

**Казанский государственный энергетический  
университет**

**Кафедра инженерной графики**

**ИНЖЕНЕРНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Методические указания к лабораторной работе 3  
«Электронные геометрические модели и чертежи  
соединений деталей»

**БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ**

Часть 1

**Казань 2016**

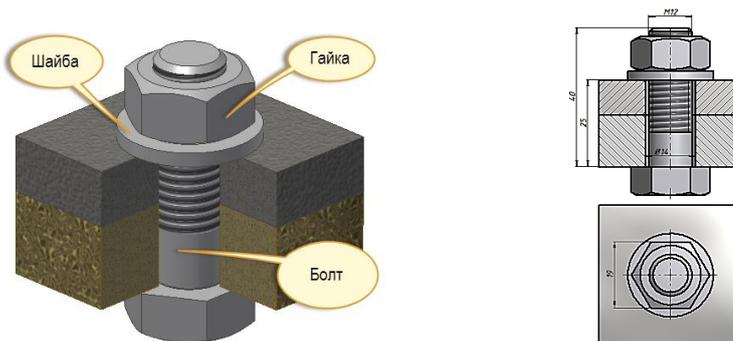
*Целью* лабораторной работы является формирование готовности и способности студентов создавать электронные модели изделий (ЭМИ), содержащих резьбовые соединения.

*Основными задачами* лабораторной работы является изучение:

- основных характеристик и классификации резьб и резьбовых изделий;
- правил изображения и обозначения резьб;
- технологии построения трехмерных геометрических моделей резьбовых изделий на базе системы автоматизированного проектирования;
- технологии построения двухмерных компьютерных геометрических моделей (чертежей) резьбовых изделий на базе системы автоматизированного проектирования;
- технологии создания трехмерных компьютерных геометрических моделей резьбовых изделий на базе системы автоматизированного проектирования.

Соединение болтом состоит из болта, гайки, шайбы и скрепляемых деталей (рис. 1). В скрепляемых деталях (рис. 2, а) просверливают отверстие диаметром  $(1,05-1,1) d$ , где  $d$  – диаметр резьбы болта. В отверстие вставляют болт, конец которого должен выходить наружу за пределы соединяемых деталей примерно на  $1,3 d$  (рис. 3.2, б).

На болт надевают шайбу (рис. 2, в) и затем навинчивают гайку (рис. 2, г). Методика определения размеров, необходимых для создания геометрических моделей болта, гайки и шайбы, представлена ранее.



**Рис. 1. Соединение деталей болтом**

Расчетную длину болта можно определить по формуле

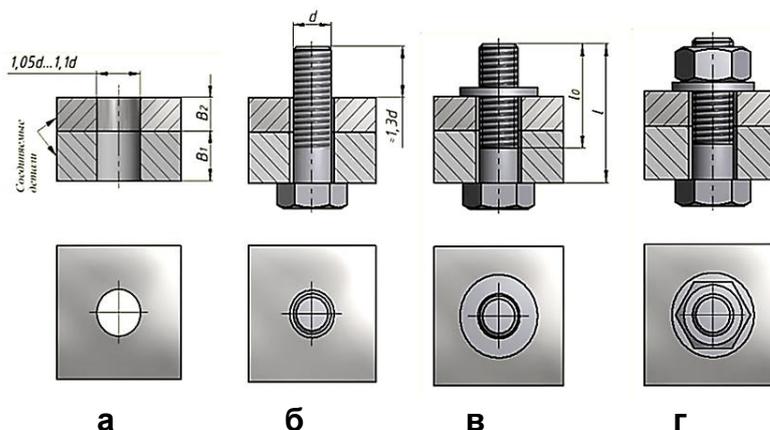
$$l_p = B_1 + B_2 + S + H + a + c, \quad (1)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – толщина скрепляемых деталей;  $S$  – толщина шайбы;  $H$  – высота гайки;  $a$  – запас резьбы на выходе из гайки ( $a = 0,2 d$ );  $c$  – высота фаски на конце стержня болта ( $c = 0,15 d$ ).

Подставляя значения всех этих величин в формулу, получим:

$$l_p = B_1 + B_2 + 0,15d + 0,8d + 0,2d + 0,15d = B_1 + B_2 + 1,3d. \quad (2)$$

Стандартная длина болта выбирается из нормального ряда длин, приведенного в Приложении 1.



**Рис. 2. Последовательность создания соединения болтом**

При вычерчивании болтового соединения необходимо учитывать следующее:

- 1) на главном изображении головку болта и гайку принято показывать тремя гранями;
- 2) по ГОСТ 2.305–2008, болты, винты и шпильки в продольном разрезе изображают не рассеченными. На сборочных чертежах не рассеченными, как правило, изображают также гайки и шайбы;
- 3) смежные детали штрихуют с наклоном в разные стороны. Наклон штриховки для одной и той же детали должен быть в одну и ту же сторону на всех изображениях.

### **1. Пример определения основных геометрических параметров деталей, входящих в соединение болтом**

*Исходные данные, определяемые по варианту:*

Резьба – М12;

Толщина скрепляемых пластин –  $B_1 = 10$  мм,  $B_2 = 15$  мм.

Болт и шайба первого исполнения, гайка – второго.

#### ***Определение параметров болта***

*Длина болта  $l$*

Расчетная длина болта определяется по формуле (2):

$$l_p = B_1 + B_2 + 1,3d = 10 + 15 + 1,3 \cdot 12 = 40,6.$$

В Приложении 1 в первой колонке ( $l$ ) табл. 1.2 из ряда стандартных длин болтов определяем, что размер 40,6 находится между длинами 40 и 45. Выбираем ближний – 40 мм.

Таким образом, длина болта  $l = 40$ .

*Длина резьбы* определяется из табл. 1.2 Приложения 1 по номинальному диаметру резьбы  $d$  и длине болта  $l$ , равной 66 мм.

Таким образом, длина резьбы  $l_0 = 30$  мм.

Размер «Под ключ» головки болта определяем из табл. 1.3 Приложения 1 по номинальному диаметру резьбы ( $d = 12$  мм).

*Размер «Под ключ»  $S = 19$  мм.*

*Высота головки болта  $k = 7,5$  мм.* Размеры фаски головки болта даны на чертеже Приложения 1.

#### ***Определение параметров гайки***

Параметры гайки определяем по таблице Приложения 3 по номинальному размеру резьбы ( $d = 12$  мм):

Размер «Под ключ»  $S = 19$  мм;

Высота гайки  $H = 10$  мм;

### **Определение геометрических параметров шайбы**

Геометрические параметры шайбы определяем по таблице Приложения 4 по номинальному размеру резьбы ( $d = 12$  мм):

Диаметр отверстия  $d_1 = 13$  мм.

Внешний диаметр  $d_2 = 24$  мм.

Толщины шайбы  $S = 2,5$  мм.

### **Определение геометрических параметров скрепляемых пластин**

Высота пластин задана:  $B_1 = 10$  мм,  $B_2 = 15$  мм.

Ширину и высоту обеих пластин примем одинаковыми. Пусть длина  $L = 3S$ , а ширина  $h = 2S$ , где  $S$  – размер «Под ключ».

Из вышеизложенного следует, что  $L = 3 \cdot 19 = 57$ , округлим и примем  $L = 60$  мм;  $h = 2 \cdot 19 = 38$ , округлим и примем  $h = 40$  мм.

Диаметр отверстия в пластинах определим по формуле:

$d_{\text{отв.}} = 1,1 d = 1,1 \cdot 12 = 13,2$  мм.

Округлим  $d_{\text{отв.}} = 13$  мм.

## **2. Создание геометрических моделей деталей, входящих в соединение болтом**

### **2.1. Технология создания скрепляемых пластин**

1. Выберите на ленте вкладку «Модель» ► панель «Примитивы» ► «Параллелепипед» .

2. Щелкните мышью в Браузере на рабочую плоскость X-Y. Программа переведет в среду построения эскизов (рис. 3.3).

(Среда построения эскизов состоит из плоскости эскиза, на которой располагается сам эскиз, и набора команд для создания и редактирования геометрии эскиза, включая нанесение размеров и наложение зависимостей.)

3. Укажите центр прямоугольника в пересечении осей.

4. Переместите мышку в любом направлении. В появившиеся поля введите размеры прямоугольника. Сначала горизонтальный размер, равный примерно  $2S$  (где  $S$  – размер «Под ключ»), затем нажмите *Tab* и введите вертикальный размер, равный примерно  $3S$ . Нажмите клавишу *Enter* (рис. 4).

5. Программа автоматически возвращается в режим модели среды «Деталь». Активирует команду «Выдавливание» и предлагает указать

расстояние. Введите толщину первой детали (10 мм) и нажимаем «OK» (рис. 5).

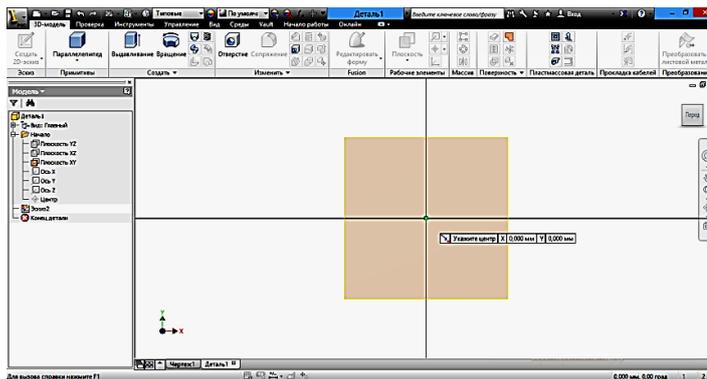


Рис. 3. Выбор рабочей плоскости построения

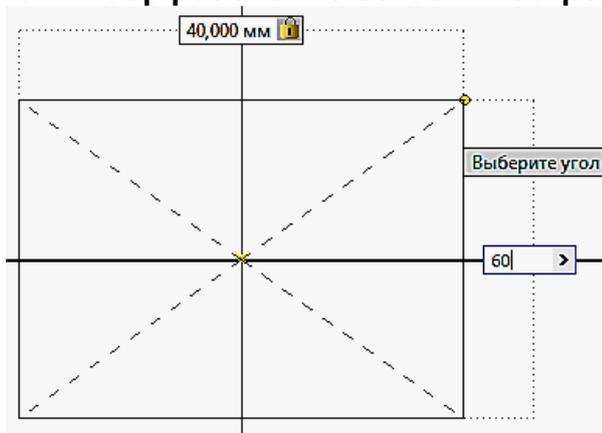


Рис. 4. Задание геометрических параметров призмы

6. Нажимаем ЛКМ (левая кнопка мыши) на домик в видовом кубе  и возвращаемся к главному виду (рис. 6).

### Построение отверстия

7. Выберите на ленте вкладку «3D-модель» ► панель «Редактирование» ► «Отверстие» .

8. В раскрывающемся списке «Размещение» диалогового окна «Отверстие» выберите «Линейные размеры» (рис. 7).

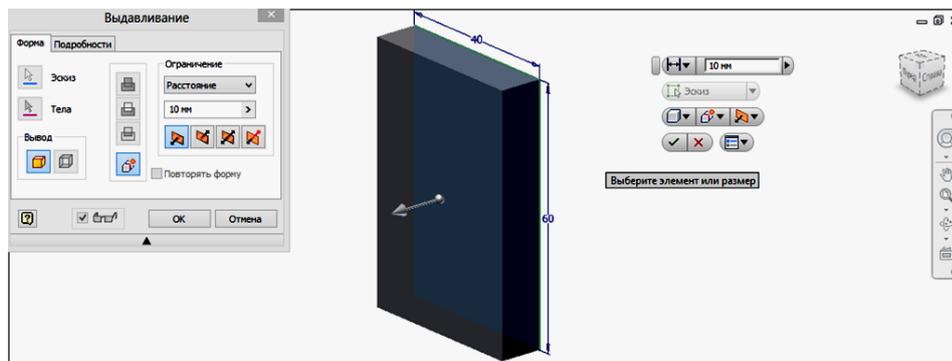
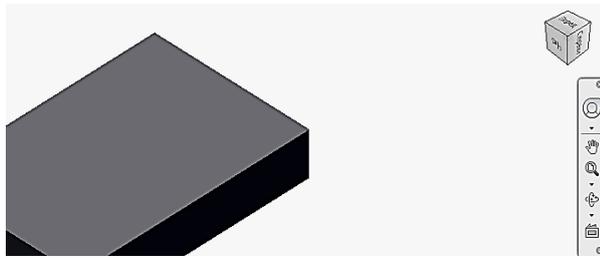
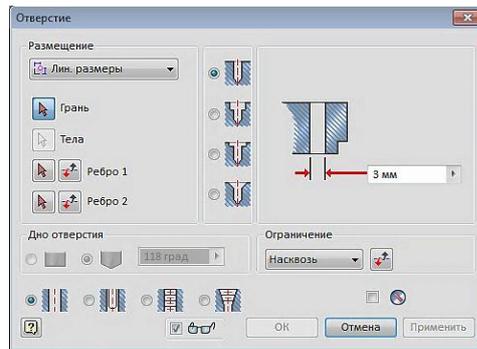


Рис. 5. Ввод размера толщины первой пластины

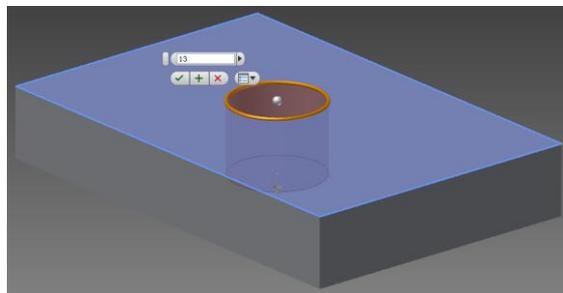


**Рис. 6. Завершение построения первой пластины**



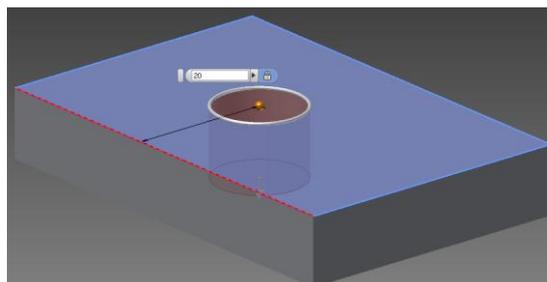
**Рис. 7. Окно «Размещение»**

9. В графической области укажите примерное положение отверстия, одновременно выбрав базовую грань создания отверстия (рис. 8).



**Рис. 8. Выбор базовой грани для построения отверстия**

10. Выберите первое ребро для размещения отверстия и введите в размерное окно расстояние от него до центра (рис. 9).



**Рис. 9. Ввод расстояния от первого ребра**

11. Выберите второе ребро для указания второй координаты центра отверстия.

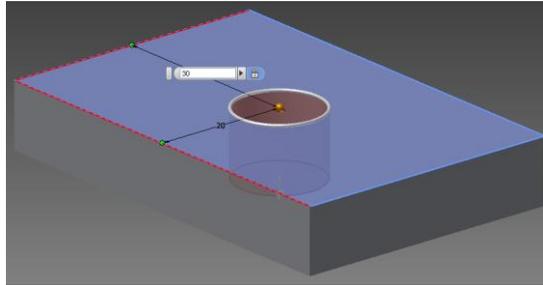
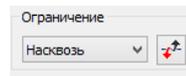


Рис. 10. Ввод расстояния от второго ребра

12. Укажите тип отверстия «Обычное» .

13. Откройте список «Ограничение» и выберите «Насквозь».



14. Выберите тип отверстия: «Отверстие под болт».



15. Укажите параметры резьбы в поле «Крепеж» (рис. 11).

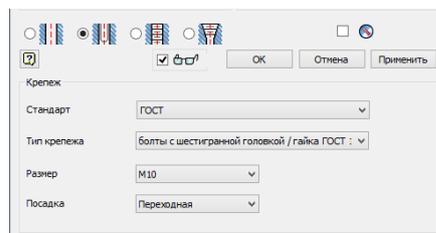


Рис. 11. Окно «Крепеж»

16. Для завершения построения нажмите кнопку «OK» (рис. 12).

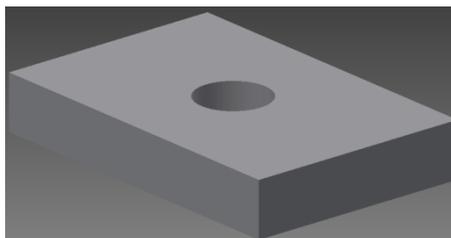


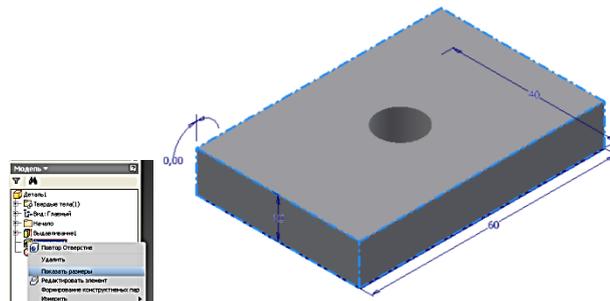
Рис. 12. Результат построения отверстия

17. Сохраните полученный результат с именем «*Пластина 1*».

### ***Создание второй пластины***

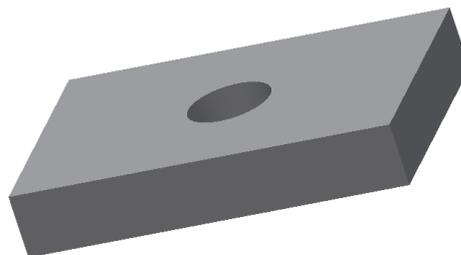
Для создания второй пластины можно осуществить редактирование копии первой пластины, поскольку они отличаются лишь одним размером (высотой).

1. Щелкните элемент отверстия в Браузере ПКМ (правой кнопкой мыши) и выберите команду «*Показать размеры*» (рис. 13).



**Рис. 13. Выбор команды «*Показать размеры*»**

2. Дважды щелкните размер высоты.
3. Измените значения в диалоговом окне.
4. Нажмите кнопку «*ОК*», чтобы принять значения и закрыть диалоговое окно. Также можно нажать кнопку «*Отмена*», чтобы закрыть диалоговое окно без сохранения изменений (рис. 14).

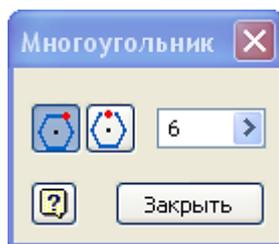


**Рис. 14. Вторая пластина**

Сохраним измененную модель пластины под именем «*Пластина 2*», используя команду «*Сохранить как...*».

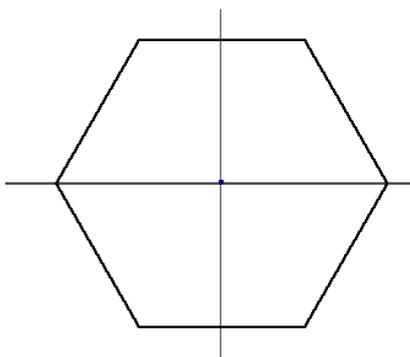
### ***2.2. Создание геометрической модели гайки***

1. Постройте в плоскости X, Y шестиугольник с размером «*Под ключ*» 46 мм. Для этого перейдите в режим выполнения эскиза. Выберите команду «*Многоугольник*». Появится диалоговое окно «*Многоугольник*» . Введите число сторон многоугольника 6 (рис. 15).



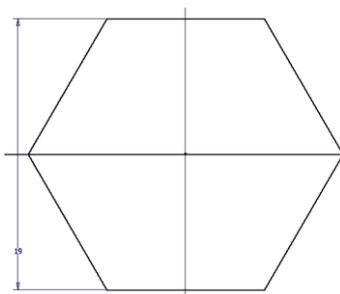
**Рис. 15. Диалоговое окно «Многоугольник»**

2. Укажите центр многоугольника в начале координат, а одну из вершин зафиксируйте на горизонтальной оси (рис. 16).



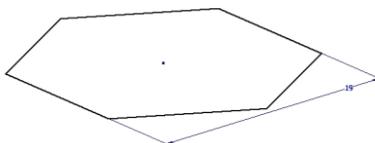
**Рис. 3.16. Эскиз шестиугольника**

3. Поставьте размер между параллельными сторонами шестиугольника равным размеру «Под ключ» гайки (рис. 17).



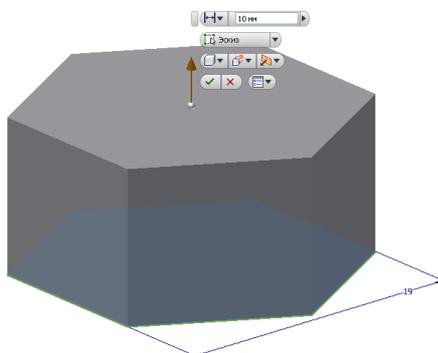
**Рис. 3.17. Определение размера шестиугольника**

4. Нажмите кнопку «Принять эскиз» ✓ (рис. 18).



**Рис. 3.18. Принятый эскиз**

5. Нажмите на кнопку «Выдавить»  в панели «Создать» и введите в сопровождающем меню высоту гайки 10 мм (рис. 19). Нажмите кнопку «OK».



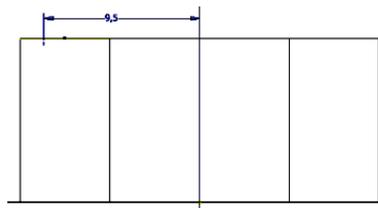
**Рис. 19. Результат выдавливания**

6. Постройте фаску гайки. Для этого установите вид спереди так, чтобы к наблюдателю были обращены три грани шестигранника. Придадим шестиугольнику для удобства каркасный вид. Для этого выберите закладку «Вид» ► «Стиль отображения» ► «Каркасный режим» (рис. 20).



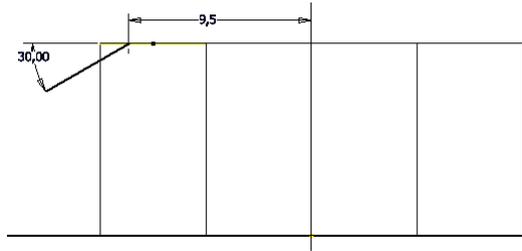
**Рис. 20. Вид спереди**

7. Перейдите в режим «Эскиз» и постройте линию под углом 30 градусов для создания фаски, как показано на рис. 21. Вначале постройте вспомогательные точки: первую в начале координат, вторую расположите слева на верхней линии контура. Зафиксируйте вторую точку с помощью связи «Совмещение» , а затем поставьте размер с помощью команды «Размеры»  между указанными точками 9,5 мм.



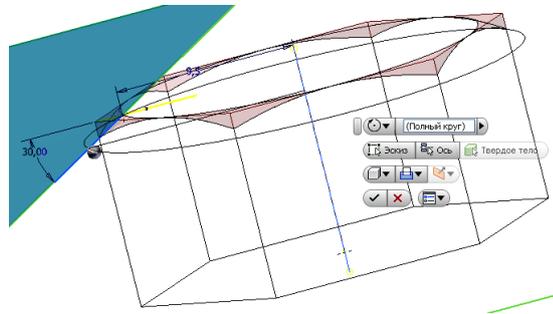
**Рис. 21. Построение вспомогательных точек**

8. Постройте наклонный отрезок под углом 30 градусов (рис. 22). И нажмите кнопку «Принять эскиз» .



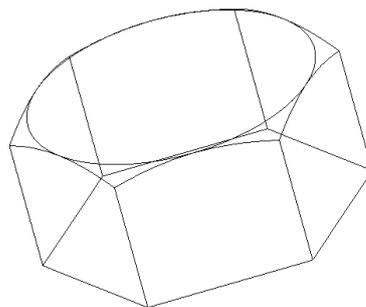
**Рис. 22. Задание угла**

9. Щелкните на кнопке «Вращение»  в панели «Создать» и постройте фаску гайки. Укажите построенную линию и область для удаления материала. В сопровождающем меню выберите «Вырез»  и «Полный круг» (рис. 23). Укажите ось вращения – ось Y.



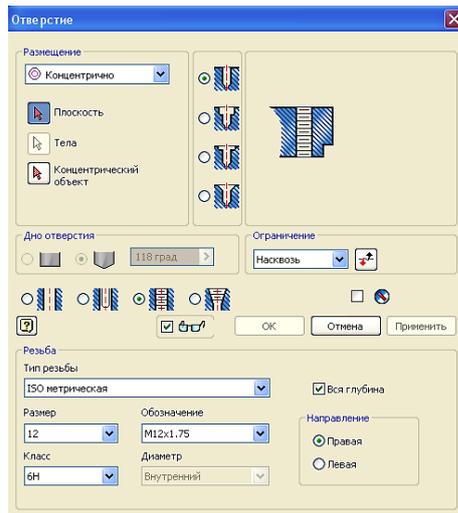
**Рис. 23. Задание параметров выреза**

10. Нажмите «OK»  (рис. 24).



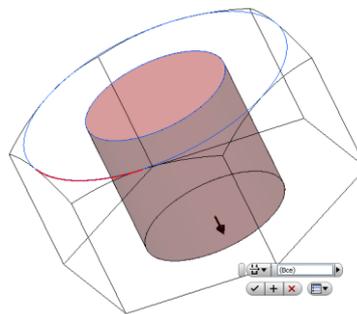
**Рис. 24. Результат построения фаски**

11. Нажмите кнопку «Отверстие» . Выберите в качестве базовой плоскости верхнюю грань призмы. В появившемся диалоговом окне установите следующие параметры (рис. 25).



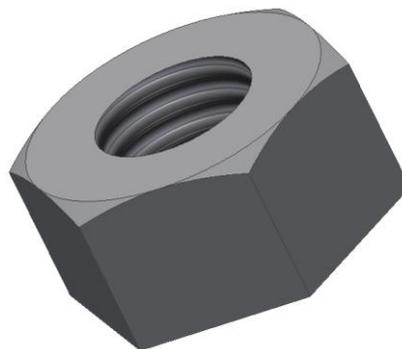
**Рис. 25. Диалоговое окно «Отверстие»**

12. Поместите центр отверстия концентрично фаске. Для этого в окне «Размещение» установите опцию «Концентрично» и укажите дугу фаски (рис. 26).



**Рис. 26. Размещение центра отверстия концентрично**

13. Перейдите в тонированный стиль отображения (рис. 27).



**Рис. 27. Тонированное изображение**

14. Сохраните построенную модель с именем «Гайка».

### 2.3. Создание геометрической модели болта

Для построения модели болта воспользуемся построенной ранее моделью гайки.

Сохраним модель гайки с именем «Болт».

1. Выберите в *Браузере* элемент «Отверстие»  «Отверстие1» и нажмите ПКМ. В появившемся меню нажмите на кнопку «Удалить» (рис. 28).

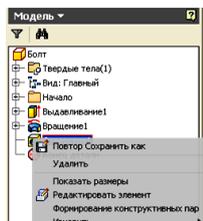


Рис. 28. Удаление элемента «Отверстие»

2. Высота головки болта меньше, чем у гайки, и равна 7,5 мм. Измените высоту головки аналогично тому, как это было сделано выше при изменении толщины второй пластины.

3. Постройте эскиз окружности на нижней грани призмы диаметром 12 мм (рис. 28). И нажмите кнопку «Принять эскиз»  (рис. 29).

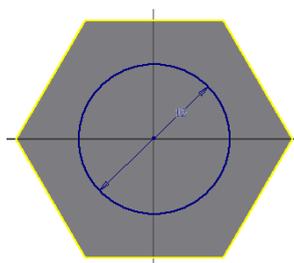


Рис. 29. Эскиз окружности

4. Нажмите на кнопку «Выдавить»  в панели «Создать» и введите в сопровождающем меню длину болта 40 мм (рис. 3.30). Нажмите кнопку «OK».

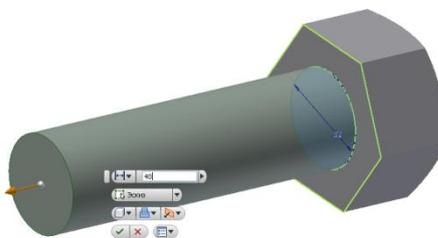


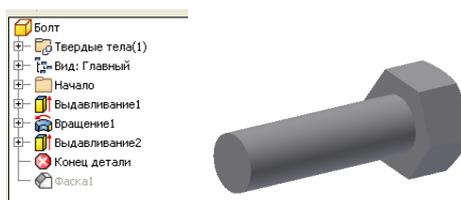
Рис. 30. Построение цилиндрической части болта

5. Постройте фаску с помощью команды «Фаска»  (рис. 31).



**Рис. 31. Построение фаски**

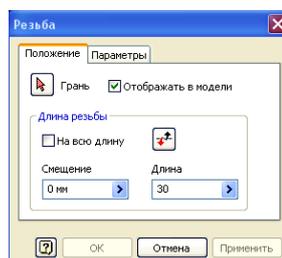
6. Для построения резьбы в браузере переместите элемент дерева «Конец детали». Фаска становится не активной (рис. 32).



**Рис. 3.32. Перенос элемента «Конец детали» вверх за элемент «Фаска 1»**

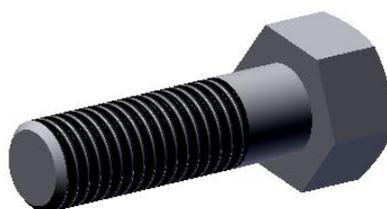
Постройте резьбу на стержне. Нажмите кнопку «Резьба» .

В появившемся диалоговом окне «Резьба» укажите длину резьбы 30 мм (рис. 33).



**Рис. 33. Диалоговое окно «Резьба»**

7. Укажите цилиндрическую поверхность ближе к его торцевой части и нажмите кнопку «Применить», а затем в браузере верните элемент «Конец детали» в исходное положение (рис. 34)



**Рис. 34. Модель болта**

#### **2.4. Создание геометрической модели шайбы**

Для построения геометрической модели воспользуйтесь также данными расчета из первого параграфа.

1. Установите режим построения эскиза и постройте две концентрические окружности диаметрами 13 и 24 мм. Нажмите кнопку «Принять эскиз» ✓ (рис. 35).

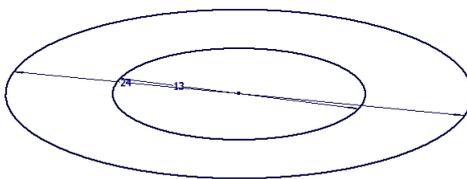


Рис. 35. Эскиз для шайбы

2. Нажмите на кнопку «Выдавить»  в панели «Создать» и введите в сопровождающем меню высоту шайбы 2,5 мм (рис. 36). Нажмите кнопку «ОК».



Рис. 36. Модель шайбы

3. Сохраните модель под именем «Шайба».

### 3.3. Геометрическое моделирование соединения болтом

Переходим непосредственно к сборке деталей. *Autodesk Inventor* может работать со сложными сборками, которые состоят из большого количества деталей и вложенных сборок (сборок нижнего уровня). Сборочная среда позволяет сформировать из деталей и узлов сборку, которую можно рассматривать как отдельный компонент. Детали и узлы связываются между собою сборочными зависимостями. Сборочная среда позволяет редактировать как отдельные детали, так и всю сборку в целом. Можно также определить группу конструктивных элементов сборки, которые взаимодействуют с несколькими деталями. На панели быстрого доступа нажмите кнопку «Создать»  (или *Ctrl+N*) и выберите шаблон сборки  .

#### 3.1. Создание модели из двух скрепляемых пластин

Выбор и размещение в среде «Сборка» первой детали очень ответственный момент. Первая деталь служит основой, на которой будет строиться вся сборка. Хотя *Autodesk Inventor* и позволяет легко

модифицировать модели деталей в процессе создания модели сборочной единицы (удалять из сборки и изменять их связи), модель первой (базовой) детали фиксируется и не может удаляться. От правильности ее выбора фактически зависит оптимальность последующих шагов по формированию модели всей сборки.

1. Поместите первую (базовую) деталь в рабочую среду «Сборка». В качестве такой детали выберите «Пластина 1». Нажмите кнопку «Вставить компонент» . Выберите первую пластину из активного каталога проекта и нажмите кнопку «Открыть» (рис. 37).

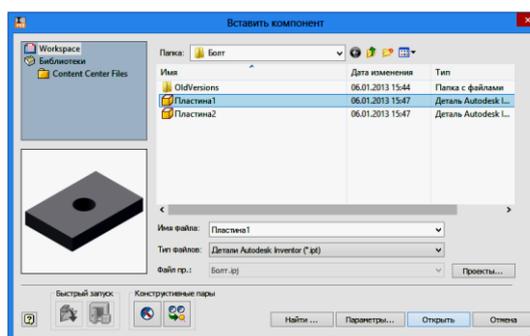
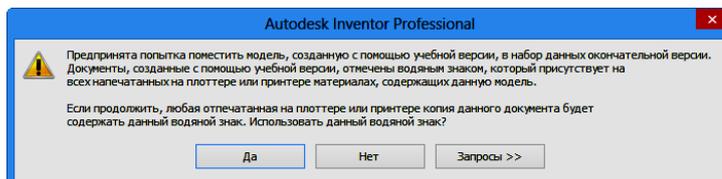


Рис. 37. Диалоговое окно «Вставить компонент»

При появлении этого окна нажмите «Да».



На экране появится деталь. По умолчанию создается еще одна модель. Нажмите ПКМ и выберите команду «OK» или нажмите клавишу «Esc», чтобы завершить действие (рис. 38).

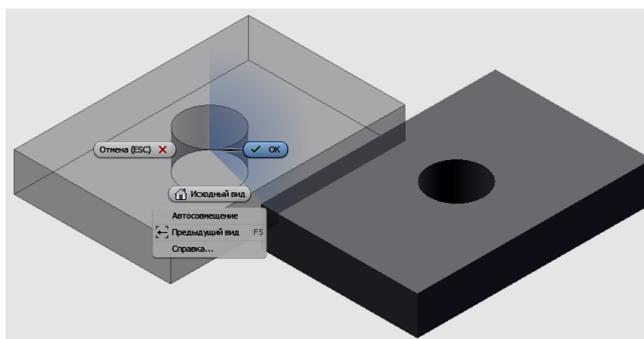


Рис. 38. Вставка первого компонента

2. Для помещения второй детали в рабочую среду «Сборка» повторите те же действия, что и с первой пластиной. В качестве детали выберите «Пластину 2» и расположите ее рядом с первой (рис. 39).

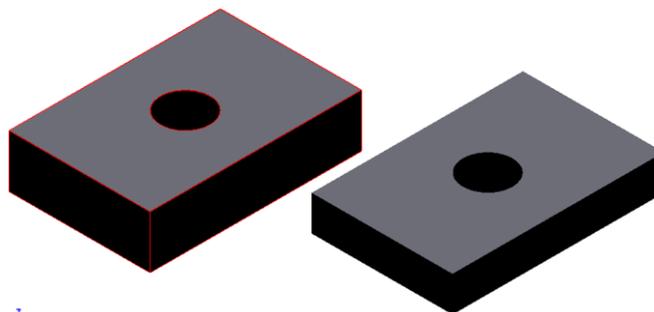


Рис. 39. Вставка второй детали

Для соединения деталей наложим на них зависимости совмещения.

*(Сборочные зависимости задают позиционирование компонентов сборки относительно друг друга. При наложении зависимостей удаляются степени свободы и ограничивается возможность перемещения компонентов).*

3. Выберите на ленте вкладку «Сборка» ► панель «Положение» ► «Зависимость» .

4. На вкладке «Сборка» в поле «Тип» по умолчанию установлено значение «Совмещение» . При необходимости нажмите кнопку «Совмещение» , в поле «Решение» выберите кнопку «Совмещение»  (рис. 40).

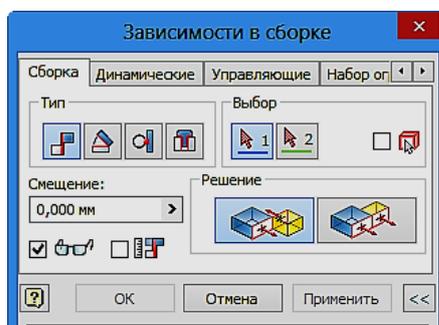


Рис. 40. Диалоговое окно «Зависимости в сборке»

5. Выберите верхнюю грань первой пластины (рис. 41).

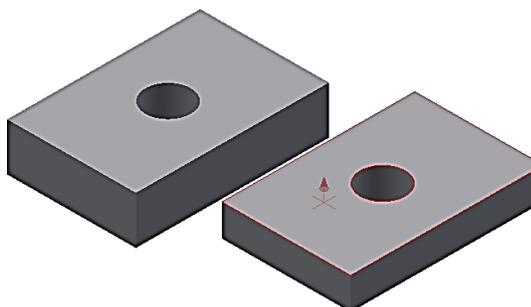
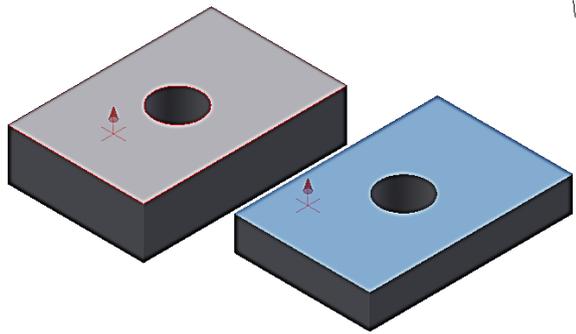


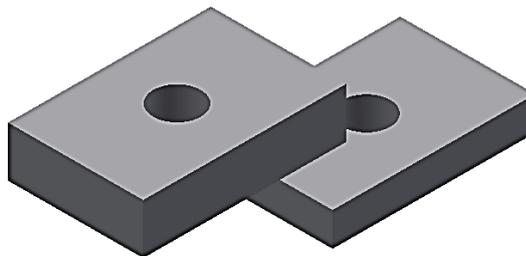
Рис. 41. Выбор грани первой пластины

6. Выберите верхнюю грань второй пластины (рис. 42).



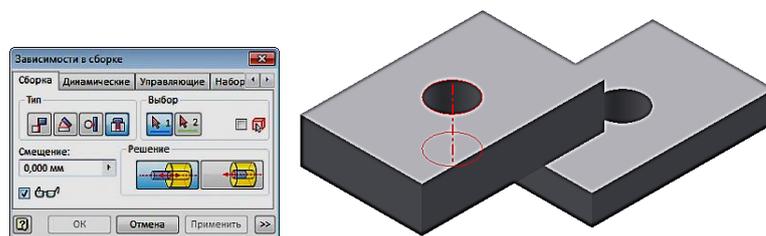
**Рис. 42. Выбор грани второй пластины**

7. Для того чтобы наложить зависимость, не закрывая диалогового окна, нажмите «Применить» (рис. 43).



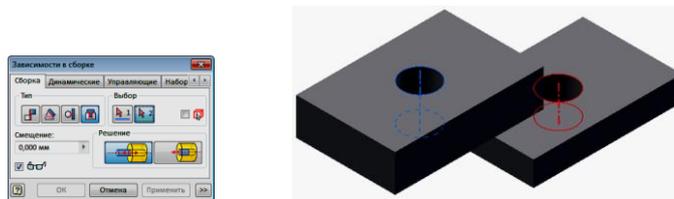
**Рис. 43. Фиксация совмещения граней**

8. Далее наложите зависимость совмещения осей . Укажите на ось цилиндра второй пластины  1 (рис. 3.44).



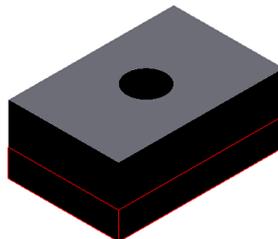
**Рис. 44. Выбор отверстия второй пластины**

9. Затем укажите на ось цилиндра первой пластины  2 (рис. 45).



**Рис. 45. Выбор отверстия первой пластины**

10. Для того чтобы наложить зависимость и закрыть диалоговое окно, нажмите «ОК» (рис. 46).



**Рис. 46. Фиксация положения пластин**

*Добавление стандартных деталей может быть осуществлено несколькими способами.*

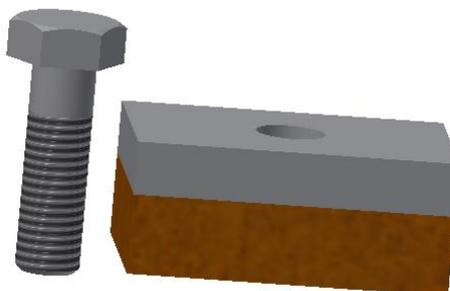
### ***3.2. Создание геометрической модели болтового соединения из созданных моделей болта, гайки и шайбы (Первый способ)***

Продолжите сборку болтового соединения. Присоедините к двум скрепляемым пластинам последовательно болт, шайбу и гайку.

Материал (цвет) второй пластины измените для наглядности.

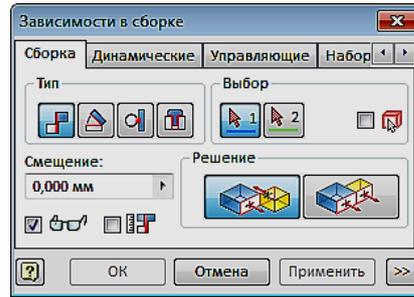
1. В среде «Сборка» щелкните на кнопке «Вставить» .

В диалоговом окне выберите файл «Болт» и нажмите кнопку «Открыть» (рис. 47).



**Рис. 47. Вставка болта**

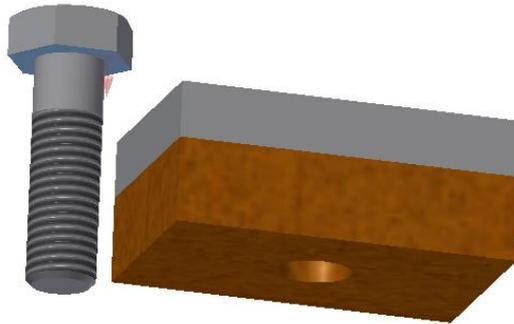
2. Выберите на ленте вкладку «Сборка» ► панель «Положение» ► «Зависимость»  (рис. 48).



**Рис. 48. Выбор зависимости в сборке**

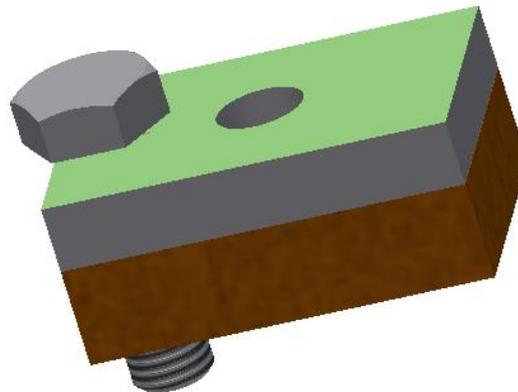
3. На вкладке «Сборка» в поле «Тип» выберите «Совмещение» . В поле «Решение» выберите кнопку «Совмещение»  (рис. 48).

4. Выберите нижнюю грань головки болта (рис. 49). Если необходимо, то поверните объекты.



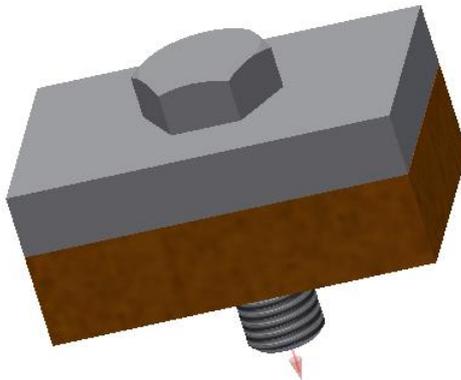
**Рис. 49. Выбор грани болта**

5. Выберите верхнюю грань первой пластины. Выбранные грани совпадут (рис. 50).



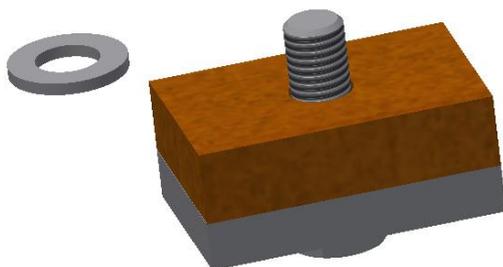
**Рис. 50. Совмещение граней**

6. Нажмите на кнопку «Вставка»  для совмещения осей отверстия и болта (рис. 51). Нажмите кнопку «Применить».



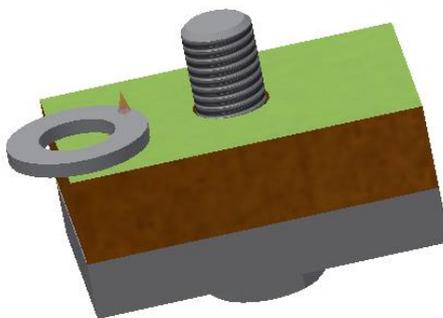
**Рис. 51. Совмещение осей объектов**

7. Вставьте шайбу. Для этого в среде «Сборка» щелкните на кнопке «Вставить»  и выберите файл шайбы. Для удобства совмещения поверните объекты (рис. 52).



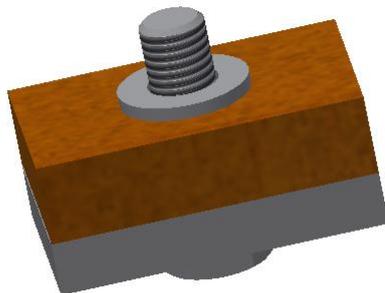
**Рис. 52. Вставка шайбы**

8. На вкладке «Сборка» в поле «Тип» выберите «Совмещение» . В поле «Решение» выберите кнопку «Совмещение» . Укажите последовательно нижнюю грань шайбы, а затем грани нижней пластины (рис. 53). Выбранные грани совместятся.



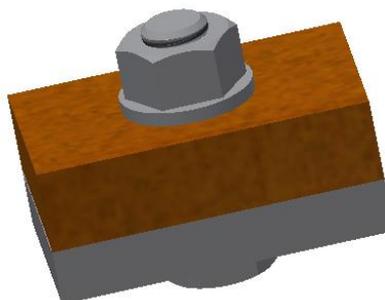
**Рис. 53. Совмещение граней**

9. Нажмите на кнопку «Вставка»  для совмещения осей шайбы и болта (рис. 54), а затем кнопку «Применить» для завершения размещения.



**Рис. 54. Совмещение осей**

10. Вставьте аналогично гайку. На вкладке «Сборка» в поле «Тип» выберите «Совмещение» . В поле «Решение» выберите кнопку «Совмещение» . Выберите нижнюю грань гайки и верхнюю шайбы, а затем выберите «Вставку» . Гайка займет свое место в модели сборки. Нажмите кнопку «Применить» (рис. 55).



**Рис. 55. Вставка гайки**