и d_4 должны быть кратны 5.

Для вала, изображенного на рисунке 23, б, принять:

$$d_1 = 0,4d_{вал};$$

$$d_2 = 0,65d_{вал};$$

$$d_3 = 0,65d_{вал};$$

$$d_4 = 0,55d_{вал};$$

$$d_5 = 0,4d_{вал}.$$

Диаметры d_2 и d_3 должны быть кратны 5.

Порядок выполнения задания

1 Создать новый файл, выбрать шаблон «Деталь» и сохранить созданный документ в своей папке под именем «Вал_(ФИО студента)».

2 Используя команду «Осевая линия», создать ось симметрии вала, проходящую через ось координат. Используя команду «Линия», вычертить половинчатый контур вала. Установить необходимые размеры, используя команду «Автоматическое нанесение размеров» (рисунок 24).

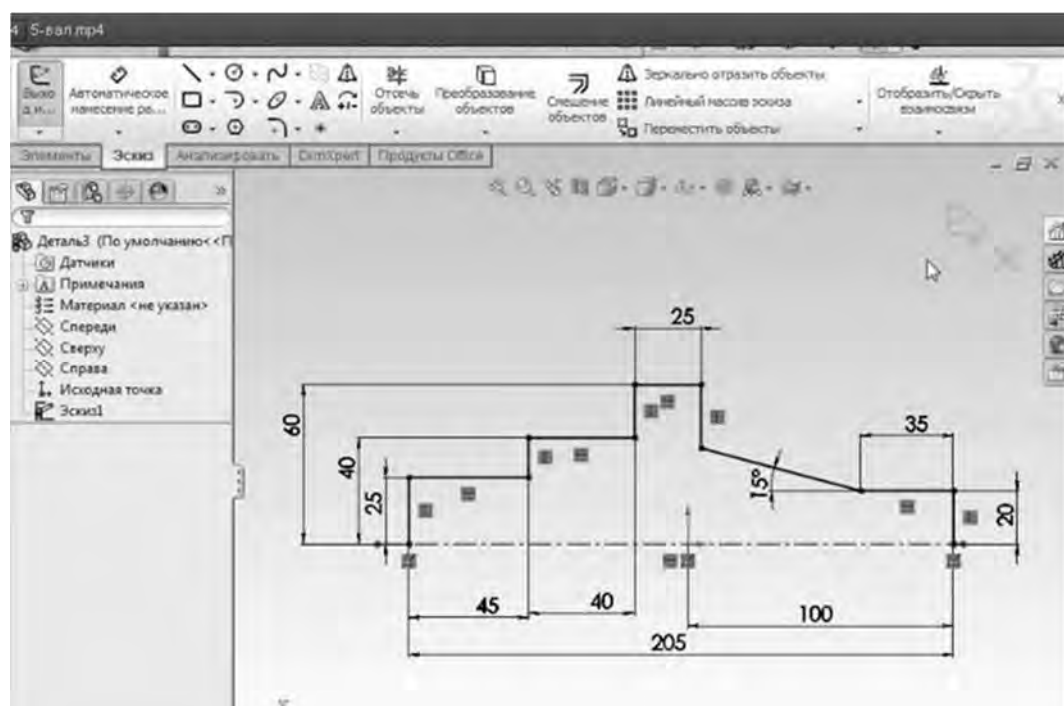


Рисунок 24 – Пример эскиза вала с проставленными размерами

Во вкладке «Элементы» выбрать команду «Повернутая бобышка» (рисунок 25).

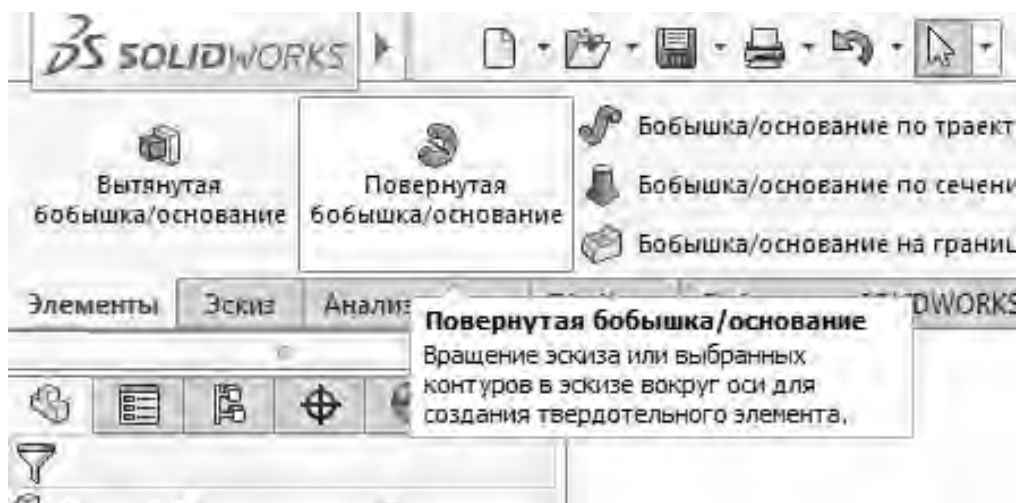


Рисунок 25 – Панель инструментов «Элементы»

3 Проставить фаски, используя команды «Скругление», «Фаска» (рисунок 26).

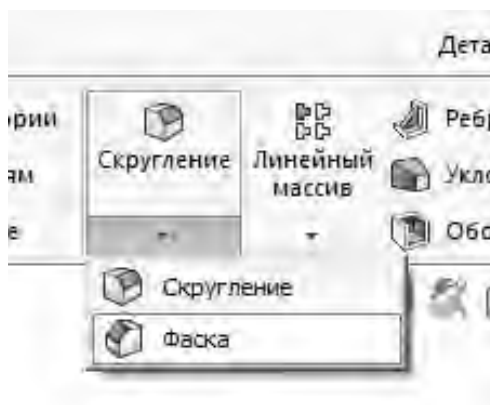


Рисунок 26 – Команды «Скругление», «Фаска» панели инструментов «Элементы»

4 Для создания шпоночного паза в дереве конструирования выбрать плоскость «Спереди». Удерживая кнопку «Ctrl» и левую кнопку мыши, переместить данную плоскость вверх, указывая направление на величину радиуса шейки вала, на которой расположен шпоночный паз.

На перемещенной плоскости в режиме «Эскиз» построить эскиз шпоночного паза шириной b .

Перейти в режим «Элементы». Используя команду «Вытянутый вырез» прорезать паз на глубину t_1 в соответствии с заданием.

5 Сохранить созданную 3D-модель вала.

Контрольные вопросы

- 1 Какие задачи решает программный комплекс САПР SolidWorks?
- 2 Что такое САПР?
- 3 Назовите основные виды панелей инструментов SolidWorks.
- 4 Назовите основные объекты проектирования в SolidWorks.
- 5 Какие инструменты построения эскиза вы знаете?
- 6 Из каких этапов состоит общая процедура проектирования в SolidWorks?
- 7 Для чего используются привязки эскиза?
- 8 Как задаются параметры эскиза?
- 9 Назовите основные способы выбора объектов в SolidWorks.
- 10 Назовите основные этапы построения модели вала в SolidWorks.

2 Построение сборок в SolidWorks

Цель работы: приобретение практических навыков в построении 3D-моделей сборок в среде трехмерного моделирования SolidWorks.


Теоретические сведения


Сборка – это узел, состоящий из двух или более деталей, называемых также компонентами, в одном документе SolidWorks. Расположение и ориентация компонентов задается с помощью сопряжений, устанавливающих взаимосвязи между компонентами.

В SolidWorks можно создать сложные сборки, состоящие их многочисленных компонентов, которые могут быть деталями или другими сборками, называемыми узлами сборок. Для большинства операций поведение компонентов одинаково для обоих типов. Добавление компонента в сборку создает связь между сборкой и компонентов. При открытии сборки программой SolidWorks она находит файл компонента, чтобы отобразить его в сборке. Изменения в компоненте автоматически отражаются на сборке.

Расширение документа сборки – .sldasm.

В дереве конструирования FeatureManager отображаются следующие объекты для сборок:

- сборка верхнего уровня (первый объект);
- различные папки, например, «Примечания» и «Сопряжения» ;
- плоскости сборки и исходные точки;
- компоненты (узлы сборки и отдельные детали);
- элементы сборки (вырезы или отверстия) и массивы компонентов.

Каждый компонент можно развернуть или свернуть, чтобы просмотреть его подробное описание, нажав на знак  рядом с именем компонента.



В сборке можно использовать один и тот же компонент несколько раз. При каждом добавлении в сборку такого компонента суффикс <n> увеличивается на единицу.

В дереве конструирования FeatureManager имя компонента может содержать префикс, предоставляющий информацию о состоянии его взаимосвязей с другими компонентами. Используются следующие префиксы:

- неопределен (-);
- переопределен (+);
- зафиксирован (ф);
- не решен (?).

Отсутствие префикса означает, что положение компонента полностью определено.

Задание 1

Построить трехмерную модель сборки вала с зубчатым колесом. Модель вала взять из практической работы № 1.

Методика выполнения практической работы

1 Создать новый документ сборки в SolidWorks. Выбрать в меню пункты «Файл», «Новый». Выбрать шаблон «Сборка» (рисунок 27).

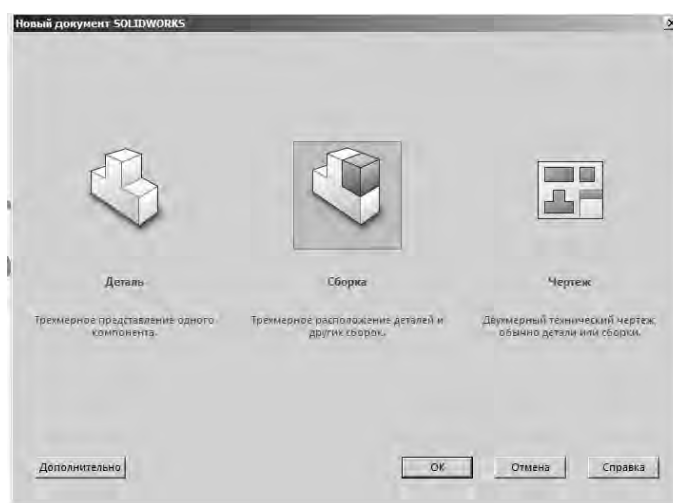


Рисунок 27 – Диалоговое окно создания нового документа SolidWorks

2 Добавить базовый компонент. В созданном документе сборки в менеджере свойств нажать кнопку «Обзор» (рисунок 28) и выбрать базовую деталь (вал).

3 Установить шпонку на вал. В библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Din», «Шпонки», «Шпонка призматическая», «Четырехугольная шпонка» (рисунок 29).левой кнопкой мыши перетащить изображение шпонки в область чертежа. При этом в левой части экрана появится меню свойств шпонки. В соответствии с вариантом задания, выдан-

ным преподавателем, выбрать диаметр стержня (диаметр вала под шпонку) и длину шпонки.

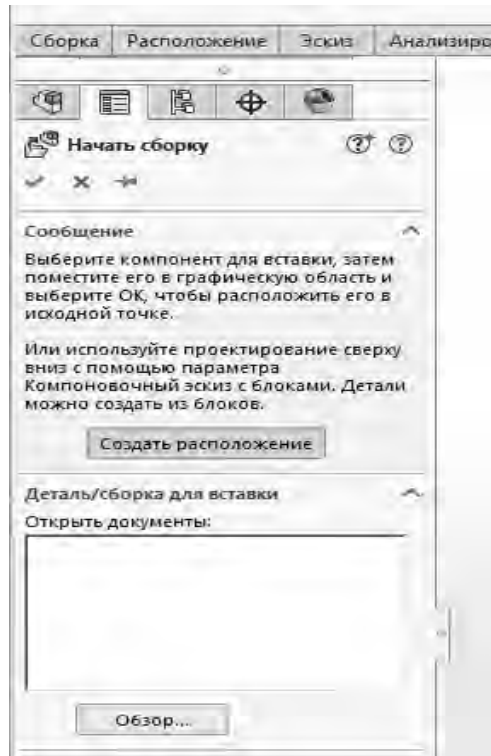


Рисунок 28 – Диалоговое окно для добавления базового компонента

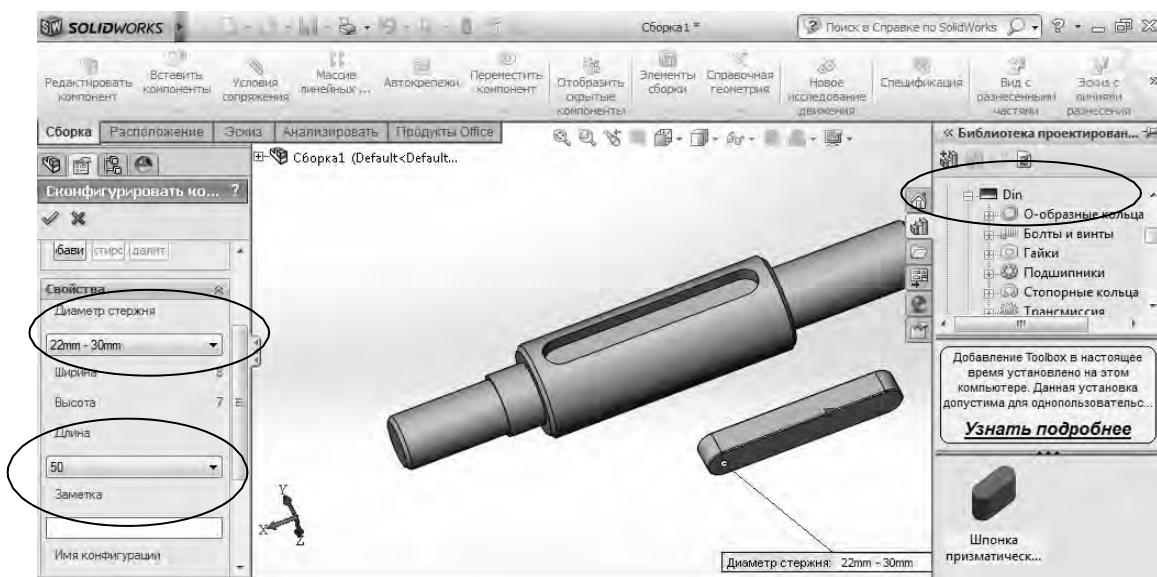
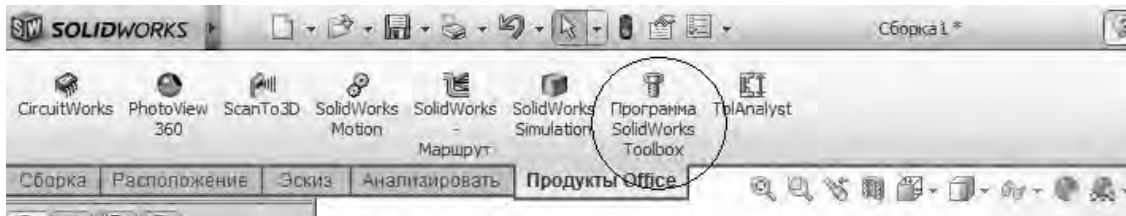


Рисунок 29 – Диалоговое окно с выбором шпонки

Выбрать на панели инструментов «Сборка» команду «Условия сопряжения». В менеджере свойств команды «Сопряжение» выбрать вид сопряжения «Совпадение» и выбрать последовательно плоскость основания шпонки, и плоскость шпоночного паза (см. рисунок 29). Плоскость основания шпонки и плоскость шпоночного паза окажутся в одной плоскости. Нажать «ОК».

Создать новое сопряжение шпонки и вала. Выбрать тип сопряжения «Концентричность» и указать последовательно скругленную поверхность шпонки и шпоночного паза. Шпонка установится в шпоночный паз (рисунок 30). И затем нажать «ОК».

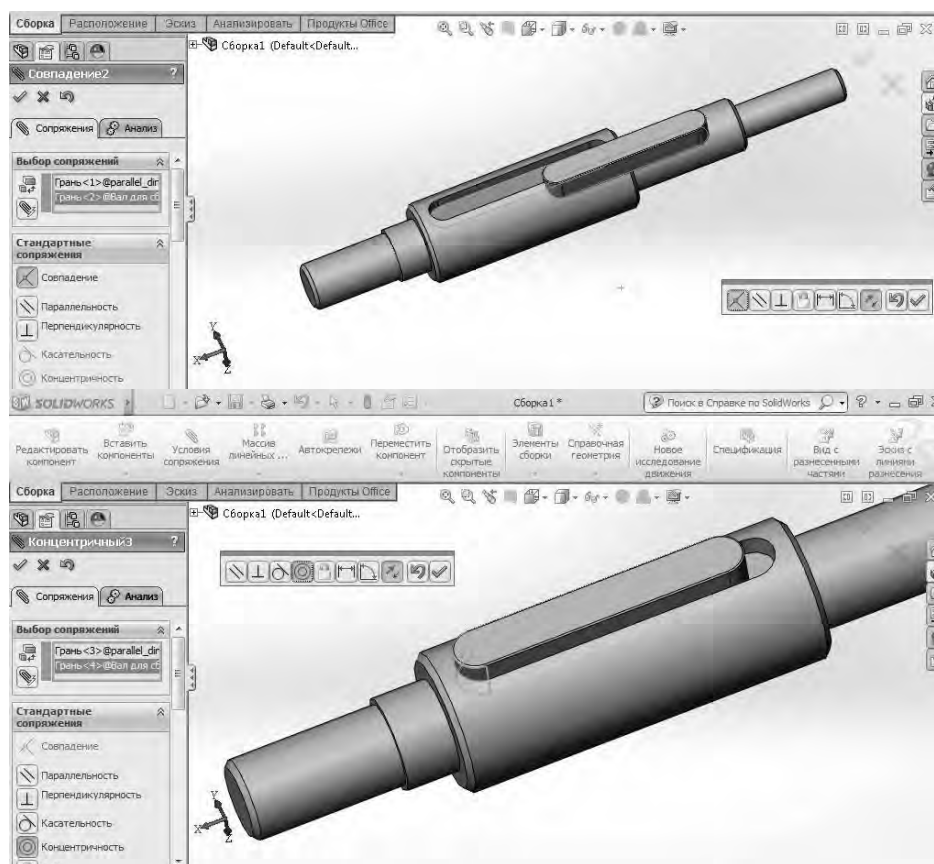


Рисунок 30 – Задание сопряжений

4 Установить зубчатое колесо на вал. В библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Din», «Трансмиссия», «Зубчатые колеса», «Прямозубое цилиндрическое зубчатое колесо» (рисунок 31).левой кнопкой мыши перетащить изображение колеса в область чертежа. При этом в левой части экрана появится меню свойств зубчатого колеса. В соответствии с вариантом задания, выданным преподавателем, выбрать модуль и число зубьев.

Используя команду «Условия сопряжения», создать сопряжения:

- «Концентричность» между поверхностью отверстия колеса и цилиндрической поверхностью ступени вала со шпоночным пазом;
- «Совпадение» между боковой поверхностью шпонки и шпоночного паза колеса;
- «Совпадение» между торцом ступицы колеса и торцом буртика вала.

5 Установить подшипники качения. Подшипник качения является стандартным элементом и вставляется в сборку, используя программу «SolidWorks Toolbox», которая находится во вкладке «Продукты Office».



Рисунок 31 – Установка подшипника на вал

В библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Din», «Подшипники», «Шариковые подшипники», «Радиально-упорный шариковый подшипник». Левой кнопкой мыши перетащить изображение подшипника в область чертежа. В левой части экрана появится меню свойств подшипника. В соответствии с чертежом вала (см. рисунок 23) выбрать внутренний диаметр подшипника.

Создать сопряжения:

- «Концентричность» между поверхностью отверстия подшипника и цилиндрической поверхностью ступени вала;
- «Совпадение» между торцом поверхности подшипника и торцом шейки вала (см. рисунок 31).

6 Сохранить созданную трехмерную модель сборки вала с зубчатым колесом.

Контрольные вопросы

- 1 Какие объекты для сборок отображаются в дереве конструирования FeatureManager?
- 2 Назовите основные методы проектирования сборок в SolidWorks.
- 3 Что такое проектирование снизу вверх?
- 4 Что такое проектирование сверху вниз?
- 5 Для чего используются сопряжения при создании сборок?
- 6 Для чего используется приложение SolidWorks «Toolbox»?
- 7 Какие крепежные детали включает «Toolbox»?
- 8 Какие конструкционные инструменты есть в «Toolbox»?
- 9 Как осуществляется добавление крепежных деталей в сборку?
- 10 Как осуществляется редактирование крепежных деталей в сборке?

11 Назовите основные виды геометрических взаимосвязей между компонентами сборки.

12 Назовите основные операции с компонентами.

Список литературы

1 **Берлинер, Э. М.** САПР в машиностроении: учебник для вузов / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – Москва: Форум, 2011. – 448 с.

2 **Алямовский, А. А.** SolidWorks / CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

3 **Бутко, А. О.** Основы моделирования в САПР NX: учебное пособие / А. О. Бутко, В. А. Прудников, Г. А. Цырков. – 2-е изд. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 199 с.

4 **Акулович, Л. М.** Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л. М. Акулович, В. К. Шелег. – Минск: Новое знание, 2016. – 488 с.

5 Основы автоматизированного проектирования: учебник / Под ред. А. П. Карпенко. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 329 с.

6 **Шишов, О. В.** Современные технологии и технические средства информатизации: учебник / О. В. Шишов. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 462 с.

