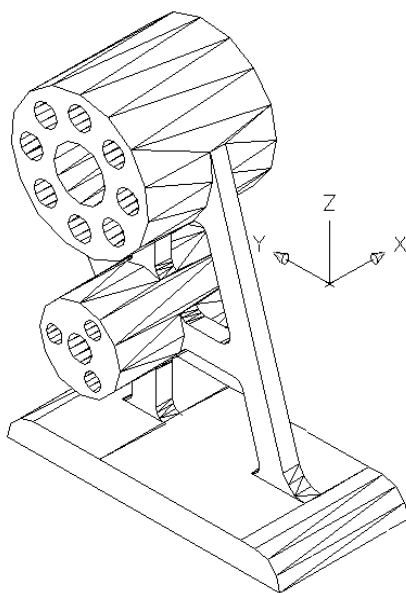


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Московский государственный институт  
электроники и математики  
(технический университет)»**

**Кафедра инженерной и машинной графики**

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ,  
ОГРАНИЧЕННЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫМИ  
СОПРЯЖЕННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ  
В ГРАФИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ AutoCAD**



**Методические указания по курсу  
«Инженерная и компьютерная графика»**

**Москва 2012**

Составители: канд.техн.наук, проф. А.А. Пузиков  
канд.физ.-мат.наук, доц. Д.А. Пяткина  
инженер С.В.Дубейковский

УДК 744

Компьютерное твердотельное моделирование геометрических тел, ограниченных криволинейными сопряженными поверхностями, в графическом пакете AutoCAD.

Метод. указания по курсу «Инженерная и компьютерная графика»; Моск. Гос. Ин-т электроники и математики (технический университет).

Сост.: А.А.Пузиков, Д.А.Пяткина, С.В.Дубейковский,  
М., 2012. -16с.

Ил.16. Библиогр.: 5 назв.

Содержат упражнения по компьютерному моделированию сложных геометрических тел в графическом пакете «AutoCAD» с примерами выполнения. Предназначены для студентов, обучающихся на I курсе по инженерным специальностям, а также для студентов I-IV курса специальности «Компьютерный дизайн и реклама».

ISBN 978-5-94506-311-2

### **Введение**

В данных методических указаниях приведены примеры решения задач компьютерного твердотельного моделирования с помощью графического пакета **«AutoCAD»**. Все рекомендации ориентированы **на англоязычную версию пакета**. Методические указания «Компьютерное твердотельное моделирование геометрических тел, ограниченных криволинейными сопряженными поверхностями, в графическом пакете AutoCAD» являются третьими **в серии** методических указаний по данной тематике, которая готовится к выпуску на кафедре «Инженерной и машинной графики» МГИ-ЭМ. Данные методические указания (рассматриваемые) предполагают некоторое **усложнение** моделей, по сравнению с упражнениями из [2,3], особенно в том, что касается построения сложных контуров, имеющих сопряжения. Авторы считают, что материалы серии будут использоваться в учебном процессе **последовательно**, и набор упражнений для каждого следующего издания базируется на знаниях, полученных студентами при работе с более ранними выпусками серии. Цель данных методических указаний состоит в том, чтобы через изучение конкретных примеров студент освоил **принципы и приёмы моделирования сложных тел** :

- разбиение сложных тел на простые примитивы;
- перенос и вращение системы координат для удобства проведения построений;
- объединение и вычитание твердотельных моделей с помощью булевых операций;
- возможность получения одних и тех же твердотельных моделей различными способами (например, методом «вращения» и методом «выдавливания»).

По полученным твердотельным моделям с помощью средств пакета AutoCAD выполняются **проекционные чертежи**, причём как в ортогональных, так и в центральных проекциях (линейная перспектива). Заметим, что исходными данными для моделирования могут служить как конкретные модели, так и их изображения на чертеже или их описания.

В работе [1] имеются варианты заданий **для самостоятельной** работы студентов, выполнение которых базируется на рассмотренном примере. Работа может быть организована следующим образом: сначала вся группа выполняет общий типовой пример задания, который подробно рас-

смотрен в данных методических указаниях, а затем каждый из учащихся самостоятельно, под руководством преподавателя выполняет свой индивидуальный вариант задания. Индивидуальные варианты могут быть использованы для контрольных и домашних заданий, а также для проведения зачетов и экзаменов.

**Методические указания включают в себя:**

1. Выполнение сложного контура (рис. 1).

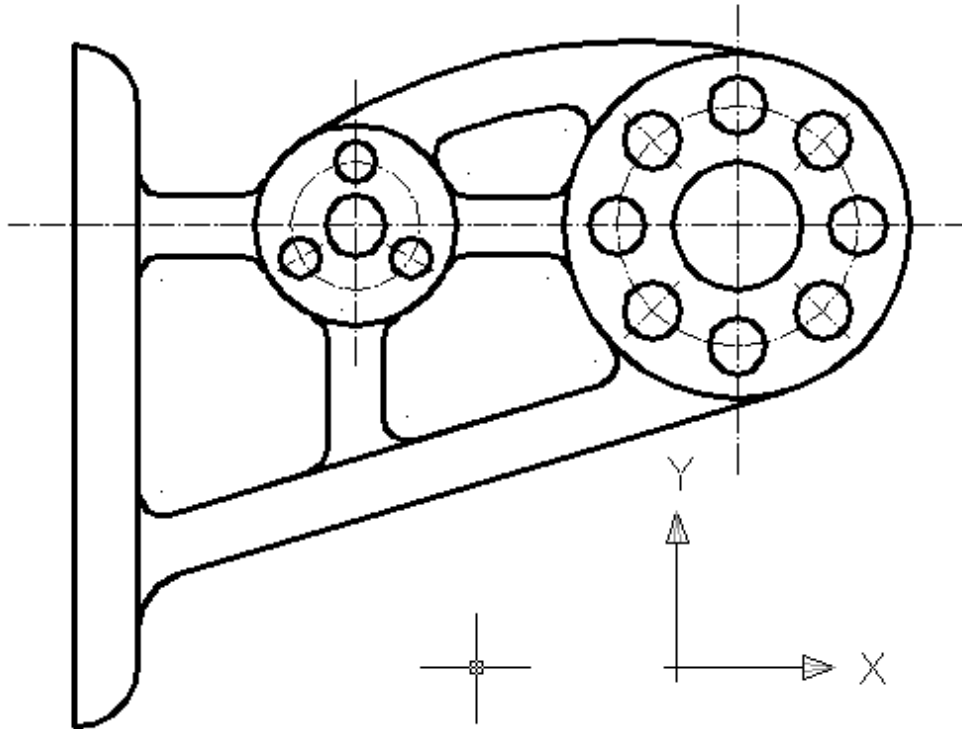


Рис. 1

2. Построение на базе сложного контура твердотельной модели (рис. 2)

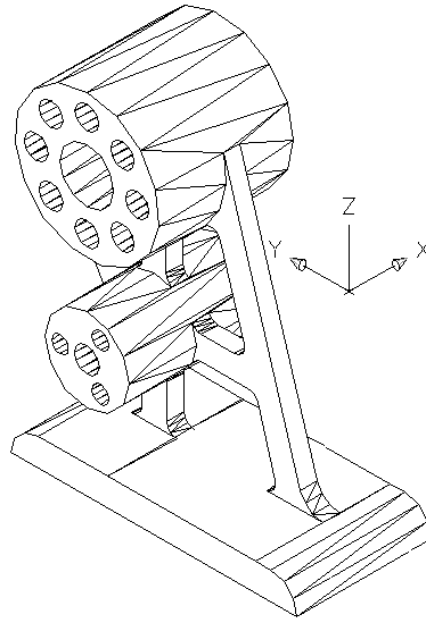


Рис. 2

3. Построение чертежа (в трех ортогональных проекциях) с аксонометрической проекцией (прямоугольной изометрией) (рис. 3).

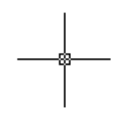
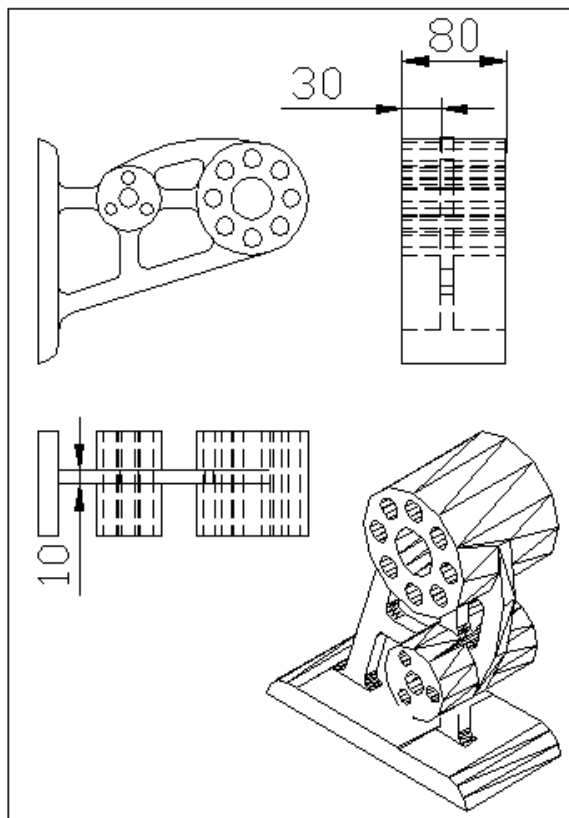


Рис. 3

На главном изображении следует проставить размеры, как показано на рис. 4

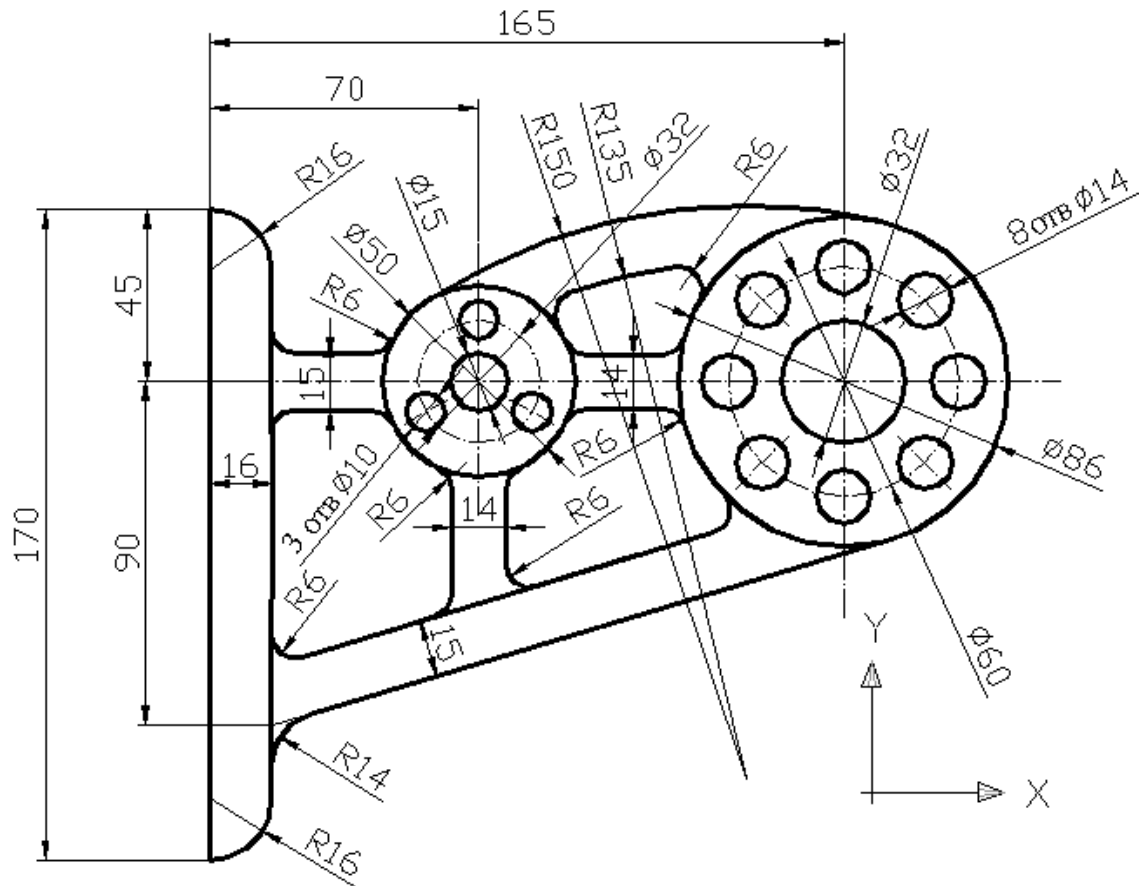


Рис. 4

Для выполнения упражнений необходимо сначала произвести подготовку **рабочего стола AutoCAD**. О том, как это сделать, подробно рассказывается далее.

Для удобства работы рекомендуется также загрузить **экранное меню**:

► (*Tools/ Options/ Display/ Display/ Screen menu*).

По мере необходимости для проведения построений используются **привязки к точкам**, которые можно активизировать с помощью меню:

► (*Tools/ Draftings Setting/ Object Snap*),  
или кнопкой */OSNAP/* (внизу экрана) + */правая клавиша + Setting/*.

Заметим, что во время пользования привязками кнопка */OSNAP/* **в строке состояния** должна быть **включена**.

Приведем список путей к основным командам через (**Screen Menu**) **экранное меню**:

- ▶ перенос системы координат (*Tools 2/ UCS/ Origin*);
- ▶ операция «выдавливания» (*Draw 2/ Solids/ Extrude*)  
(выдавливать можно только в направлении оси «Z» или используя выбранное направление (*Path*));
- ▶ операция вращения (*Draw 2/ Solids/ Revolve*).

### Булевы операции:

- ▶ операция объединения (*Modify 2/ Union*);
- ▶ операция вычитания (*Modify 2/ Subtract*);

### Другие операции:

- ▶ операция перемещения объекта (*Modify 2/ Move*);
- ▶ операция вращения объекта вокруг оси «Z»  
(*Modify 2/ Rotate*);
- ▶ операция вращения объекта **вокруг любой заданной оси** (*Modify 2/ Rotate 3D*).

Некоторые построения (например, проведение осей, построение вспомогательных точек и т. д.) удобно проводить **в специально созданных слоях**, которые можно создать с помощью команд:

- (*Format/ Layer/ New*)

Загрузка определенного типа линии **в выбранный слой** осуществляется с помощью следующих команд:

- (*Linetype+левая клавиша/ Load /выделить нужный тип линии / OK/ Select linetype/ выделить нужный тип/ OK*)

Загрузка нужной толщины линии в слой осуществляется с помощью команд:

- (*Lineweight+левая клавиша/ выделить нужную толщину линии /OK/*)

Заметим, что некоторые команды удобно выбирать из стандартной или других дополнительных панелей инструментов. Это такие команды, как, например, поворот системы координат, масштабирование в реальном масштабе времени (зумирование) и выбор вида (панель **VIEW**).

Загрузить **дополнительные панели инструментов** можно с помощью команды: **(View/Toolbars)**





Следует перенести начало координат в центр экрана.

Проводим разметку экрана с помощью специальной «разметочной» линии (рис. 7).

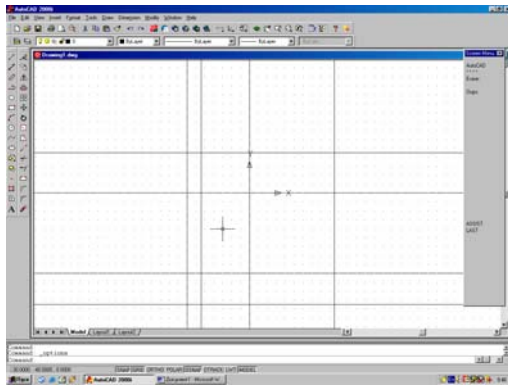


Рис. 7

Проводим вспомогательные линии, необходимые для дальнейших построений по размерам детали, заданным на рис. 6.

Command:

**Draw/ Construction line**

Сначала проводят вертикальные линии.

Command: `_xline` Specify a point or [Hor/Ver/Ang/Bisect/Offset]: **V**  
Specify through point: `(-64), 0`  
Specify through point: `(-54), 0`  
Specify through point: `95, 0`  
Specify through point: `«Enter»`

Затем проводят горизонтальные линии.

Command:  
Command: `_xline` Specify a point or [Hor/Ver/Ang/Bisect/Offset]: **H**  
Specify through point: `0, 45`  
Specify through point: `0, (-90)`  
Specify through point: `0, (-125)`  
Specify through point: `«Enter»`  
Command:

Строим две окружности (диаметр первой равен 50

мм, диаметр второй равен 86 мм) (рис. 8).

**Screen Menu/ Draw 1/  
Circle/ CenRad**

Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int` of  
Specify radius of circle or [Diameter]: **43 «Enter»**

Command:

Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int` of  
Specify radius of circle or [Diameter] `<43.0000>`: **25 «Enter»**

Command:

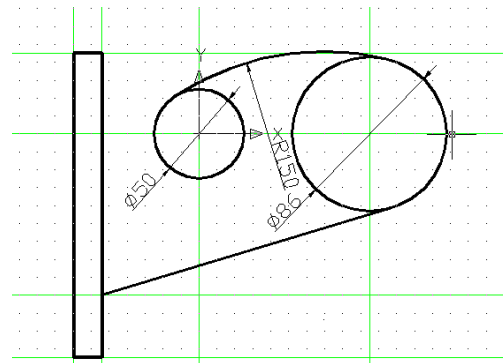


Рис. 8

Строим дугу окружности (R150) касательную к двум ранее построенным окружностям.

Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: **\_ttr**  
Specify point on object for first tangent of circle: **\_tan to of** (привязка касание)  
Specify point on object for second tangent of circle: **\_tan to of** (привязка касание)  
Specify radius of circle `<25.0000>`: **150 «Enter»**

**Примечание:**

При помощи команды (`Trim` – «обрезать») убрана часть окружности R150. Ставим необходимые размеры (см. рис. 8).

Command:  
 Command: `_dimdiameter`  
 Select arc or circle: `<Snap off>`  
 Dimension text = **86** `<Enter>`  
 Specify dimension line location or  
 [Mtext/Text/Angle]:  
 Command:  
 Command: `_dimdiameter`  
 Select arc or circle:  
 Select arc or circle:  
 Dimension text = **50** `<Enter>`  
 Specify dimension line location or  
 [Mtext/Text/Angle]:  
 Command:  
 Command: `_dimradius`  
 Select arc or circle:  
 Dimension text = **150** `<Enter>`  
 Command:

**Строим наклонную линию  
 и линии образующие прямо-  
 угольник (см. рис.8)**

Command: `_line` Specify first point:  
**`_int of`** (привязка пересече-  
 ние)

Specify next point or [Undo]:  
**`_tan to of`** (привязка  
 касание)

Specify next point: **`Enter`**

Command:  
 Command: `_line` Specify first point:  
**`_int of`** (привязка пересече-  
 ние)

Specify next point or [Undo]:  
**`_int of`** (привязка пересече-  
 ние)

Specify next point or [Undo]:  
**`_int of`** (привязка пересече-  
 ние)

Specify next point or [Close/Undo]:  
**`_int of`** (привязка пересече-  
 ние)

Specify next point or [Close/Undo]:  
**`C`** (опция `<Close>`) – замыка-  
 ние

Command:

**Строим дугу окружности  
 (R125), «эквидистантную»  
 дуге окружности (R150).**

**Строим прямую линию,  
 параллельную наклонной  
 прямой (рис. 9).**

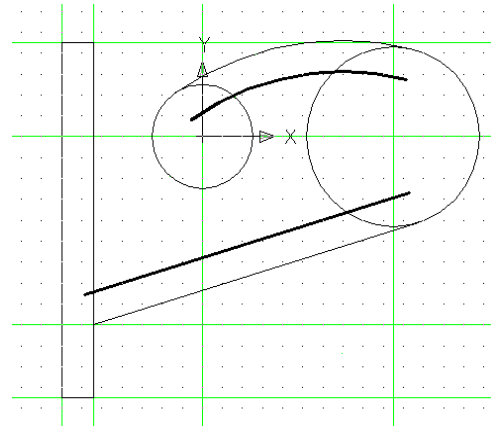


Рис. 9

Command:  
 Command: `_offset`  
 Specify offset distance or  
 [Through] `<1.0000>`: 15  
 Select object to offset or `<exit>`:  
`<Snap off>`  
 Specify point on side to offset:

**(Указать точку со стороны  
 строящейся дуги (R125)).**

Command:  
 Command: `_offset`  
 Specify offset distance or  
 [Through] `<1.0000>`: 15  
 Select object to offset or `<exit>`:  
`<Snap off>`  
 Specify point on side to offset:

**(Указать точку со сторо-  
 ны строящейся прямой, па-  
 раллельной наклонной)**

**Строим скругления  
 (сопряжения) (радиусами  
 6мм и 16мм) (рис.10).**

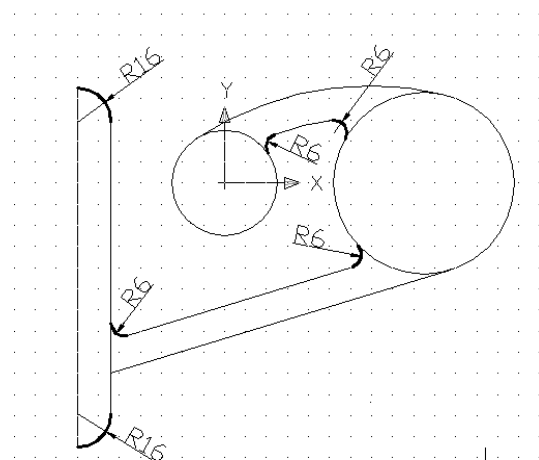


Рис.10

Command:  
 Command: `_fillet`  
 Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
 dius = 10.0000

Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]: **r** **«Enter»**  
Specify fillet radius <16.0000>: **6**  
**«Enter»**  
Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]:  
Select second object:  
Command:  
Command: **\_fillet**  
Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
dius = 6.0000  
Select first object or [Polyline/  
adius/Trim]:  
Select second object:  
Command:  
Command: **\_fillet**  
Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
dius = 6.0000  
Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]:  
Select second object:  
Command:  
Command: **\_fillet**  
Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
dius = 6.0000  
Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]:  
Select second object:  
Command:  
Command: **\_fillet**  
Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
dius = 6.0000  
Select first object or [Polyline/  
adius/Trim]:  
Select second object:  
Command:  
Command: **\_fillet**  
Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
dius = 6.0000  
Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]: **r** **«Enter»**

### **Вводится радиус сопряжения (скругления)**

Specify fillet radius <6.0000>: **16**  
Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]:  
Select second object:  
Command:  
Command: **\_fillet**  
Current settings: Mode = TRIM, Ra-  
dius = **16.0000**  
Select first object or [Polyline/  
Radius/Trim]:  
Select second object: **Enter**  
Command:

Строим три ребра с помощью  
(**Command: line**): два гори-  
зонтальных — (шириной 14мм и  
15мм) и одно вертикальное —  
(шириной 14мм).

**Затем выполняем с помо-  
щью «Command: fillet»  
двенадцать скруглений  
(сопряжений) (R6)  
(рис. 11).**

### **Примечание:**

**Здесь не приводятся  
протоколы выполнения ко-  
манд (рис.11).**

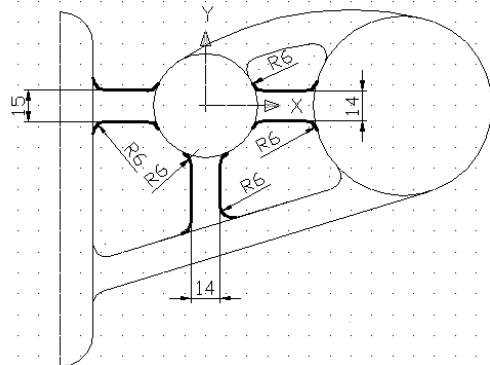


Рис.11

**Выполняем построение  
двух групп отверстий (три  
отверстия с диаметром  
10мм, расположенные на  
осевой окружности с диа-  
метром 32мм и восемь от-  
верстий с диаметром 14мм,  
расположенные на осевой  
окружности с диаметром  
60мм) (рис.12).**

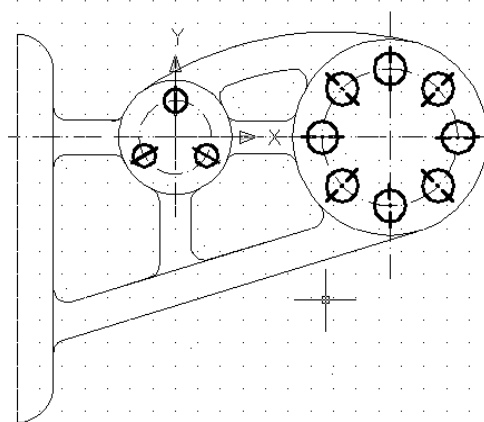


Рис.12

**Сначала строим осевые ок-  
ружности.**

Command:  
 Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int of`  
 Specify radius of circle or [Diameter] <5.0000>: **16** `«Enter»`  
 Command:  
 Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int of`  
 Specify radius of circle or [Diameter] <16.0000>: **30** `«Enter»`  
 Command:

**Затем строим малые окружности по одной каждого вида (R5 и R7).**

#### Примечание

Следует для малых окружностей провести также осевые линии, которые хорошо видны после «размножения» отверстий при помощи команды «массив»

(Command: `-ARRAY`)

**Screen Menu/ Draw 1/  
Circle/ Cen Rad**

Command:  
 Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int of`  
 Specify radius of circle or [Diameter] <16.0000>: **7** `«Enter»`  
 Command:  
 Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int of`  
 Specify radius of circle or [Diameter] <7.0000>: **5** `«Enter»`  
 Command:

**Screen Menu/ Modify 2/  
-array**

Command: `-array`  
 Select objects: 1 found  
 Select objects:  
 Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: **p** `«Enter»`  
 Specify center point of array or [Base]: `_int of`  
 Enter the number of items in the array: **8** `«Enter»`

Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>: `«Enter»`  
 Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>:  
 Command:  
 Command: `-ARRAY`  
 Select objects: 1 found  
 Select objects:  
 Enter the type of array [Rectangular/Polar] <P>:  
 Specify center point of array or [Base]: `_int of`  
 Enter the number of items in the array: **3** `«Enter»`  
 Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>:  
 Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>:  
 Command:

**Заканчиваем создание сложного контура построением двух окружностей (R = 7,5мм и R = 16мм) (рис.13).**

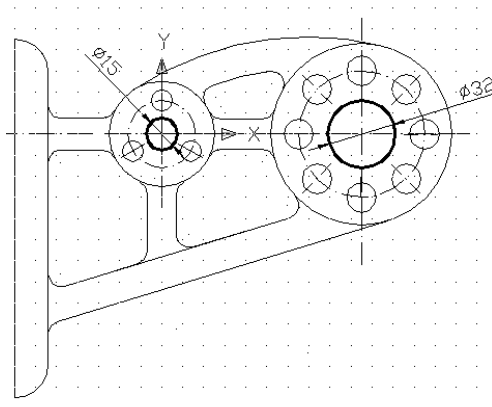


Рис.13

**Screen Menu/ Draw 1/ Circle/  
Cen Rad**

Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int of`  
 Specify radius of circle or [Diameter] <16.0000>:  
 Command:  
 Command: `_circle` Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: `_int of`  
 Specify radius of circle or [Diameter] <7.0000>: **7,5** `«Enter»`  
 Command:

В результате всех построений, проведенных и достаточно подробно описанных выше, получим изображение, показанное на рис.14.

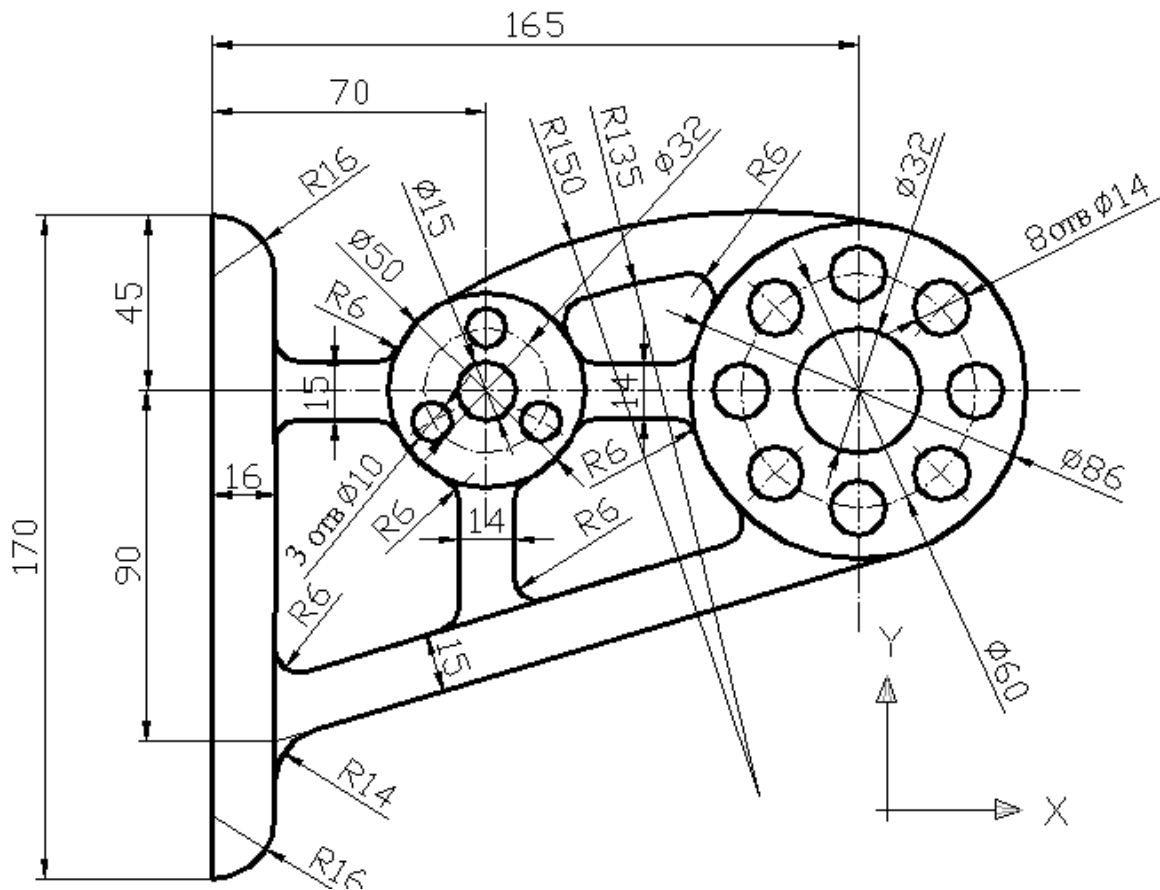


Рис.14

Полученное изображение содержит все необходимые исходные контуры для создания твердотельной модели показанной на рис.5.

Однако многие контуры не являются замкнутыми, как того требует метод «выдавливания» (Command: `_extrude`).

Так контур с размерами (170x16), имеющий два скругления (R16), состоит из двух отрезков прямых и

двух дуг окружностей (R16).

Ребро (R150 - R135) состоит из четырех дуг окружностей, включая два скругления (R6).

Наклонное ребро ограничено двумя отрезками параллельных прямых (расстояние между которыми равно 15 мм) и тремя дугами окружностей, две из которых имеют радиус (R6) и одна - радиус (R14).

Каждое из двух горизонтальных ребер и одно вертикальное ребро ограничены парой параллельных отрезков и четырьмя дугами окружностей (R6). Необходимо на базе каждого из шести указанных разомкнутых контуров создать замкнутые контуры, ограниченные линией (Polyline).

Для этого используется (Command: `_boundary`).

#### Примечание

Следует предварительно «выключить» видимость всех элементов чертежа, препятствующих работе (Command: `_boundary`), с помощью специальных кнопок в окне управления слоями (рис. 15).

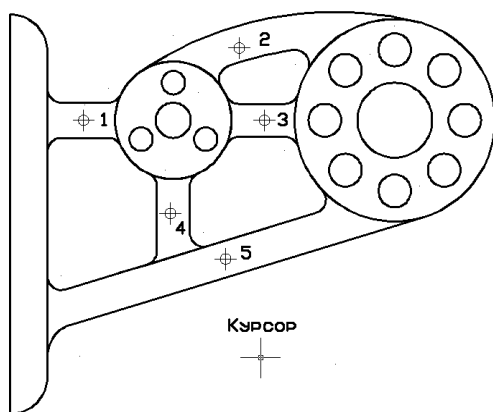


Рис. 15

#### Выполнение команды ( `_boundary` )

Screen Menu/ Draw 2  
`_boundary`

При вызове команды открывается окно, в котором активизируется кнопка (Pick Points).

Нужно нажать эту кнопку с помощью курсора и левой клавиши мыши.

При этом в командной строке появится запрос: (Select internal point:)

После этого следует курсором нажать точки 1, 2, 3, 4, 5 (рис. 15).

Все контуры ребер при этом станут «выделенными».

Кроме этого следует «выделить» аналогично левый шестой контур.

Дальше – смотри протокол:

```
Command:
Command: _boundary
Select internal point: Selecting
everything...
Selecting everything visible...
Analyzing the selected data...
Analyzing internal islands...
Select internal point:
Analyzing internal islands...
Select internal point:
Analyzing internal islands...
Select internal point:
Analyzing internal islands...
Select internal point:
Analyzing internal islands...
Select internal point:
Analyzing internal islands...
BOUNDARY created 6 polylines
Command:
```

Формируем из окружностей твердотельные модели цилиндров с отверстиями высотой 80мм, а из левого контура твердотельную модель плиты высотой тоже 80мм методом «выдавливания». Из пяти ребер формируем твердотельную модель ажурной стойки толщиной 10мм также методом «выдавливания» (рис. 16).

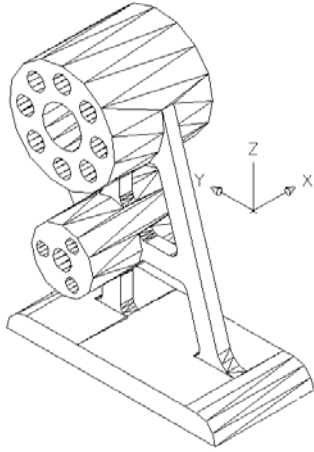


Рис. 16

**Screen Menu/ Draw 2/  
Solids/ Extrude**

```

Command:
Command: _extrude
Current wire frame density: ISO-
LINES=4
Select objects: 1 found
Select objects: 1 found, 1 total
Select objects: 1 found, 2 total
-----
Select objects: 1 found, 12 total
Select objects: 1 found, 13 total
Select objects:
Specify height of extrusion or
[Path]: 50
Specify angle of taper for extru-
sion <0>:
Command:
Command: _extrude
Current wire frame density: ISO-
LINES=4
Select objects: 1 found
Select objects: 1 found, 1 total
Select objects: 1 found, 2 total
Select objects: 1 found, 3 total
Select objects: 1 found, 4 total
Select objects: 1 found, 5 total
Select objects:
Specify height of extrusion or
[Path]: 10
Specify angle of taper for extru-
sion <0>:
Command:

```

**Вычитаем из двух  
больших цилиндров цилинд-  
ры, формирующие отвер-  
стия.**

**Screen menu/ Modify 2/  
Subtract**

```

Command: _subtract
Select solids and regions to sub-
tract from ..
Select objects: 1 found
Select objects:
Select solids and regions to sub-
tract ..
Select objects: 1 found
Select objects: 1 found, 2 total
Select objects: 1 found, 3 total
-----
Select objects: 1 found, 8 total
Select objects: 1 found, 9 total
Select objects:
Command:
Command: _subtract
Select solids and regions to sub-
tract from ..
Select objects: 1 found
Select objects: 1 found, 2 total
Select objects:
Select solids and regions to sub-
tract ..
Select objects: 1 found
Select objects: 1 found, 2 total
Select objects: 1 found, 3 total
Select objects: 1 found, 4 total
Select objects:
Command:

```

**Перемещаем ребра от-  
носительно цилиндров и  
плиты в положение, ука-  
занное в чертеже (рис.  
3), и «объединяем» все  
восемь созданных «твёрдо-  
тельных моделей» с помо-  
щью булевой операции  
«объединение» - (Command:  
**\_union**) (см. рис. 16).**

**Screen menu/ Modify 2/  
Union**

```

Command:
Command: _union
Select objects: Specify opposite
corner: 8 found
Command:

```

**Записываем результат**

```

Command: _saveas

```

### Библиографический список

1. Миронов Б.Г., Миронова Р.С., Пяткина Д.А., Пузиков А.А. Сборник заданий по инженерной графике. М.: Высшая школа, 2006.
2. Пяткина Д.А. Компьютерное моделирование геометрических тел в графическом пакете AutoCAD 2002. Методические указания по курсу «Инженерная и машинная графика». МГИЭМ, Москва, 2003.
3. Пяткина Д.А. Компьютерное твердотельное моделирование в графическом пакете AutoCAD 2002. Методические указания по курсу «Инженерная и машинная графика». МГИЭМ, Москва, 2003.
4. Миронов Б.Г., Миронова Р.С., Пяткина Д.А., Пузиков А.А. Инженерная и компьютерная графика. М.: Высшая школа, 2006.
5. Полищук Н.Н. AutoCAD 2011 – СПб: БХВ – Петербург, 2011.

Учебное издание

Компьютерное твердотельное моделирование геометрических тел, ограниченных криволинейными сопряженными поверхностями, в графическом пакете AutoCAD.

Составители: Пузиков Анатолий Александрович  
Дубейковский Сергей Викторович  
Пяткина Дарья Анатольевна

Редактор С.П.Клышинская  
Технический редактор О.Г. Завьялова

Подписано в печать 12.03.2012. Формат 60x84/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл.печ.л. 1,0.  
Уч.-изд.л. 0,9. Изд.№ 27. Тираж 50 экз. Заказ 41 .  
Бесплатно.  
Московский государственный институт электроники и математики.  
109028, Москва, Б.Трёхсвятительский пер., 3/12.  
Отдел оперативной полиграфии Московского государственного института электроники и математики,  
113054, Москва, ул. М. Пионерская, 12.