

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)
Кафедра “АТБ”**

составитель: Сабуров Павел Сергеевич

ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ



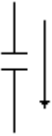
Методические указания к лабораторным работам

Владимир – 2016 г.

1 Получение передаточной функции объекта на примере RLC цепи

Получение передаточных функций наглядно представляется на примере электрической цепи. Для решения такого типа задач необходимо знать электрический импеданс элементов цепи, который приведен в таблице 1.

Таблица 1. Связь мгновенных значений напряжений и токов на элементах

 <p>Резистор</p> <p>i_R</p>	$u_R = Ri_R$	$i_g = Ru_R$
 <p>Катушка индуктивности</p> <p>i_L</p>	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$	$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$
 <p>Конденсатор</p> <p>i_C</p>	$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$

Процедуру получения передаточной функции объекта можно разбить на следующие этапы:

1. получение дифференциальных уравнений системы;
2. запись уравнений в операторной форме;
3. запись передаточной функции.

1.1 Примеры

Пример 1.1

Записать уравнения математической модели, определить передаточную функцию для объекта, приведенного на рисунке 1.1, при $R_1 = R_2 = 1$ кОм, $R_3 = 2$ кОм, $C_1 = C_2 = 1$ мкФ:

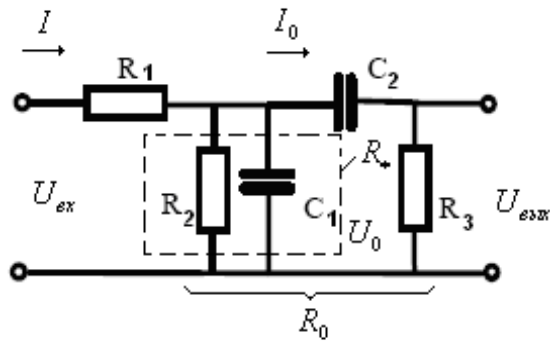


Рисунок 1.1. Эквивалентная схема объекта

1. Выходной величиной будем считать напряжение на выходе цепи, т.е. $y = U_{\text{вых}}$, входным воздействием – напряжение на входе $u = U_{\text{вх}}$. Физическими законами, в силу которых развиваются процессы в объекте, являются законы Киргофа и Ома.

2. Запишем дифференциальные уравнения, характеризующие процессы, протекающие в цепи, выразив сопротивления с помощью оператора дифференцирования, согласно таблице 1, заменяя операцию дифференцирования на p .

3. Запишем сопротивление R_* при параллельном соединении элементов:

$$R_* = \frac{R_2}{R_2 C_1 p + 1}.$$

Запишем сопротивление в контуре, считая, что R_* нам известно:

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_*} + \frac{1}{\frac{1}{C_2 p} + R_3}}.$$

Ток до разветвления по закону Ома равен:

$$I = \frac{U_{\text{вх}}}{R_1 + R_0} = \frac{U_{\text{вх}} ((R_2 C_1 p + 1)(R_3 C_2 p + 1) + R_2 C_2 p)}{R_1 (R_2 C_1 p + (R_3 C_2 p + 1)(R_2 C_1 p + 1)) + R_2 (R_3 C_2 p + 1)},$$

Тогда напряжение в контуре будет равно:

$$U_0 = IR_0 = \frac{U_{\text{вх}} R_2 (R_3 C_2 p + 1)}{R_1 (R_2 C_1 p + (R_3 C_2 p + 1)(R_2 C_1 p + 1)) + R_2 (R_3 C_2 p + 1)},$$

Ток после разветвления равен:

$$I_0 = \frac{U_0}{\frac{1}{C_2 p} + R_3} = \frac{U_{\text{вх}} R_2 C_2 p}{R_1 (R_2 C_1 p + (R_3 C_2 p + 1)(R_2 C_1 p + 1)) + R_2 (R_3 C_2 p + 1)},$$

Запишем выходное напряжение:

$$U_{\text{вых}} = I_0 R_3 = \frac{U_{\text{вх}} R_2 R_3 C_2 p}{R_1 (R_2 C_1 p + (R_3 C_2 p + 1)(R_2 C_1 p + 1)) + R_2 (R_3 C_2 p + 1)}.$$

4. Запишем окончательную передаточную функцию, как отношение входа к выходу и раскроем скобки в знаменателе:

$$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R_2 R_3 C_2 p}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2 p^2 + (R_1 R_2 C_1 + R_1 R_2 C_2 + R_1 R_3 C_2 + R_2 R_3 C_2) p + R_1 + R_2}$$

5. Подставив численные значения, получим:

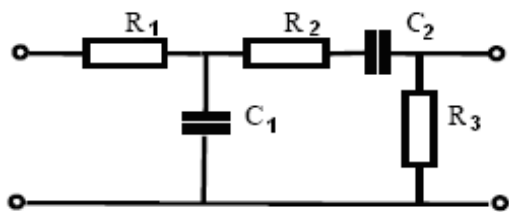
$$W(p) = \frac{2000 p}{2000 p^2 + 6000 p + 2000}.$$

1.2 Задания на самостоятельную подготовку

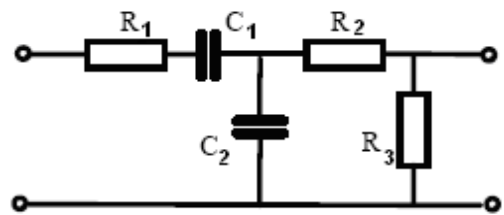
Задача 1.1

Записать уравнения математической модели, определить передаточную функцию для объекта, приведенного на рисунке 1.2, при $R_1 = R_2 = 1$ кОм, $R_3 = 2$ кОм, $C_1 = C_2 = 1$ мкФ, $L_1 = 1$ мГн:

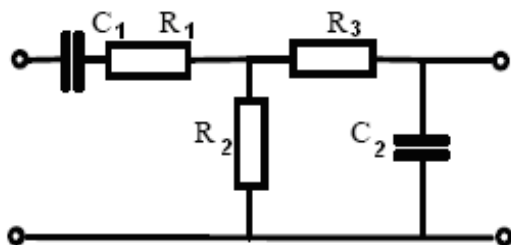
а)



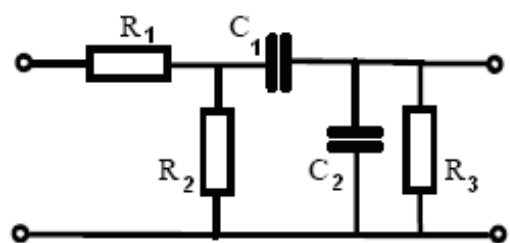
б)



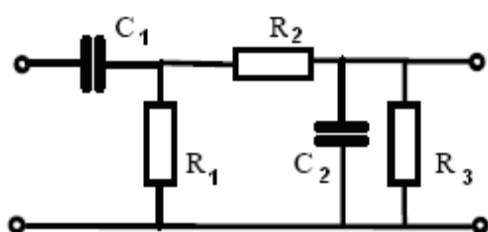
в)



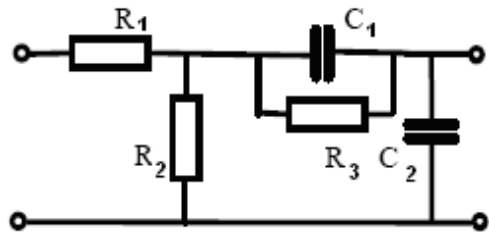
г)



д)

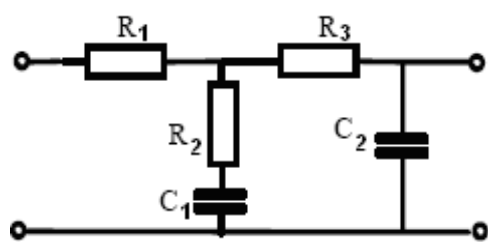


е)

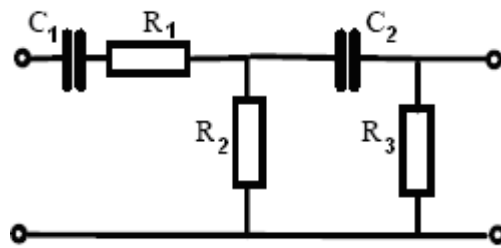


ж)

з)



И)



К)

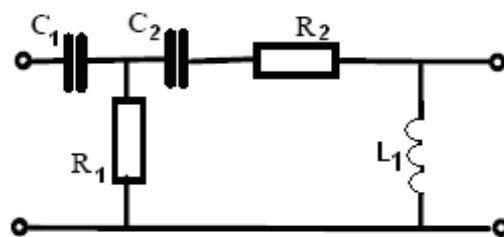
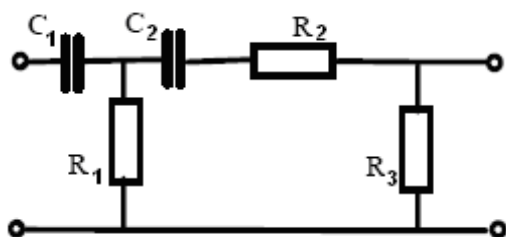


Рисунок 1.2. Эквивалентные схемы объекта

2 Получение передаточной функции из системы дифференциальных уравнений состояния

Рассмотрим способ получения передаточной функции из системы дифференциальных уравнений состояния. Для этого необходимо:

1. записать уравнения пространства состояния в операторной форме.
2. выразить все переменные x через u и y .
3. подставив значения x в последнее дифференциальное уравнение системы, записать передаточную функцию, как отношение y к u .

2.1 Примеры

Пример 2.1

Определим передаточную функцию $W(p)$, если известны дифференциальные уравнения состояния объекта:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 = -4x_1 - x_2 - x_3 + bu, \\ y = x_1 + x_2 - x_3. \end{cases}$$

Решение:

Запишем уравнения состояния в операторной форме:

$$\begin{cases} px_1 = x_2, \\ px_2 = x_3, \\ px_3 = -4x_1 - x_2 - x_3 + bu, \\ y = x_1 + x_2 - x_3. \end{cases}$$

Из третьего уравнения системы выразим x_3 :

$$x_3 = \frac{-4x_1 - x_2 + 6u}{p+1}.$$

Из второго уравнения системы запишем $x_3 = px_2$, тогда

$$px_2 = \frac{-4x_1 - x_2 + 6u}{p+1}$$

Из второго уравнения системы запишем $x_2 = px_1$, тогда

$$p^2 x_1 = \frac{-4x_1 - px_1 + 6u}{p+1},$$

или

$$x_1 = \frac{6u}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Поставив x_1 в первое уравнение системы, получим:

$$x_2 = \frac{6pu}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Поставив x_2 во второе уравнение системы, получим:

$$x_3 = \frac{6p^2u}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

Из выражения $y = x_1 - 2x_2 - x_3$ найдем

$$y = x_1 - 2x_2 - x_3 = \frac{6u}{p^3 + p^2 + p + 4} - \frac{12pu}{p^3 + p^2 + p + 4} - \frac{6p^2u}{p^3 + p^2 + p + 4}.$$

Таким образом, искомая передаточная функция равна:

$$W(p) = \frac{y}{u} = \frac{-6p^2 + 12p + 6}{p^3 + p^2 + p + 4}$$

2.2 Задания на самостоятельную подготовку

Задача 2.1

Опередить передаточную функцию $W(p)$, если известны дифференциальные уравнения состояния объекта:

$$\text{а) } \begin{cases} \dot{x}_1 = 2x_2, \\ \dot{x}_2 = 5x_3, \\ \dot{x}_3 = -4x_1 - 2x_2 - x_3 + 5u, \\ y = 0.1x_1. \end{cases}$$

$$\text{б) } \begin{cases} \dot{x}_1 = x_1 + x_2, \\ \dot{x}_2 = -5x_1 + x_3, \\ \dot{x}_3 = -3x_1 - 2x_2 - x_3 + 4u, \\ y = x_1. \end{cases}$$

$$\begin{array}{l}
\text{В)} \begin{cases} \dot{x}_1 = 3x_1 + 2x_2 + u, \\ \dot{x}_2 = 4x_1 + x_2 + 2u, \\ y = x_1 + 2x_2. \end{cases} \\
\text{Д)} \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + 2u, \\ \dot{x}_2 = x_3 + u, \\ \dot{x}_3 = -4x_1 - 0.5x_2 - 0.2x_3 + 3u, \\ y = x_1. \end{cases} \\
\text{Ж)} \begin{cases} \dot{x}_1 = 2x_2 - x_3, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - x_2 - 3x_3, \\ \dot{x}_3 = -3x_1 - 2x_2 - x_3 + u, \\ y = 2x_1 + x_2. \end{cases}
\end{array}
\qquad
\begin{array}{l}
\text{Г)} \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 = -x_1 - 3x_2 - 7x_3 + u, \\ y = 2x_1 + x_2 - x_3. \end{cases} \\
\text{е)} \begin{cases} \dot{x}_1 = -6x_1 + x_2 + 2u, \\ \dot{x}_2 = 2x_1 - 5x_2 - 3u, \\ y = x_1 + 2x_2. \end{cases}
\end{array}$$

3 Получение матричной передаточной функции

Задачи на получение матричной передаточной функции часто сводятся к получению матрицы передаточных функций объекта из дифференциальных уравнений, передаточной функции, либо матриц объекта.

3.1 Примеры

Пример 3.1

Определить матричную передаточную функцию системы, описываемой следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1 + 5\dot{y}_1 + 6y_1 = \ddot{u}_1 + 3\dot{u}_1 + 4\dot{u}_2 + 8u_2, \\ \dot{y}_2 + y_2 = \dot{u}_1 + 2\dot{u}_2 + 2u_2. \end{cases}$$

Запишем уравнения в операторной форме:

$$\begin{cases} (p^2 + 5p + 6)y_1 = (p^2 + p)u_1 + (4p + 2)u_2, \\ (p + 1)y_2 = pu_1 + 2(p + 1)u_2. \end{cases}$$

Или

$$\begin{cases} y_1 = \frac{p}{p+2}u_1 + \frac{4}{p+3}u_2, \\ y_2 = \frac{p}{p+1}u_1 + 2u_2. \end{cases}$$

Тогда матричная передаточная функция будет иметь вид:

$$W(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{p}{p+2} & \frac{4}{p+3} \\ \frac{p}{p+1} & 2 \end{bmatrix}.$$

Пример 3.2

Определить матричную передаточную функцию, если известны матрицы А, В и С:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ -3 & -5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Решение:

Исходя из матриц, запишем дифференциальные уравнения состояния объекта:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + 2x_2 + u_2, \\ \dot{x}_2 = -3x_1 - 5x_2 + 2u_1, \\ y_1 = x_1, \\ y_2 = x_2. \end{cases}$$

Запишем уравнения в операторной форме:

$$\begin{cases} px_1 = -x_1 + 2x_2 + u_2, \\ px_2 = -3x_1 - 5x_2 + 2u_1, \\ y_1 = x_1, \\ y_2 = x_2. \end{cases}$$

Из первого уравнения системы выразим x_1 :

$$x_1 = \frac{2x_2 + u_2}{p+1}. \quad (1)$$

Из второго уравнения системы выразим x_2 :

$$x_2 = \frac{-3x_1 + 2u_1}{p+5}. \quad (2)$$

Для того, чтобы выразить x_1 через u_1 и u_2 , подставим выражение (2) в выражение (1), получим:

$$x_1 = \frac{4u_1 + u_2(p+5)}{p^2 + 6p + 5}.$$

Таким же образом подставляем (2) в (1) и получаем x_2 через u_1 и u_2 :

$$x_2 = \frac{u_1(2p^2 + 12p + 10) + u_2(p+5)}{(p^2 + 6p + 5)(p+5)}.$$

Так как $y_1 = x_1$ и $y_2 = x_2$ получим системы уравнений, в которой при переменных управления находятся искомые матрицы:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{4}{p^2 + 6p + 5} u_1 + \frac{p + 5}{p^2 + 6p + 5} u_2, \\ y_2 = \frac{2(p + 1)}{p^2 + 6p + 5} u_1 + \frac{1}{p^2 + 6p + 5} u_2. \end{cases}$$

Матричная передаточная функция имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \frac{4}{p^2 + 6p + 5} & \frac{p + 5}{p^2 + 6p + 5} \\ \frac{2(p + 1)}{p^2 + 6p + 5} & \frac{1}{p^2 + 6p + 5} \end{bmatrix}.$$

3.2 Задания на самостоятельную подготовку

Задача 3.1

Определить матричную передаточную функцию системы, описываемой следующими дифференциальными уравнениями:

$$\text{а)} \begin{cases} \ddot{y}_1 + \dot{y}_1 + y_1 = 2\ddot{u}_1 + 2\dot{u}_1 + 4\dot{u}_2 + 4u_2, \\ y_2 = 5u_1 + \dot{u}_2 + 5u_2. \end{cases}, \text{б)} \begin{cases} \dot{y}_1 + 2y_1 = 3\dot{u}_1 + 6u_1 + \dot{u}_2 + 3u_2, \\ \ddot{y}_2 + \dot{y}_2 = \ddot{u}_1 + \dot{u}_1 + \ddot{u}_2. \end{cases}$$

$$\text{в)} \begin{cases} y_1 = \ddot{u}_1 + 8\dot{u}_1 + 4u_2, \\ y_2 = \dot{u}_1 + 3u_1 + 6u_2. \end{cases}$$

$$\text{г)} \begin{cases} \dot{y}_1 + 3y_1 = 3\dot{u}_1 + 8\ddot{u}_2 + 24\dot{u}_2, \\ y_2 = \dot{u}_1 + 6u_1 + \dot{u}_2 + 2u_2. \end{cases}$$

$$\text{д)} \begin{cases} \dot{y}_1 + y_1 = 7\dot{u}_1 + 7u_1 + u_2, \\ \dot{y}_2 + 3y_2 = \dot{u}_1 + \ddot{u}_2 + 7\dot{u}_2 + 12u_2. \end{cases}$$

$$\text{е)} \begin{cases} y_1 = 3\dot{u}_1 + 4\dot{u}_2, \\ \dot{y}_2 + 10y_2 = \ddot{u}_1 + 10\dot{u}_1 + 8\dot{u}_2 + 80u_1 + \dot{u}_2. \end{cases}$$

$$\text{ж)} \begin{cases} \dot{y}_1 + 2y_1 = 6\dot{u}_1 + 12u_1 + \dot{u}_2, \\ \dot{y}_2 + 2y_2 = u_1 + \dot{u}_2 + 3u_2. \end{cases}$$

$$\text{з)} \begin{cases} 2\ddot{y}_1 + 8\dot{y}_1 + 2\dot{y}_2 + 8y_1 = 6\ddot{u}_1 + 24\dot{u}_1 + 2\ddot{u}_2 + 2\dot{u}_2, \\ y_2 = 3u_1 + \dot{u}_2 + u_2. \end{cases}$$

$$\text{и)} \begin{cases} \dot{y}_1 + 3y_1 = 5\ddot{u}_1 + 15\dot{u}_1 + u_2, \\ \dot{y}_2 + 3y_2 = \dot{u}_1 + 7\dot{u}_2 + 21u_2. \end{cases}$$

$$\text{к)} \begin{cases} \dot{y}_1 + 7\dot{y}_1 + 12y_1 = \dot{u}_1 + 4u_1 + \dot{u}_2 + 3u_2, \\ \dot{y}_2 + 5y_2 = u_1 + \ddot{u}_2 + 5u_2. \end{cases}$$

Задача 2.2

Определить матричную передаточную функцию, если известны матрицы А, В и С:

$$\text{а)} A = \begin{bmatrix} -3 & 3 \\ -2 & 4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{б)} A = \begin{bmatrix} -1 & 5 \\ -5 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 6 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{в)} A = \begin{bmatrix} 1 & -2 \\ -2 & 3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 8 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{г)} A = \begin{bmatrix} -4 & 2 \\ -8 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{aligned}
 \text{д) } A &= \begin{bmatrix} -5 & 10 \\ -6 & 3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}; \\
 \text{е) } A &= \begin{bmatrix} -2 & 8 \\ -1 & 4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}; \\
 \text{ж) } A &= \begin{bmatrix} 3 & 4 \\ 4 & -5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 5 \\ 6 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \text{з) } A &= \begin{bmatrix} -5 & 7 \\ -8 & 4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 3 \\ 7 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \text{и) } A &= \begin{bmatrix} 9 & 8 \\ -3 & 3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 \text{к) } A &= \begin{bmatrix} -9 & 8 \\ -5 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix};
 \end{aligned}$$

2.1 Первая каноническая форма

Для получения первой канонической формы системы, с передаточной функцией (1.1), необходимо:

1. Представить структурную схему в виде двух последовательных звеньев, соответствующих уравнению (2.5), обозначив переход через z (рисунок 2.2);

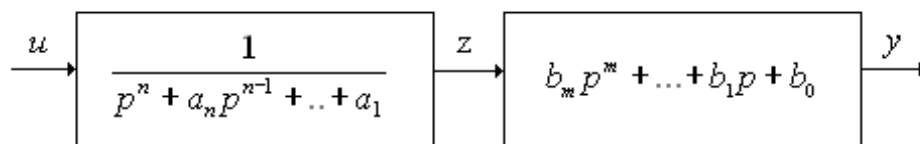


Рисунок 2.2. Структурное представление системы, соответствующее уравнению (2.5).

2. Для каждого звена системы записать соответствующие операторные уравнения:

$$\begin{cases} (p^n + a_n p^{n-1} + \dots + a_1)z = u, \\ (b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0)z = y. \end{cases} \quad (2.7)$$

3. Определить старшую производную переменной z из первого уравнения (2.7), что соответствует значению $p^n z$ в операторной форме:

$$p^n z = u - a_n p^{n-1} z - \dots - a_1 z \quad (2.8)$$

4. Представить (2.8) в виде цепочки из k интеграторов (рисунок 2.3), где n – порядок системы, и добавить выходную переменную y в соответствии со вторым уравнением (2.7);

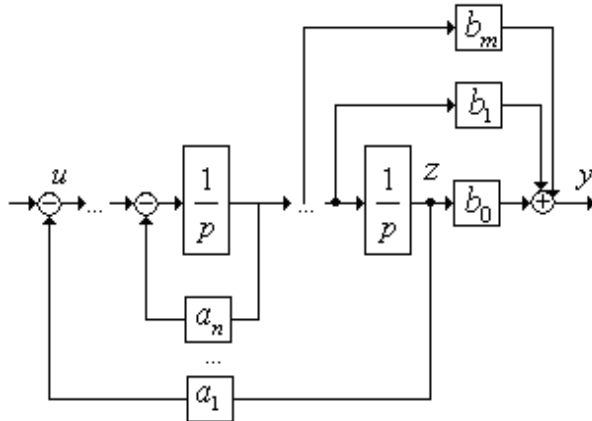


Рисунок 2.2. Структурная схема, соответствующая первой канонической форме

5. От полученной структурной схемы перейти к модели системы в переменных состояния в виде (2.9), обозначив выход каждого интегратора за переменную состояния $x_1 = z$, $x_2 = \dot{z}$, ..., $x_n = z^{n-1}$;

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dots \\ \dot{x}_n = -a_1x_1 - a_2x_2 - \dots - a_nx_n + u, \\ y = b_0x_1 + b_1x_2 + \dots + b_mx_{m+1}. \end{cases} \quad (2.9)$$

Систему уравнений (2.9) можно представить векторно-матричной форме, соответствующей уравнениям (2.3) и (2.4), со следующими матрицами:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_1 & -a_2 & -a_3 & 0 & \dots & -a_n \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$C = [b_0 \quad b_1 \quad \dots \quad b_m \quad 0 \quad \dots \quad 0].$$

Пример

Пример 2.2

Записать модель в переменных состояния, соответствующую первому каноническому описанию, определить матрицы A , B , C и изобразить структурную схему системы.

$$\ddot{y} + 3\dot{y} + y = 2\ddot{u} + 2\dot{u} + 5u.$$

Решение:

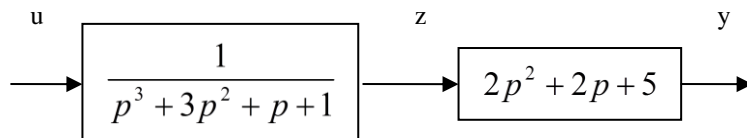
Записав дифференциальное уравнение в операторной форме, получим:

$$p^3 y + 3p^2 y + p y + y = 2p^2 u + 2p u + 5u.$$

Передаточная функция этого выражения имеет вид:

$$W(p) = \frac{y}{u} = \frac{2p^2 + 2p + 5}{p^3 + 3p^2 + p + 1}$$

1) Представив передаточную функцию, как два последовательных звена, получим:



2) Запишем операторные уравнения через z :

$$\begin{cases} u = (p^3 + 3p^2 + p + 1) * z, \\ y = (2p^2 + 2p + 5) * z. \end{cases}$$

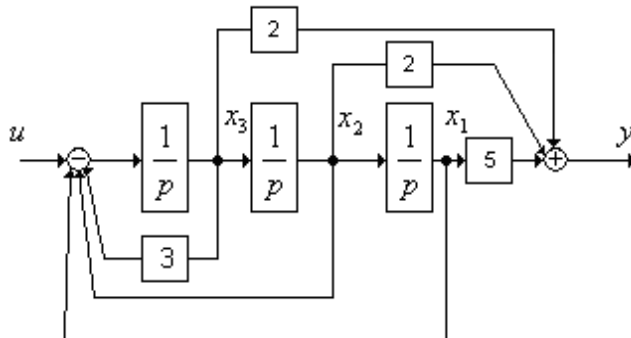
Внеся z в скобки, получим:

$$\begin{cases} u = \ddot{z} + 3\dot{z} + \dot{z} + z \\ y = 2\ddot{z} + 2\dot{z} + 5z \end{cases}$$

3) Выразим старшую производную по u :

$$\ddot{z} = u - 3\dot{z} - \dot{z} - z$$

4) Нарисуем структурную схему из трех интеграторов, с обратными связями по u и производными по y .



5) От структурной схемы перейдем к модели в переменных состояния

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 - 3x_3 - x_2 - x_1 + u, \\ y = 2x_3 + 2x_2 + 5x_1. \end{cases}$$

Матрицы объекта имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -3 \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \mathbf{C} = [5 \quad 2 \quad 2].$$

2.2 Вторая каноническая форма

Для перехода от передаточной функции (1.1) ко второй канонической форме необходимо:

1. Представить структурную схему в виде двух последовательных звеньев, соответствующих уравнению (2.6), обозначив переход через z (рисунок 2.3);

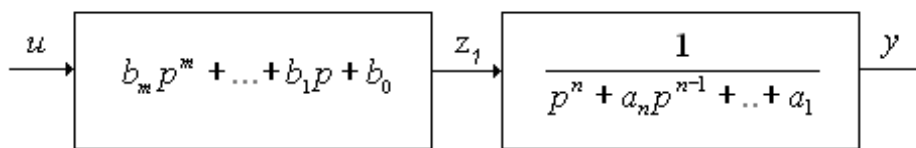


Рисунок 2.3. Структурное представление системы, соответствующее уравнению (2.6).

2. Для каждого звена системы записать соответствующие операторные уравнения:

$$\begin{cases} (p^n + a_n p^{n-1} + \dots + a_1)y = z_1, \\ (b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0)u = z_1. \end{cases} \quad (2.10)$$

3. Определить старшую производную переменной y из первого уравнения (2.10), что соответствует значению $p^n y$ в операторной форме

$$p^n y = z_1 - a_n p^{n-1} y - \dots - a_1 y \quad (2.11)$$

4. Представить (2.11) в виде цепочки из n интеграторов (рисунок 2.4), где n – порядок системы. В обратной связи будут располагаться коэффициенты характеристического полинома, а в прямой связи – коэффициенты первого полинома числителя передаточной функции из формулы 2.10;

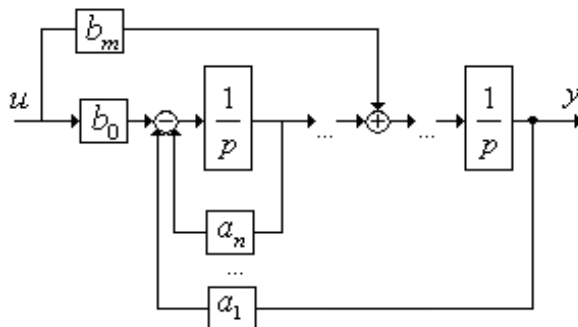


Рисунок 2.4. Структурная схема, соответствующая второй канонической форме

5. От полученной структурной схемы, обозначив выход каждого интегратора за переменную состояния, записать дифференциальные уравнения состояния и уравнение выхода:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dots \\ x_i = x_{i+1} + b_i u, \\ \dot{x}_n = -a_1 x_1 - a_2 x_2 - \dots - a_n x_n + b_0 u, \\ y = x_1. \end{cases} \quad (2.12)$$

По уравнениям (2.12) можно получить матрицы системы:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_1 & -a_2 & -a_3 & 0 & \dots & -a_n \end{bmatrix}, \quad B^T = [0 \quad \dots \quad 0 \quad b_m \quad \dots \quad b_0],$$

$$C = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0].$$

Пример

Пример 2.3

Записать модель в переменных состояния, соответствующую второму каноническому описанию, определить матрицы А, В, С и изобразить структурную схему системы:

$$\ddot{y} + 3\dot{y} + y = 2\ddot{u} + 2\dot{u} + 5u.$$

Решение:

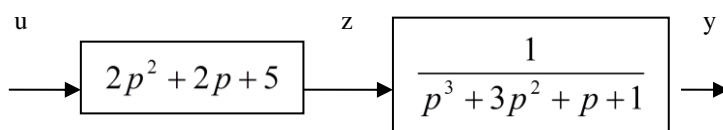
1) Записав дифференциальное уравнение в операторной форме, получим:

$$p^3 y + 3p^2 y + p y + y = 2p^2 u + 2p u + 5u.$$

Передаточная функция этого выражения имеет вид:

$$W(p) = \frac{y}{u} = \frac{2p^2 + 2p + 5}{p^3 + 3p^2 + p + 1}$$

Представив передаточную функцию, как два последовательных звена, получим:



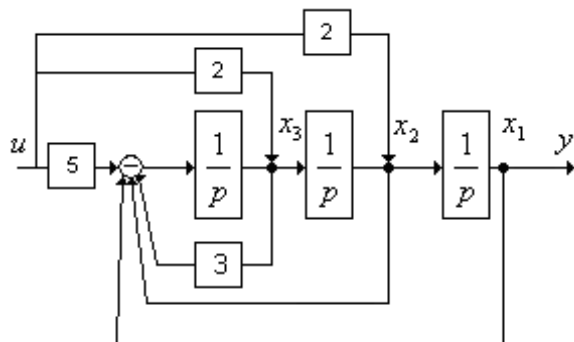
2) Запишем операторные уравнения через z:

$$\begin{cases} z = (2p^2 + 2p + 5)u, \\ z = (p^3 + 3p^2 + p + 1)y. \end{cases}$$

3) Выразим старшую производную по y :

$$\ddot{y} = z - 3\dot{y} - \dot{y} - y.$$

4) Нарисуем структурную схему из трех интеграторов, с обратными связями по u и производными по y :



5) От структурной схемы перейдем к модели в переменных состояния:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + 2u, \\ \dot{x}_2 = x_3 + 2u, \\ \dot{x}_3 = -3x_3 - x_2 - x_1 + u, \\ y = x_1. \end{cases}$$

Матрицы объекта имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0 \quad 0];$$

Задачи на самостоятельную подготовку

//////////888888888888//////////

1. Структурные преобразования

Для наглядного представления сложной системы как совокупности элементов и связей между ними используются структурные схемы.

Структурной схемой называется схема САУ, изображенная в виде соединения ПФ составляющих ее звеньев. Структурная схема показывает строение автоматической системы, наличие внешних воздействий и точки их приложения, пути распространения воздействий и выходную величину.

Динамическое или статическое звено изображается прямоугольником, в котором указывается ПФ звена или ее математическое выражение.

Воздействия на систему и влияние звеньев друг на друга (сигналы) изображаются стрелками. В каждом звене воздействие передается только от входа звена к его выходу. На динамическое звено может воздействовать лишь одна входная величина, поэтому используются блоки суммирования и сравнения сигналов. Суммироваться и сравниваться могут лишь сигналы одной и той же физической природы.

Структурная схема может быть составлена по уравнению системы в пространстве состояний или по дифференциальным уравнениям системы (См выше). При составлении структурной схемы удобно начинать с изображения задающего воздействия и располагать динамические звенья, составляющие прямую цепь системы, слева направо до регулируемой величины. Тогда основная обратная связь и местные обратные связи будут направлены справа налево. Различные способы преобразования структурных схем облегчают определение ПФ сложных САУ и дают возможность привести многоконтурную систему к эквивалентной ей одноконтурной схеме.

Последовательное соединение звеньев

Рассмотрим последовательное соединение типовых звеньев с передаточными функциями

$W_i(p)$, $i = \overline{1, m}$, и найдем выражение для общей передаточной функции, связывающей между собой входной и выходной сигналы системы на рисунке 3.1.

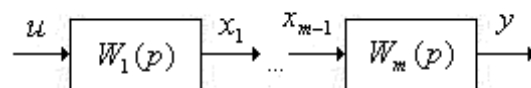


Рисунок 3.1. Последовательное соединение m -звеньев

Правило: передаточная функция звеньев равна произведению передаточных функций всех звеньев, т.е.

$$W(p) = \frac{y}{u} = \prod_{i=1}^m W_i(p). \quad (3.1)$$

Параллельное соединение звеньев

Правило: Передаточная функция параллельного соединения звеньев равна сумме передаточных функций отдельных звеньев:

$$W(p) = \frac{y}{u} = \sum_{i=1}^m W_i(p). \quad (3.2)$$

Параллельное соединение звеньев показано на рисунке 3.2.

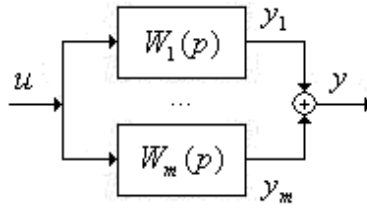


Рисунок 3.2. Параллельное соединение m -звеньев

Выходной сигнал системы представляет собой сумму выходных сигналов отдельных звеньев

$$y = y_1 + \dots + y_m = W_1(p)u + \dots + W_m(p)u, \quad (3.3)$$

Следовательно общая передаточная функция параллельного соединения имеет вид (3.2).

Обратная связь

Такое соединение звеньев показано на рисунке 3.3, причем знак «-» внутри сумматора означает отрицательную обратную связь.

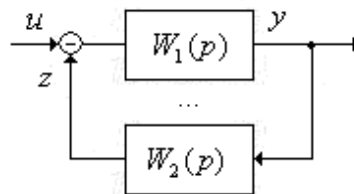


Рисунок 3.3. Структурная схема системы с обратной связью

Для определения общей передаточной функции запишем выражение для выходной переменной системы

$$y = W_1(p)[u - z] = W_1(p)[u - W_2(p)y]. \quad (3.4)$$

После преобразований получим

$$W(p) = \frac{y}{u} = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}. \quad (3.5)$$

Правило: передаточная функция системы с отрицательной обратной связью равна дроби, в числителе которой стоит передаточная функция прямого канала $W_1(p)$, а знаменатель представляет собой сумму единицы и произведения передаточных функций прямого и обратного каналов системы.

В случае положительной обратной связи формула (3.5) принимает вид

$$W(p) = \frac{y}{u} = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)}. \quad (3.6)$$

На практике обычно встречаются системы с отрицательной обратной связью, для которых передаточная функция находится по соотношению (3.5).

Правило переноса

В некоторых случаях для получения общей передаточной функции системы с помощью структурных преобразований удобнее было бы перенести точку приложения сигнала через звено ближе к выходу или входу. При таком преобразовании структурной схемы следует придерживаться *правила*: передаточная функция системы должна оставаться неизменной. Рассмотрим ситуацию, когда точка приложения сигнала переносится через звено ближе к выходу. Исходная структура системы показана на рисунке 3.4.

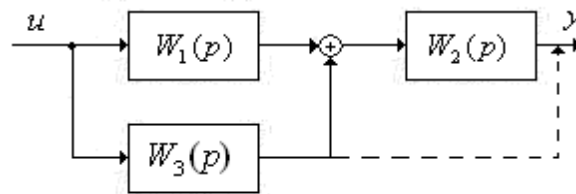


Рисунок 3.4. Структурная схема исходной системы

Определим для нее результирующую передаточную функцию

$$W(p) = W_2(p)[W_1(p) + W_3(p)]. \quad (3.7)$$

Перенесем точку приложения сигнала через звено с передаточной функцией $W_2(p)$, добавив в этот канал некоторую передаточную функцию $W_4(p)$. Получим структурную схему преобразованной системы, как показано на рисунке 3.5.

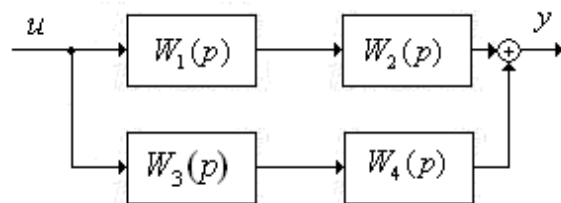


Рисунок 3.5. Структурная схема исходной системы

Для нее передаточная функция имеет вид

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) + W_3(p)W_4(p) \quad (3.8)$$

Поскольку при преобразовании структуры системы ее передаточная функция не должна измениться, приравняв правые части выражений (3.7) и (3.8), определим искомую передаточную функцию $W_4(p)$:

$$W_4(p) = W_2(p) \quad (3.9)$$

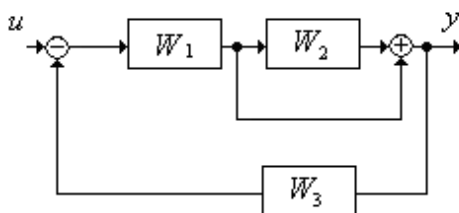
Таким образом, при переносе точки приложения сигнала ближе к выходу системы в канал следует добавить передаточную функцию звена, через которое переносится сигнал.

Аналогичное правило можно сформулировать для переноса точки приложения сигнала ближе к входу системы: в соответствующий канал следует добавить обратную передаточную функцию звена $\frac{1}{W(p)}$, через которое переносится сигнал.

Пример

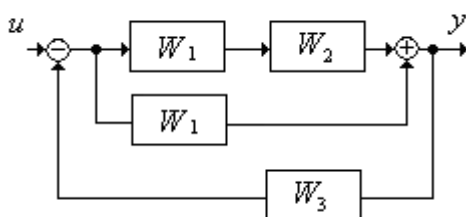
Пример 3.1

Определить передаточную функцию системы, структурная схема которой имеет вид:

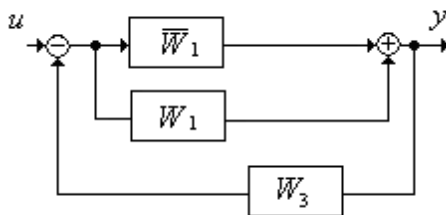


Решение:

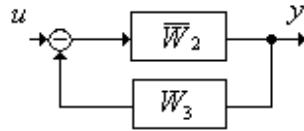
1. Перенос узла через звено:



2. Последовательно соединенные звенья: $\bar{W}_1 = W_1 W_2$

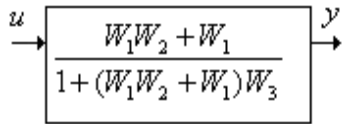


3. Параллельно соединенные звенья: $\bar{W}_2 = \bar{W}_1 + W_1 = W_1 W_2 + W_1$



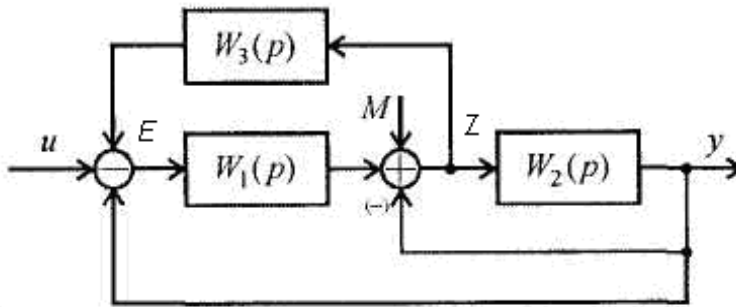
4. Обратная связь: $\bar{W}_{рез} = \frac{\bar{W}_2}{1 + \bar{W}_2 W_3} = \frac{\bar{W}_2}{1 + \bar{W}_2 W_3} = \frac{W_1 W_2 + W_1}{1 + (W_1 W_2 + W_1) W_3}$

Ответ:



Пример 3.2

По структурной схеме системы определить передаточную функцию $W_u(p) = y(p)/M(p)$ при $u=0$



Искомая передаточная функция будет иметь вид: $W(p) = \frac{y}{M}$

1. Означим сигнал после сумматора, через z, а сигнал рассогласования, как E

2. Опишем все сигналы в системе в виде уравнений

$$E = -W_3 * z - y$$

$$z = M - y + W_1 * E$$

$$y = W_2 * z$$

3. Подставив последовательно значения сигналов, найдем результирующую передаточную функцию.

$$z = M - y + W_1 * (-W_3 * z - y) \quad z = \frac{M - y(1 + W_1)}{1 + W_1 W_3}$$

$$y = W_2 * \frac{M - y(1 + W_1)}{1 + W_1 W_3}$$

$$W(p) = \frac{y}{M} = y = \frac{W_2}{W_1 W_3 + W_1 W_2 + W_2 + 1}$$

3.2 Задачи на самостоятельную подготовку

///

2. Оценка качества регулирования

В современной ТАУ используются такие показатели качества как:
Интегральная абсолютная ошибка регулирования

$$J = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt, \quad \varepsilon(t) = y(t) - y^*(t). \quad (4.1)$$

Интегральная квадратичная ошибка регулирования

$$J = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt. \quad (4.2)$$

Перерегулирование

$$\delta = \frac{\sigma_{\max}}{y^*} 100\% \quad \text{фффффффф} \quad (4.3)$$

При оценивании качества регулирования при компенсации возмущающего воздействия величина перерегулирования определяется как отношение абсолютной величины максимального отклонения отрицательного знака к максимальному отклонению регулируемой переменной положительного знака, как показано на рисунке 4.1.

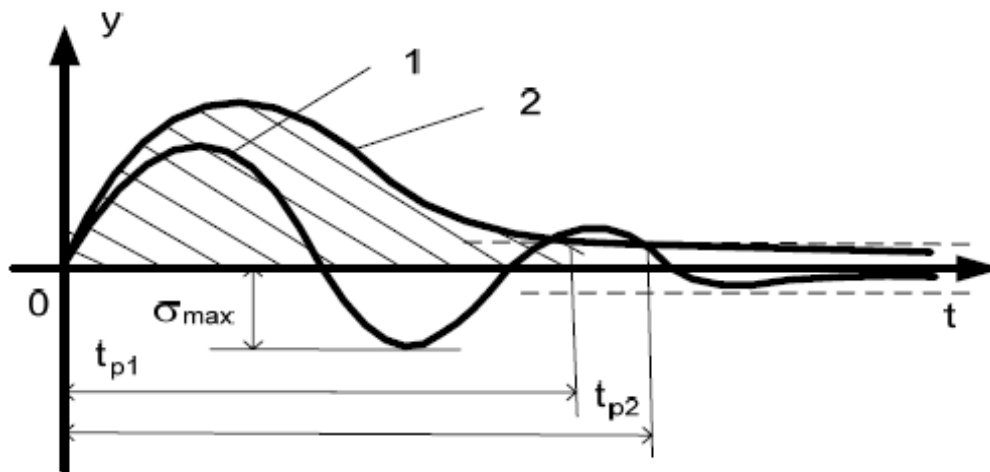


Рисунок 4.1. Ошибка перерегулирования

Длительность переходного процесса (время регулирования)

Определяется как разница времени окончания переходного процесса и временем начала изменения внешнего воздействия

$$t_p = t_0 - t_k \quad (4.4)$$

В идеальной линейной системе переходный процесс бесконечен, поэтому время окончания переходного процесса определяют с того момента времени, когда ошибка регулирования перестанет превышать некоторую заданную величину Δ . Значение Δ обычно принимают равной 5% от установившегося (заданного) уровня выходного сигнала.

Статическая ошибка регулирования

Для оценки точности используется ошибка регулирования

$$\Delta(t) = v - y(t), \quad (4.1)$$

которая с течением времени стремится к некоторому постоянному значению, называемому ***статической ошибкой***:

$$\Delta^0 = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta(t). \quad (4.2)$$

При известной структурной схеме системы ошибку можно определить в операторной форме с помощью структурных преобразований

$$\Delta(p) = v(p) - y(p). \quad (4.3)$$

В этом случае статический режим характеризуется тем, что $p=0$, а статическая ошибка находится по выражению

$$\Delta^0 = \Delta(0). \quad (4.4)$$

Наличие статической ошибки в общем случае является нежелательным, так как создается погрешность управления. Но для полного устранения статического отклонения требуется до бесконечности увеличивать коэффициент передачи k , что нереализуемо по ряду причин (например, по условию обеспечения устойчивости). Таким образом, в статической САУ принципиально нельзя полностью устранить статическую ошибку.

Колебательность

Колебательность характеризуется обычно числом колебаний переходной характеристики за время переходного процесса. В зависимости от характера затухания различают следующие типы переходных характеристик: монотонная (нет ни одного колебания); апериодическая (не более одного колебания); колебательная (несколько колебаний).

Динамическая ошибка

Текущая ошибка обработки переменного сигнала называется динамической ошибкой САУ. Динамическая ошибка системы изменяется с течением времени. Она зависит от структуры, параметров и характера изменения воздействий САУ.

Динамическая ошибка определяется по формуле:

$$\Delta_d = \Delta(t) - \Delta^0, \quad (4.5)$$

Причем $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta_d(t) = 0$.

4.1 Примеры

Пример 4.1

Определить коэффициент усиления K_p , чтобы статическая ошибка в системе Δ_*^0 не превышала 5% от M

$$W_1(p) = \frac{K_p}{0.5p+1}; \quad W_2(p) = \frac{1}{2p^2+0.7p+1}.$$

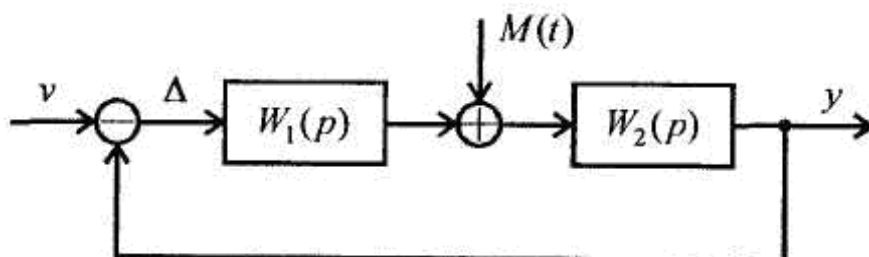


Рисунок 4.2. Структурная схема системы к задаче 4.1

Запишем ошибку регулирования, обозначив ее через Δ :

$$\Delta = v - u = v - W_2(p)[M + W_1(p)\Delta], \text{ откуда}$$

$$\Delta = \frac{1}{1 + W_1(p)W_2(p)} v - \frac{W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} M,$$

$$\Delta = \frac{(2p^2 + 0.7p + 1)(0.5p + 1)}{(2p^2 + 0.7p + 1)(0.5p + 1) + K_p} v - \frac{0.5p + 1}{(2p^2 + 0.7p + 1)(0.5p + 1) + K_p} M$$

Приравняв $p=0$, запишем неравенство с передаточной функцией по M в левой стороне

$$\frac{1}{(1 + K_p)} \leq 0.05\%$$

Ответ:

$$K_p \geq 19$$

Пример 4.2

Определить полную статическую ошибку в системе, структурная схема которой изображена на рисунке 4.1.

$$W_1(p) = \frac{0.25p+1}{0.1p+1}; \quad W_2(p) = \frac{5}{(0.2p^2+0.1p+1)p}.$$

$$\Delta = v - u = v - W_2(p)[M + W_1(p)\Delta], \text{ откуда}$$

$$\Delta = \frac{1}{1 + W_1(p)W_2(p)} v - \frac{W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} M,$$

$$\Delta = \frac{p(0.1p+1)(0.2p^2+0.1p+1)}{p(0.1p+1)(0.2p^2+0.1p+1)+5(0.25p+1)} v - \frac{5(0.1p+1)}{p(0.1p+1)(0.2p^2+0.1p+1)+5(0.25p+1)} M$$

Ответ:

Полная статическая ошибка равна:

$$\Delta = 1$$

4.2 Задания на самостоятельную подготовку

/**/**

3. Частотные характеристики

Формально для получения частотной передаточной функции надо сделать в $W(p)$ подстановку $p = j\omega$, и тогда полученная $W(j\omega)$ является комплексным выражением, которое можно представить в виде:

$$W(j\omega) = \frac{a_1(\omega) + jb_1(\omega)}{a_2(\omega) + jb_2(\omega)}. \quad (5.1)$$

Для нахождения вещественной и мнимой частей частотной передаточной функции необходимо домножить числитель и знаменатель на сопряженную знаменателю величину, а затем провести деление:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{(a_1(\omega) + jb_1(\omega))(a_2(\omega) - jb_2(\omega))}{(a_2(\omega) + jb_2(\omega))(a_2(\omega) - jb_2(\omega))} = \\ &= \frac{a_1(\omega)a_2(\omega) + b_1(\omega)b_2(\omega)}{a_2^2(\omega) + b_2^2(\omega)} + j \frac{a_2(\omega)b_1(\omega) + a_1(\omega)b_2(\omega)}{a_2^2(\omega) + b_2^2(\omega)} = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \end{aligned} \quad (5.2)$$

где

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{\sqrt{a_2^2 + b_2^2}}, \quad (5.3)$$

- это амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

$$\varphi(\omega) = \arg(W(j\omega)) = \arctg \left[\frac{U(\omega)}{V(\omega)} \right] = \arctg \left[\frac{b_1}{a_1} \right] - \arctg \left[\frac{b_2}{a_2} \right], \quad (5.4)$$

- это фазово-частотная характеристика (ФЧХ).

Графики функций $U(\omega)$ и $V(\omega)$ называют соответственно **вещественной** и **мнимой частотной характеристиками**.

В практических расчетах удобно применять графики частотных характеристик, построенных в логарифмическом масштабе – **логарифмические частотные характеристики** (ЛЧХ) или (ЛАХ).

Логарифмическая амплитудная частотная характеристика (ЛАЧХ) определяется следующим выражением:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) \quad (5.5)$$

Логарифмической фазовой частотной характеристикой (ЛФЧХ) называется график зависимости $\psi(\omega)$, построенный в логарифмическом масштабе частот.

Единицей $L(\omega)$ является децибел (дБ), а единицей логарифма частоты – декада. **Декадой** называют интервал частот, на котором частота изменяется в 10 раз. При изменении частоты в 10 раз говорят, что она изменилась на одну декаду. Ось ординат при построении ЛЧХ проводят через произвольную точку, а не через точку $\omega = 0$. Частоте $\omega = 0$ соответствует бесконечно удаленная точка $\lg \omega \rightarrow -\infty$ при $\omega \rightarrow 0$.

Основное преимущество использования ЛЧХ заключается в том, что приближенные (асимптотические) ЛАЧХ типовых динамических звеньев изображаются отрезками прямых.

Примеры

Пример 5.1

Записать аналитические выражения для всех частотных характеристик по известной передаточной функции объекта:

$$W(p) = \frac{4}{2p^2 + p}$$

Произведем замену по (5.1), $p = j\omega$,

$$W(p) = \frac{4}{2(j\omega)^2 + j\omega}$$

затем умножим на сопряженные по (5.2):

$$W(j\omega) = \frac{4}{2(j\omega)^2 + j\omega} = \frac{8(j\omega)^2 - 4j\omega}{4(j\omega)^4 - (j\omega)^2} = \frac{-8\omega - 4j}{4\omega^3 + \omega} = \frac{-8}{4\omega^2 + 1} + j \frac{-4}{\omega(4\omega^2 + 1)}$$

$$\text{ВЧХ: } U(\omega) = \frac{-8}{4\omega^2 + 1}$$

$$\text{МЧХ: } V(\omega) = \frac{-4}{\omega(4\omega^2 + 1)}$$

Найдем АЧХ по формуле (5.3):

$$A(\omega) = \sqrt{\left(\frac{-8}{4\omega^2 + 1}\right)^2 + \left(\frac{-4}{\omega(4\omega^2 + 1)}\right)^2} = \sqrt{\frac{64\omega^2 + 16}{\omega^2(4\omega^2 + 1)^2}}$$

Найдем АЧХ по формуле (5.4):

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{-8}{4\omega^2 + 1} * \frac{\omega(4\omega^2 + 1)}{-4} = \arctg \frac{1}{2\omega}$$

Найдем ЛАХ по формуле (5.5):

$$L = 20 \lg \sqrt{\frac{64\omega^2 + 16}{\omega^2(4\omega^2 + 1)^2}}$$

4. Критерии устойчивости

Будем говорить, что линейная система устойчива, если ее реакция на любое ограниченное воздействие также ограничена, и неустойчива, если реакция на ограниченные воздействия неограниченна.

На практике для упрощения расчетов устойчивость САР определяют с помощью критериев устойчивости. Критерий устойчивости – это правило, позволяющее выяснить устойчивость системы без вычисления корней характеристического уравнения. Рассматриваются коэффициенты характеристического уравнения или их функции. Критерии устойчивости разделяют на алгебраические и частотные. К алгебраическим критериям относят критерии Гурвица, Лъенара-Шипара и Раусса, к частотным – Критерий Михайлова и Найквиста.

6.1 Критерий Гурвица

Критерий является алгебраическим критерием и применяется к коэффициентам характеристического уравнения замкнутой системы.

Пусть имеется характеристическое уравнение замкнутой системы:

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0 \quad (6.1)$$

Из коэффициентов характеристического уравнения составляют матрицу по правилу:

1. По диагонали записываются коэффициенты от a_{n-1} до a_0 .
2. Каждая строка дополняется коэффициентами с возрастающими индексами слева направо так, чтобы чередовались строки с нечетными и четными индексами.
3. В случае отсутствия индекса, а также, если он меньше 0 или больше n , на его место пишется 0.

Таким образом, матрица Гурвица приобретает следующий вид:

$$\begin{bmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_2 & a_0 \end{bmatrix}.$$

Критерий устойчивости формулируется так:

Чтобы система была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы при $a_{nb} > 0$ были положительными все n диагональных определителей, получаемых из матрицы Гурвица.

Первые три определителя матрицы Гурвица имеют следующий вид:

$$\Delta_1 = a_{n-1}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} \\ a_n & a_{n-2} \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} \end{vmatrix}.$$

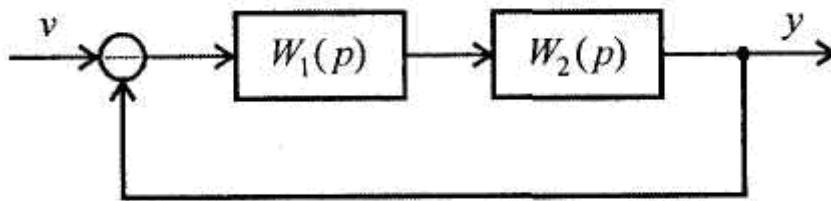
Таким образом, критерий Гурвица позволяет судить об абсолютной устойчивости, но не дает возможности оценивать относительную устойчивость по корням характеристического уравнения.

Примеры

Пример 6.1

С помощью критерия Гурвица определить значение T_{cp} для системы, если

$$W_1(p) = \frac{1}{Tp+1}, \quad W_2(p) = \frac{2,5}{0,5p^2 + 0,2p+1}.$$



1. Определим результирующую передаточную функцию системы

$$W(p) = \frac{2.5}{(0.5p^2 + 0.2p + 1)(Tp + 1) + 2.5}$$

Характеристический

ПОЛИНОМ

СИСТЕМЫ

$$A(p) = 0.5Tp^3 + (0.5 + 0.2T)p^2 + (0.2 + T)p + 3.5$$

Матрица Гурвица будет иметь вид

$$\begin{bmatrix} 0.5+0.2T & 3.5 & 0 \\ 0.5T & 0.2+T & 0 \\ 0 & 0.5+0.2T & 3.5 \end{bmatrix}$$

Для устойчивости системы необходимо, чтобы все определители были положительны

$$0.5+0.2T > 0$$

$$(0.5+0.2T) * (0.2+T) - 3.5 * 0.5T > 0$$

Решим неравенства и получим

$$\text{Ответ: } T > -0.1$$

6.2 Критерий Михайлова

Критерий предполагает построение годографа Михайлова, то есть кривой которую описывает конец вектора $D(j\omega)$ на комплексной плоскости при изменении ω от 0 до $+\infty$. Вектор $D(j\omega)$ получается из характеристического полинома замкнутой системы при подстановке $p = j\omega$.

Годограф начинается при $\omega = 0$ на вещественной положительной полуоси в точке и при $\omega = \infty$ уходит в бесконечность в соответствующем квадранте. Угол поворота вектора $D(j\omega)$ определяется выражением:

$$\psi = \frac{n\pi}{2} - l\pi, \quad (6.2)$$

где n - степень характеристического полинома; l - число его корней с положительной вещественной частью.

Формулировка критерия: для устойчивости системы n -ого порядка необходимо и достаточно, чтобы годограф Михайлова обошел в положительном направлении (против часовой стрелки) последовательно n квадрантов, нигде не обращаясь в ноль.

Примерный вид годографов Михайлова устойчивых систем первого – пятого порядков показан на рисунке 6.1.

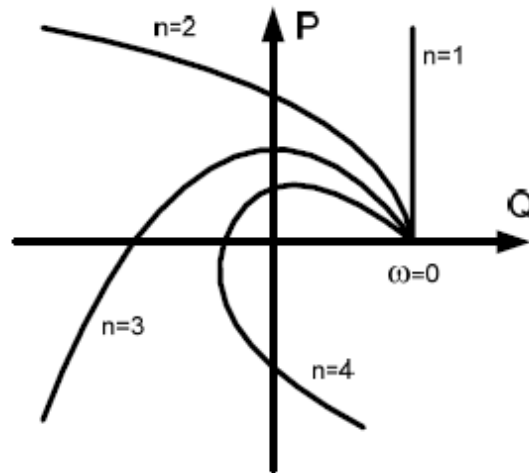


Рисунок 6.1. Годографы Михайлова устойчивых систем

Если система на границе устойчивости, то годограф проходит через начало осей координат так, что после небольшой его деформации около начала осей координат критерий удовлетворяется.

Условием границы устойчивости является обращение в нуль годографа Михайлова при некотором значении частоты $\omega = \omega_0$.

Аналитически это условие можно записать в виде:

$$\begin{cases} U(\omega_0) = 0, \\ V(\omega_0) = 0. \end{cases} \quad (6.3)$$

Здесь ω_0 - это частота незатухающих колебаний, возникающих в системе, находящейся на границе устойчивости.

Годографы системы четвертого порядка, находящейся на границе устойчивости, показаны на рисунке 6.2.

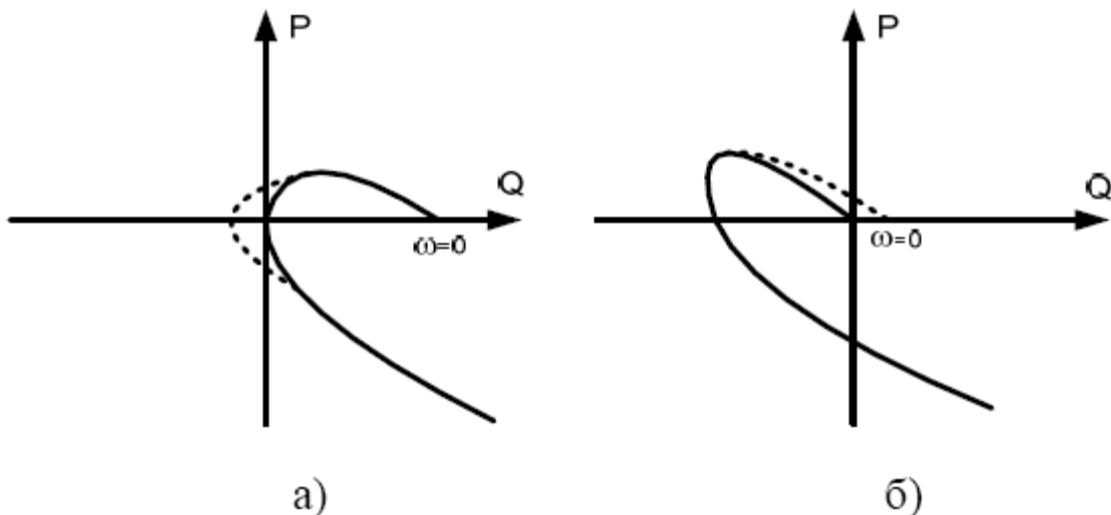


Рисунок 6.2. Годографы систем на границе устойчивости

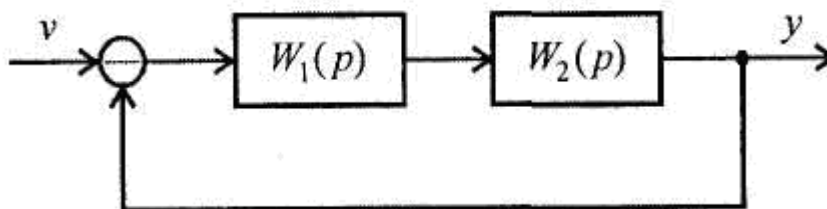
На рисунке 6.2 б характеристический полином имеет пару чисто мнимых корней (колебательная граница устойчивости), на втором рисунок 6.2 а – нулевой корень (апериодическая граница устойчивости).

Примеры

Пример 6.1

С помощью критерия Михайлова определить значение $d_{гр}$ для k системы, где

$$W_1(p) = \frac{15}{2p+1}, \quad W_2(p) = \frac{2}{0,25p^2 + dp + 1}.$$



Решение:

1. Определим результирующую передаточную функцию системы

$$W(p) = \frac{30}{(2p+1)(0,25p^2 + dp + 1) + 30}$$

2. Выпишем характеристический полином

$$A(p) = 0,5p^3 + (2d + 0,25)p^2 + (2 + d)p + 31$$

Заменим p на $j\omega$ и выделим вещественную и мнимую части

$$A(p) = -0,5j\omega - (2d + 0,25)\omega + (2 + d)j\omega + 31,$$

$$A(p) = j(2\omega + d\omega - 0,5\omega) - (2d + 0,25)\omega + 31.$$

Необходимым и достаточным условием чтобы система была на границе устойчивости, мнимая и вещественная часть должна быть равна нулю.

$$\begin{cases} \text{Im}(\omega_0) = 0, \\ \text{Re}(\omega_0) = 0. \end{cases}$$

3. Решим систему уравнений относительно двух неизвестных и вычислим такие ω_0 , d , при которых система будет находиться на границе устойчивости.

$$\begin{cases} 1,5\omega_0 + d\omega_0 = 0, \\ (-2d\omega_0 - 0,25\omega_0 + 31) = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} d = -1.5, \\ w_0 = 11.27. \end{cases}$$

Ответ:

$$d = -1.5$$

6.3 Критерий Найквиста

Критерий устойчивости Найквиста формулируется так:

1. Если разомкнутая система устойчива или находится на границе устойчивости, то для того чтобы замкнутая система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении частоты ω от 0 до ∞ не охватывала точку с координатами $-1, j0$.

2. Если разомкнутая система неустойчива, а ее передаточная функция имеет m полюсов справа от мнимой оси на комплексной плоскости, то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении частоты от ω от $-\infty$ до $+\infty$ охватывала m раз точку с координатами $-1, j0$.

При использовании этого критерия нужно учитывать две особенности:

1. Если разомкнутая система находится на границе устойчивости, то ее АФЧХ уходит в бесконечность. Для проверки критерия Найквиста нужно мысленно соединить конец АФЧХ дугой бесконечно большого радиуса с положительной вещественной полуосью.

2. На практике АФЧХ может строиться только для положительных частот ($0 \leq \omega < +\infty$). При применении критерия Найквиста считается, что ветвь АФЧХ для отрицательных частот симметрична относительно вещественной оси.

Условие границы устойчивости: замкнутая система будет находиться на границе устойчивости, если при некоторой частоте $\omega = \omega_0$ амплитудно-фазовая характеристика системы проходит через точку с координатами $\{-1, j_0\}$.

$$\begin{cases} U_{раз}(\omega_0) = -1, \\ V_{раз}(\omega_0) = 0. \end{cases} \quad (6.4)$$

На рисунке 2.8 изображены основные из возможных ситуаций.

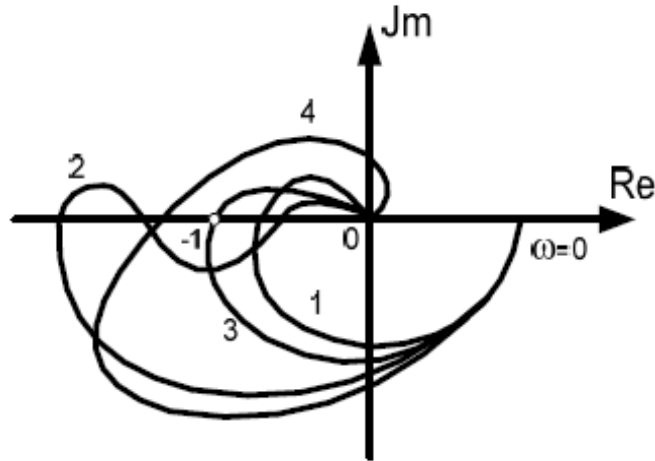


Рисунок 6.3. АФХ устойчивых разомкнутых систем

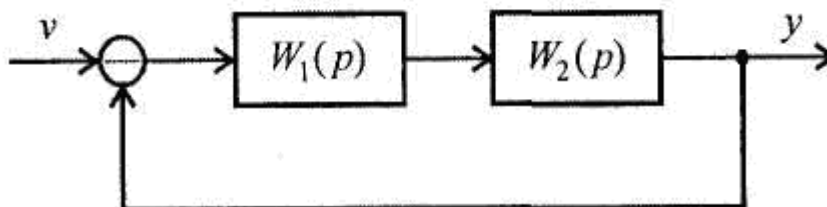
При АФХ, представленной кривой 1, замкнутая система абсолютно устойчива – она остается устойчивой и при уменьшении коэффициента передачи разомкнутой системы. Если АФХ представляет собой кривую 2 (рисунок 2.8), то замкнутая система будет устойчива в некотором диапазоне изменения коэффициента усиления разомкнутого контура. Кривая 3 проходит через критическую точку с координатами $(-1, j0)$. Это означает, что замкнутая система находится на колебательной границе устойчивости. Кривая 4 охватывает критическую точку, поэтому замкнутая система неустойчива.

Примеры:

Пример 6.3

С помощью критерия Найквиста определить значение T_{gr} для системы, если

$$W_1(p) = \frac{5}{Tp+1}, \quad W_2(p) = \frac{1}{p(4p+1)}.$$



Чтобы исследовать систему по критерию Найквиста, прежде всего, необходимо разомкнуть систему и найти передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W(p)_{\text{раз}} = \frac{5}{p(4p+1)(T_p+1)}.$$

$$W(j\omega)_{\text{раз}} = \frac{5}{j\omega(4(j\omega)+1)(T_p+1)}.$$

$$\begin{aligned} W(j\omega)_{\text{раз}} &= \frac{5}{(j\omega-4\omega^2)(T_p+1)} = \frac{5(j\omega+4\omega^2)}{(-\omega^2-16\omega^4)(T_p+1)} = \\ &= \frac{4\omega^2}{-16\omega^4 T_p - 16\omega^4 - \omega^2 T_p - \omega^2} + j \frac{5\omega}{-16\omega^4 T_p - 16\omega^4 - \omega^2 T_p - \omega^2}. \end{aligned}$$

По критерию устойчивости

$$\begin{cases} \frac{4\omega^2}{-16\omega^4 T_p - 16\omega^4 - \omega^2 T_p - \omega^2} = -1, \\ \frac{5\omega}{-16\omega^4 T_p - 16\omega^4 - \omega^2 T_p - \omega^2} = 0. \end{cases}$$

Откуда найдем, что

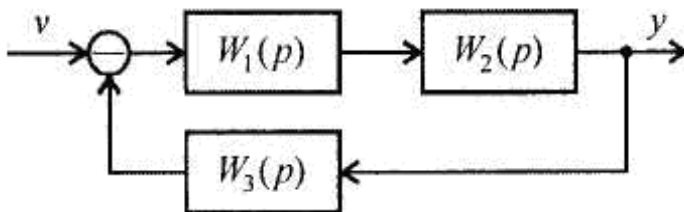
$$\begin{cases} T_p = 3, \\ \omega = 0. \end{cases}$$

Ответ $T_p = 3$.

6.4 Метод D-разбиения

Методом D-разбиения определить область допустимых значений коэффициента k для системы, где

$$W_1(p) = \frac{k}{0,5p+1}, \quad W_2(p) = \frac{4}{0,2p+1}, \quad W_3(p) = \frac{1}{0,5p+1}.$$



$$W(p) = \frac{4k(0.5p+1)}{(0.5p+1)^2(0.2p+1)+4k} = \frac{4k(0.5p+1)}{0.05p^3+0.45p^2+1.2p+1+4k}$$

$$4k = 0.05p^3 + 0.45p^2 + 1.2p + 1$$

$$k = 0.0125p^3 + 0.1125p^2 + 0.3p + 0.25$$

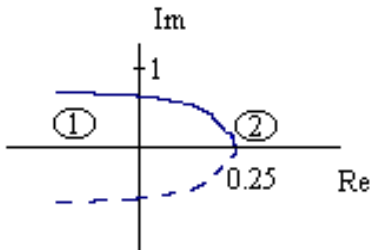
$D(j\omega) = -0.0125j\omega - 0.1125\omega + 0.3j\omega + 0.25$ Выделим мнимую и вещественную части

$$D(j\omega) = (0.25 - 0.1125\omega) + j(-0.0125\omega + 0.3\omega)$$

∞. Запишем таблицу для построения графика и, меняя частоту от 0 до

ω	0	1	2	3	∞
Re	0,25	0,1375	0,025	-0,0875	$-\infty$
Im	0	0,2875	0,5875	0,8625	∞

По полученной таблице строим годограф:



Из рисунка видно, что кривая делит пространство на две плоскости. Возьмем одно вещественное значение $k=1$, принадлежащее области 2 полинома $0.05p^3 + 0.45p^2 + 1.2p + 1 + 4k$, в результате чего получим: $0.05p^3 + 0.45p^2 + 1.2p + 5$. Исследуем этот полином по критерию Гурвица, найдем, что все определители положительны. Следовательно в этой области система устойчива.

Лабораторная работа №1

Интерфейс программы Компас 3D. Настройка параметров

Цель работы: изучить интерфейс программы Компас 3D. Получить практические навыки по настройке параметров программы.

Введение

Система Компас-График V8 с модулем трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D предназначена для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности и создания трехмерных параметрических деталей.

Сейчас трудно представить себе современное промышленное предприятие или конструкторское бюро без компьютеров и специальных программ, предназначенных для разработки конструкторской документации или проектирования различных изделий. Применение вычислительной техники в данной области стало свершившимся фактом, доказало свою высокую эффективность.

Переход на машинное проектирование позволяет существенно сократить сроки разработки конструкторской и технологической документации и тем самым ускорить начало производства новых изделий. Одновременно повышается качество, как самих конструкторских разработок, так и выпускаемой документации.

Система **Компас-График (Компас-3D)** предназначена для выполнения учебных проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности. Она может успешно использоваться студентами машиностроительных, приборостроительных, архитектурных, строительных вузов и техникумов при выполнении домашних заданий, курсовых и дипломных работ.

Программа содержит достаточный чертежный инструментарий для выполнения чертежей любого уровня сложности с полной поддержкой российских стандартов. Простой и понятный интерфейс этой программы удачно сочетается с гибкостью

профессиональной системы при построении, выделении, удалении объектов чертежа, наборе текста по ГОСТ, простановке размеров всех типов, допусков формы и расположения поверхностей, позиций, баз и т.п.

Интерфейс системы (начало работы)

Запуск программы осуществляется через меню “ПУСК” операционной системы Windows, как показано на рисунке 1.

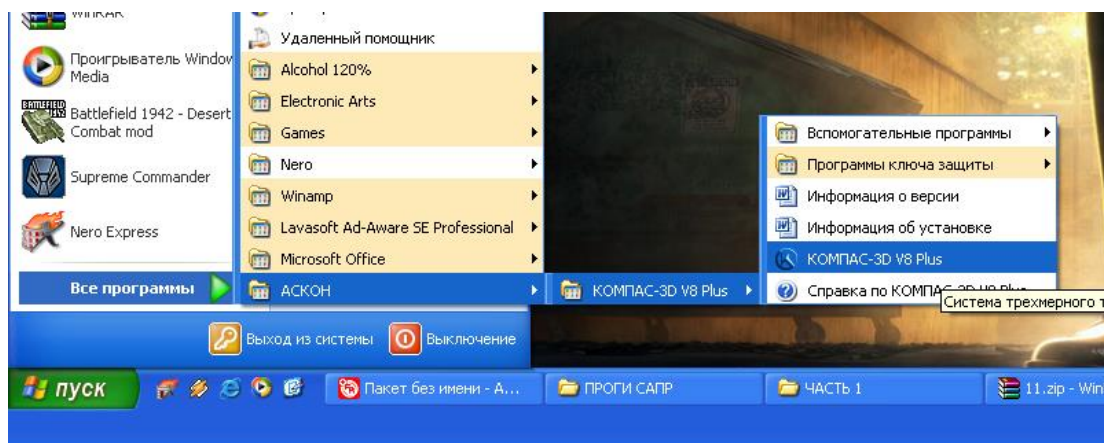


Рис.1. Запуск программы Компас 3D.

После запуска программы вы увидите главное окно программы Компас-3D, как изображено на рисунке 2.

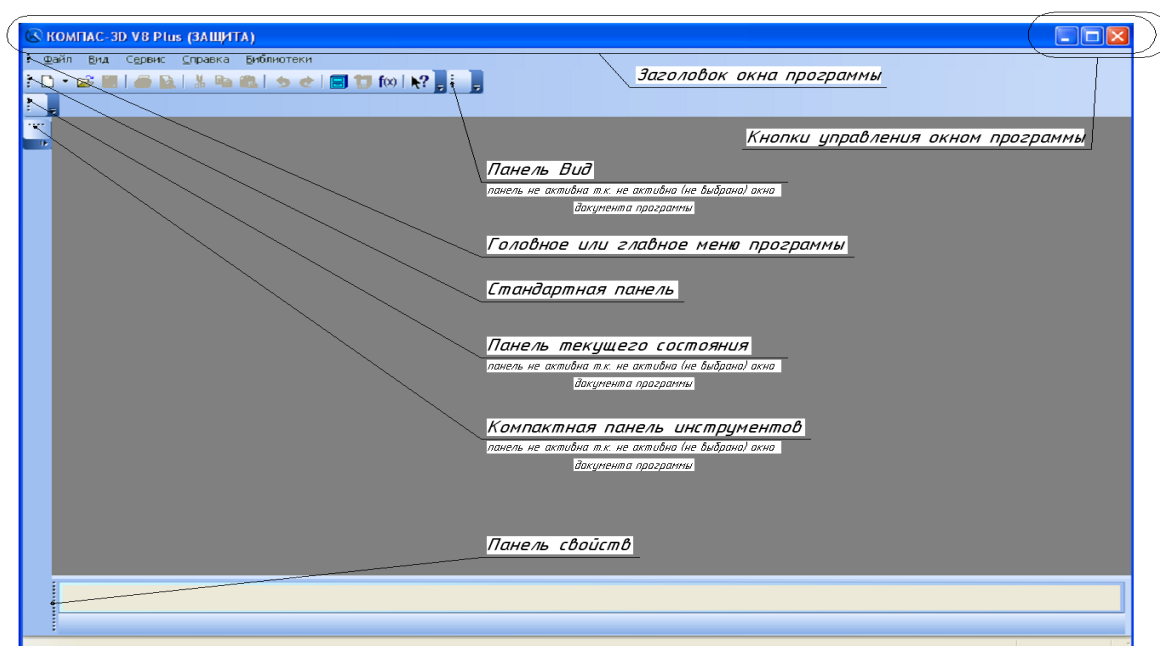


Рис.2. Главное окно программы Компас 3D.

Настройка параметров Компас-3D

Настройка параметров системы Компас-3D означает выбор параметров оформления чертежа в соответствии с Единой системой конструкторской документации - ЕСКД, которые наилучшим образом соответствуют выбранному Вами формату чертежа. Выберите в головном меню команду Сервис - Профили, появится окно «Профили пользователя», показанное на рисунке 3. В данном окне выберете профиль “default”, что означает профиль по умолчанию в системе ЕСКД, после этого “Применить”, а затем “Выход” что бы закрыть приложение.

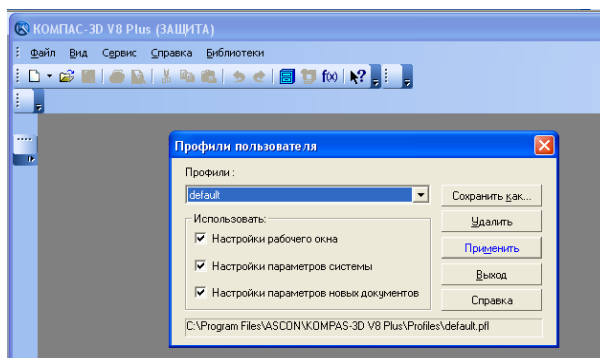


Рис.3. Выбор профиля пользователя программы Компас 3D

Типы документов, создаваемых в системе Компас-3D

В системе Компас-3D существует возможность создавать следующие виды документов.

Графические документы

Чертеж. Чертеж содержит графическое изображение изделия, основную надпись, рамку. Дополнительные объекты оформления - знак неуказанной шероховатости, технические требования и т.д. Файл расширения (*.cdw).

Фрагмент - вспомогательный тип графического документа. Фрагмент отличается от чертежа отсутствием рамки, основной надписи и других объектов оформления документа. Файл расширения (*.frw).

Текстовый документ - документ, содержащий преимущественно текстовую информацию. Файл расширения (*.kdw).

Спецификация - документ, содержащий информацию о составе сборки, представленную в виде таблицы. Спецификация оформляется рамкой и основной надписью. Файл расширения (*.spw).

Трехмерные модели

Сборка - модель изделия, состоящего из нескольких деталей с заданным взаимным положением. Файл расширения (*.a3d).

Деталь - модель изделия, изготавливаемого из однородного материала, без применения сборочных операций. Файл расширения (*.m3d).

Окно выбора создаваемого документа показано на рисунке 4.

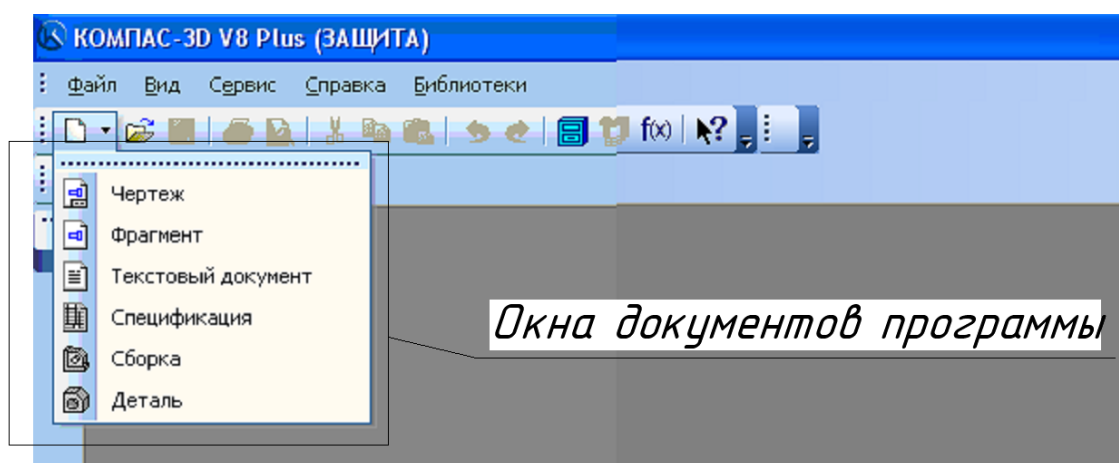


Рис.4. Окно выбора создаваемого документа.

Ввиду того, что Компас-3D – это многооконная программа, то после выбора окна документа программы необходимо их настроить для быстрого доступа. Найти в головном меню, показанном на рисунке 2, заголовок – "Окно" поставить галочку относительно строки – "Показать закладки", так как это изображено на рисунке 5.

Кнопки управления окном документа программы или закладкой

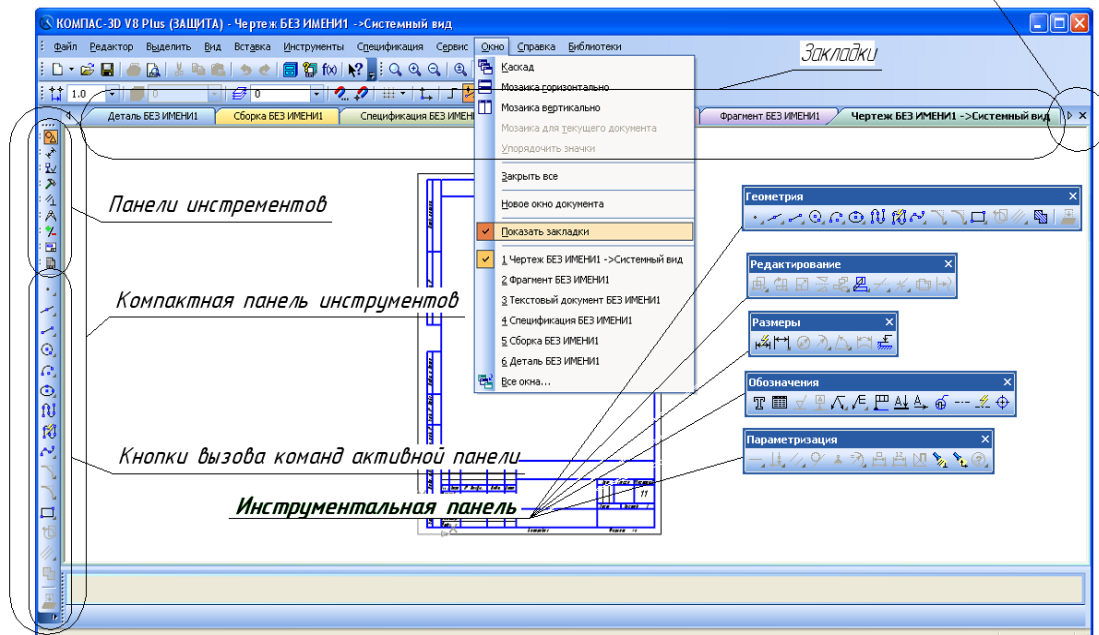


Рис.5. Расположение различных панелей и команд в рабочем окне программы.

Описание панелей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Описание панелей программы Компас 3D.

Название	Описание
1	2
Головное меню	Служит для вызова команд системы. Содержит названия страниц меню (рис. 2).
Инструментальная панель	Содержат кнопки вызова команд системы (рис. 2,3).
Компактная панель	Содержит несколько инструментальных панелей и кнопки переключения между ними (рис. 2,3).
Панель свойств	Служит для настройки объекта при его создании или редактировании (рис. 2).
Панель специального управления	Содержит кнопки, с помощью которых выполняются специальные действия, такие как: Создать объект, Выбор базового объекта, Автосоздание объекта и т. д. (рис.4).
Дерево построения чертежа	Окно Дерева построения может размещаться только внутри окна документа. Дерево построения - это представленная в графическом виде последовательность видов, составляющих чертеж. Они отображаются в Дереве в порядке создания (рис.4).
Панель вида	Команды управления отображением информации внутри окна документа программы (рис.4).
Стандартная панель	Панель, на которой расположены кнопки вызова команд стандартных операций с файлами и объектами (рис. 2).

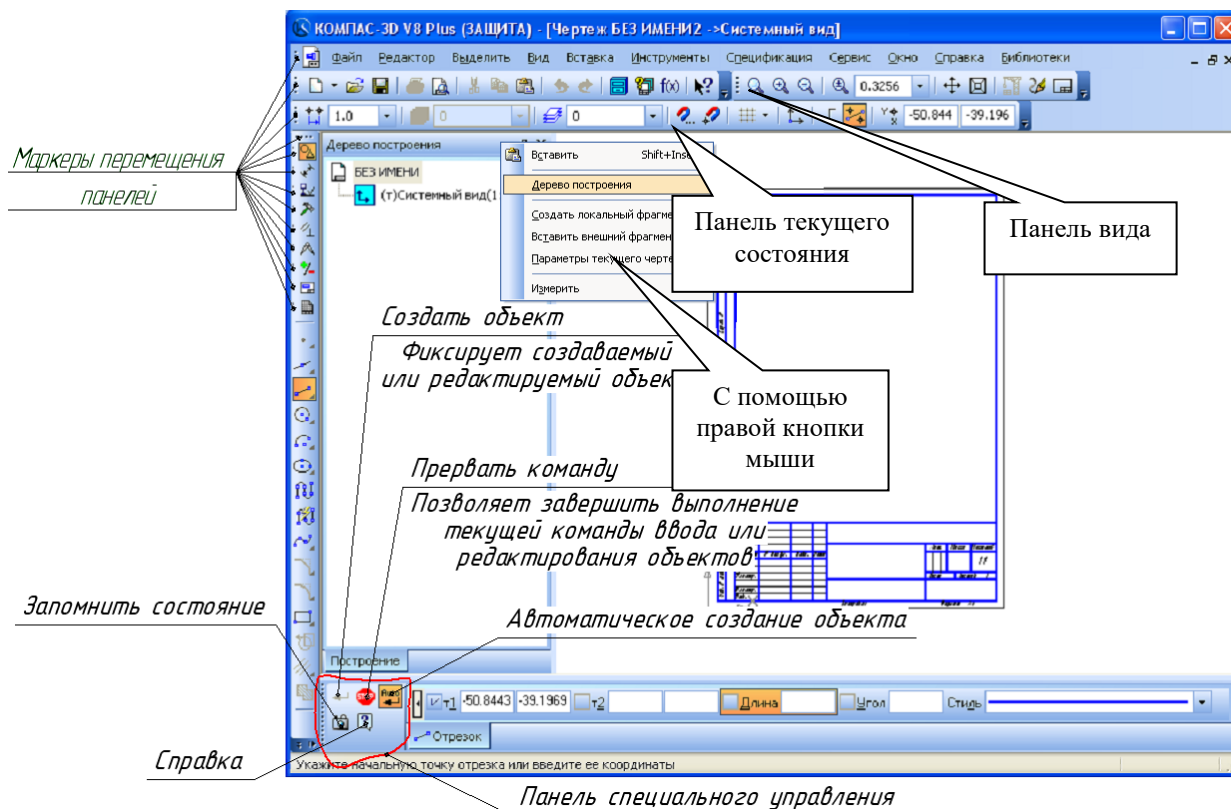


Рис.6. Расположение различных панелей в программе Компас 3D.

Управление отображением документа в окне

Компас - График предоставляет широкий набор средств для сдвига изображения в окне и изменения масштаба. Но необходимо понимать, что изменение масштаба отображения не влияет на реальные размеры объектов.

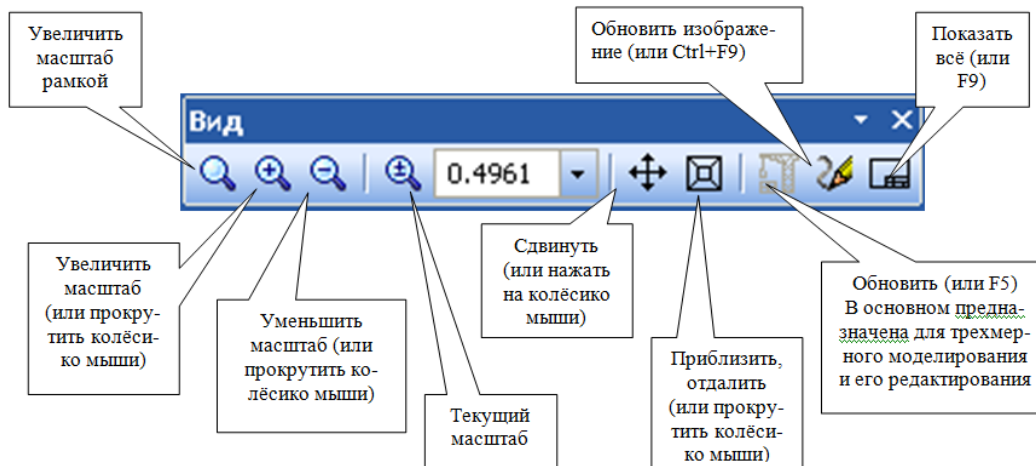


Рис.7. Панель управления изображением в окне программы.

В скобках указаны команды, с помощью которых можно их выполнить, не прибегая к панели вида (попробуйте это сделать самостоятельно). Вы также можете изучить панели самостоятельно с помощью справки в стандартной панели инструментов (Shift+f1).

Ход Лабораторной работы

1. Изучить теоретический материал, записав основные моменты Лабораторной работы
2. Произвести описание элементов персонального компьютера в табличной форме.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.
2. Перечислите основные составляющие ПЭВМ.
3. Память персонального компьютера.

Лабораторная работа №2

Инструментальная панель, панель расширенных команд, команда Ввод отрезка, текущий стиль прямой, изменение текущего стиля прямой, удаление объекта, отмена операции.

Цель работы: познакомиться с инструментальной панелью. Научиться рисовать отрезки, изменять стили прямой, удалять и отменять операции.

Задание.

1. Начертите отрезок прямой AB по заданным координатам стилем «Основная линия».
 2. Начертите отрезок прямой CD по заданным координатам стилем «Штриховая линия».
 3. Из точки D проведите прямую DK перпендикулярную прямой AB стилем «Тонкая линия».
 4. Измените стиль прямой AB с основной на штриховую.
 5. Измените стиль прямых AB и CD со штриховой на основную.
 6. Проставьте линейный размер отрезка AB и угол 90° .
 7. Удалите, а затем восстановите размеры.
- Полученный чертеж показан на рисунке 8.

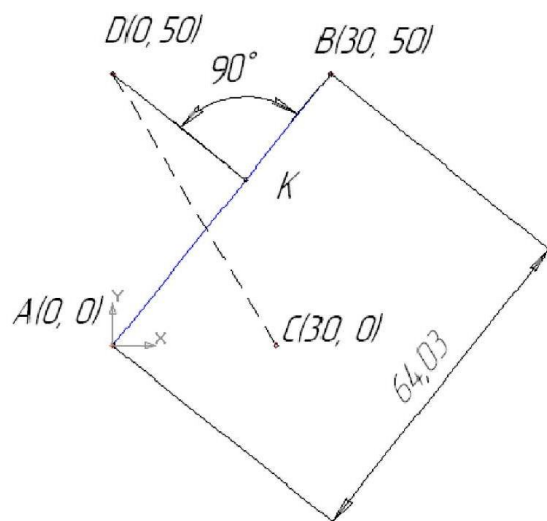


Рис.8. Чертеж для выполнения задания.

Порядок выполнения работы.

Вызовите команду **Файл – Создать**. В появившемся на экране диалоге на вкладке **Новые документы** выберите вариант «Фрагмент».

1. На панели **Геометрия**, показанной на рисунке 9, активизируйте команду **Отрезок**, как показано на рисунке 10. Убедитесь, что кнопка **Автосоздание** включена на панели специального управления, как показано на рисунке 6. Параметры отрезка при его создании и редактировании отображаются в отдельных полях **Строки параметров**, как показано на рисунке 12: два поля координат X и Y начальной (t1) и конечной (t2) точек, поле длины отрезка, поле его угла наклона, поле стиля отрезка.

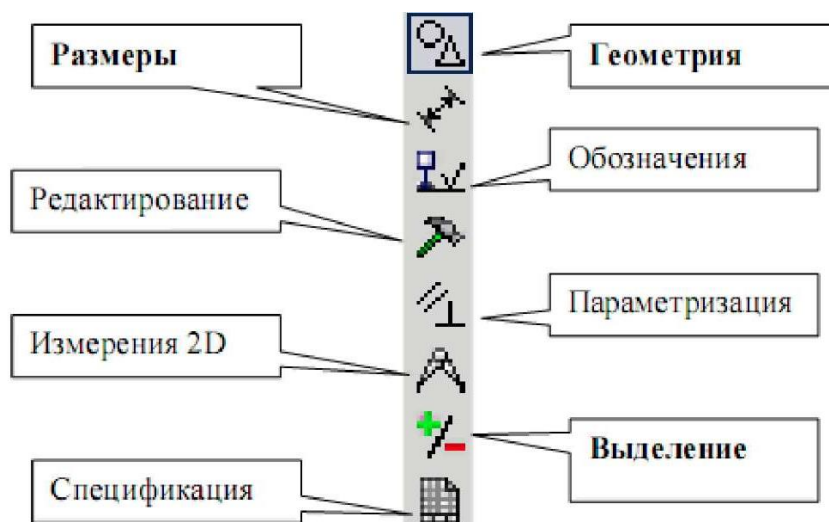


Рис.9. Инструментальная панель.

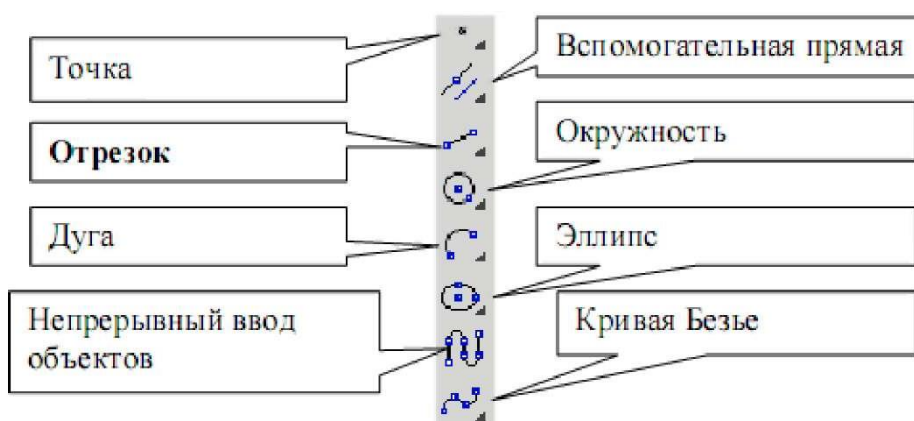


Рис.10. Панель **Геометрия**.

Выполните построение отрезка **AB**, заданного координатами концов отрезка. Для этого подведите курсор к началу координат (координаты точки **A** (0, 0)) и зафиксируйте положение точки **A** нажатием левой кнопки мыши. Начальная точка будет

построена. Убедитесь, что стилем прямой является «Основная линия». Выбор стиля прямой показан на рисунке 11.

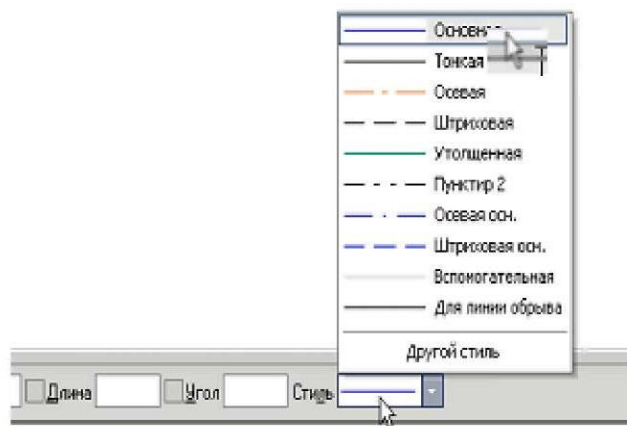


Рис.11. Выбор стиля прямой.

Для фиксации точки $B(30, 50)$ активизируйте поле X точки 2 (конечная точка, как показано на рисунке 12) двумя щелчками левой кнопкой мыши (можно с помощью горячих клавиш: $[Alt]-[2]$), введите значение «30». С помощью клавиши $[Tab]$ активизируйте поле Y , введите значение «50» и завершите ввод данных нажатием клавиши $[Enter]$, Отрезок AB построен.

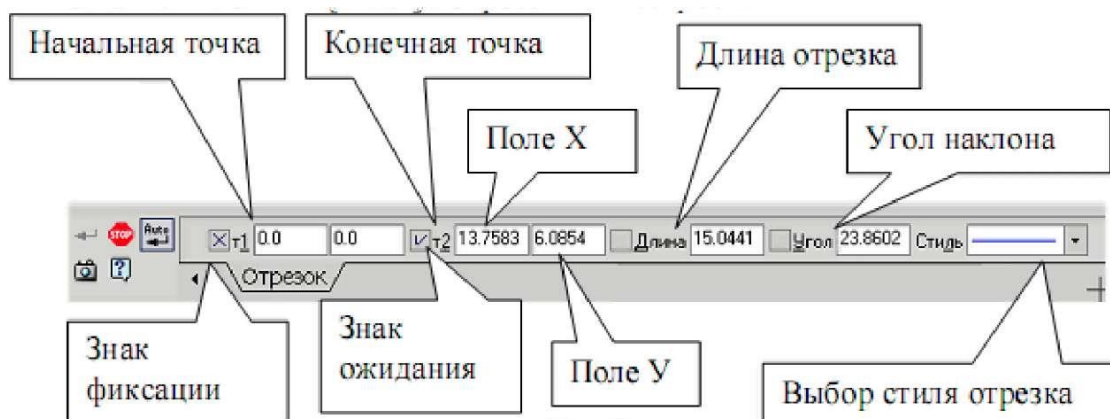


Рис.12. Строка параметров.

2. Постройте отрезок CD по координатам начальной и конечной точек, выбрав стиль отрезка «Штриховая». Для фиксации точки $C(30,0)$ активизируйте поле X точки 1 (начальная точка) двумя щелчками левой кнопкой мыши (можно с помощью горячих клавиш: $[Alt]-[1]$), введите значение «30» С помощью клавиши $[Tab]$ активизируйте поле Y , введите значение «0» и завершите ввод данных нажатием клавиши $[Enter]$. Для фиксации точки $D(0,50)$ активизируйте поле X точки 2 (конечная точка) двумя щелчками левой кнопкой мыши, введите значение «0». С помощью клавиши $[Tab]$ активизируйте поле

У, введите значение «50» и завершите ввод данных нажатием клавиши [Enter].
Отрезок CD построен.

3. Для построения отрезка DK выберите стиль отрезка «Тонкая» и активизируйте команду *Перпендикулярный отрезок* на панели расширенных команд как показано на рисунке 13.

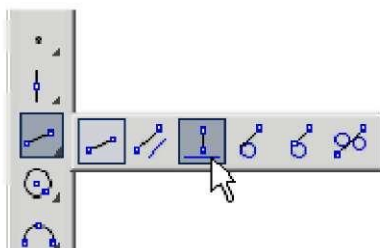


Рис.13. Вызов команды перпендикулярный отрезок.

Для выбора команды *Перпендикулярный отрезок* щелкните на кнопке **Ввод отрезка** и не отпускайте кнопку мыши. При этом раскроется соответствующая **Панель расширенных команд**. Не отпуская левую кнопку мыши, поместите курсор на кнопку *Перпендикулярный отрезок* и отпустите кнопку мыши. Щелкните мышью в любой точке отрезка AB подведите курсор к точке D , зафиксируйте начальную точку отрезка DK нажатием левой кнопки мыши. Подведите курсор к отрезку AB и зафиксируйте конечную точку K на прямой AB . Отрезок DK построен. Нажмите кнопку *Прервать команду* как показано на рисунке 14.



Рис.14. Кнопка *Прервать команду*.

4. Измените стиль прямой AB с основной на штриховую. Для этого:

- выделите щелчком левой кнопки мыши указанную прямую;
- выберите команду *Сервис - Изменить стиль* (можно использовать контекстное меню) и укажите стиль «Штриховая», как показано на рисунке 16).

5. Измените стиль прямых AB и CD со штриховой на основную. Для этого активизируйте команду **Выделить - По стилю кривой**, как показано на рисунке 15, затем выберите стиль «Штриховая», как показано на рисунке 16.

Выберите команду **Сервис - Изменить стиль** (можно использовать контекстное меню) и укажите стиль «Основная».

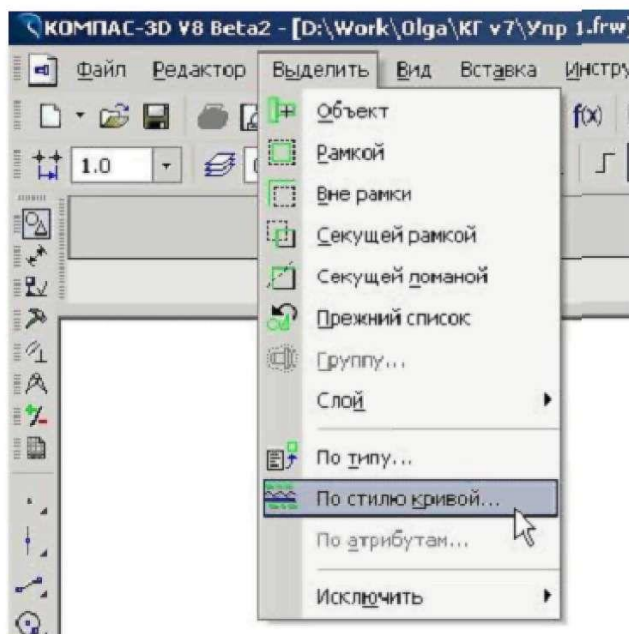


Рис.15. Выделение линий по стилю кривой.

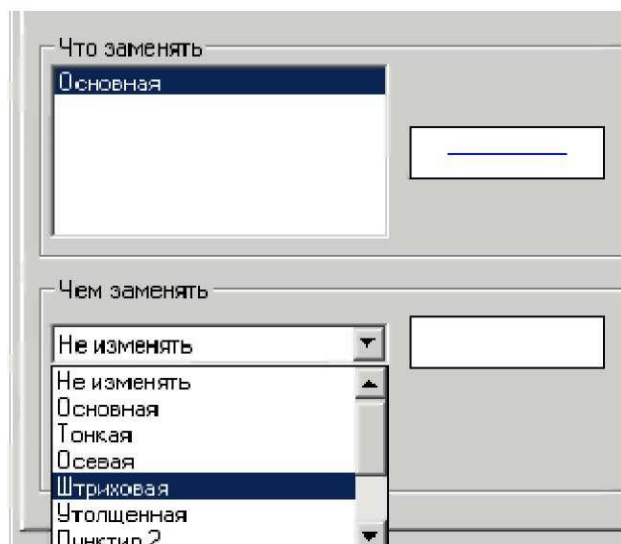


Рис.16. Изменение стиля кривой.

6. Проставьте линейный размер отрезка AB . Для этого на панели **Размеры**, изображенной на рисунке 9 активизируйте команду **Линейный размер**, как показано на рисунке 17.

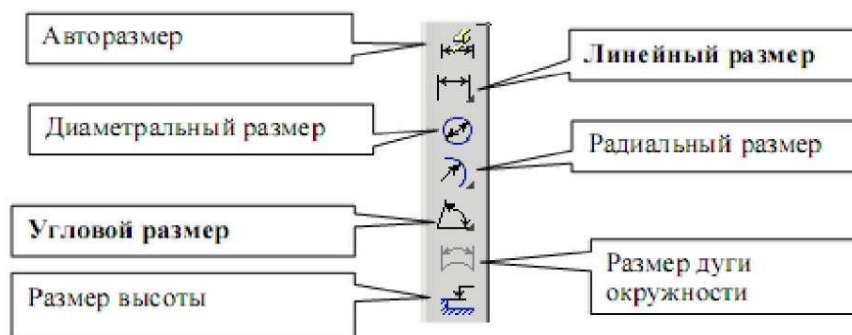


Рис.17. Команда *Линейный размер*.

Активируйте на панели специального управления команду *Выбор базового объекта*, укажите курсором отрезок прямой *AB* и расположите размерную линию согласно рисунку 8.

Проставьте угловой размер. Выберите команду *Угловой размер*, последовательно укажите курсором отрезки прямых *DK* и *KB* и расположите размерную линию согласно рисунку 8.

7. Удалите размеры. Для этого на панели **Выделение**, как показано на рисунке 9, активизируйте команду *Выделить по типу*, как показано на рисунке 18. Выберите линейные и угловые размеры, как показано на рисунке 19, и нажмите *[Delete]*. Восстановите размеры – нажмите кнопку *Отменить* на инструментальной панели.

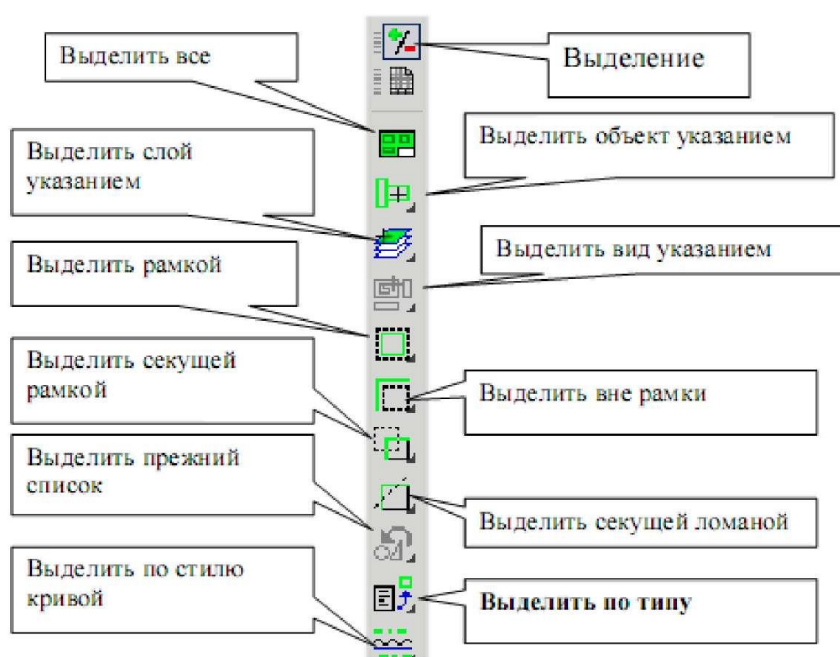


Рис.18. Команда *Выделить по типу*.

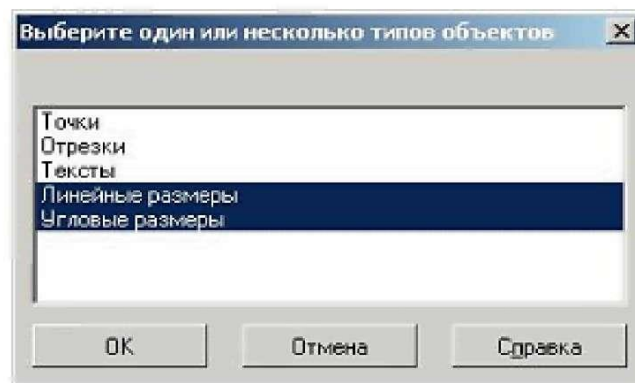


Рис.19. Выбор типов объектов.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.
2. Перечислите основные составляющие ПЭВМ.
3. Память персонального компьютера.

Лабораторная работа №3

Построение ломаной линии

Цель работы: научиться строить непрерывную ломаную линию, используя различные параметры.

Задание.

1. Постройте стилем «Основная линия» ломаную линию, изображенную на рисунке 20, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-1, если отрезки в соответствии с таблицей 2:

- 1-2, 2-3 заданы координатами точек 1 (0,0), 2 (10,20), 3 (30,-10);
- отрезки 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8 заданы длиной и углом наклона;
- отрезок 8-9 задан длиной и параллелен отрезку 4-5;
- отрезок 9-10 задан длиной и перпендикулярен отрезку 8-9;
- отрезок 10-11 задан длиной и углом наклона;
- отрезок 11-1 замкнуть.

2. Измерьте угол между отрезками 1-2 и 2-3 и МЦХ плоской фигуры.

Таблица 2. Параметры для построения ломаной линии.

Точки	Координаты		Длина	Угол	Свойство
	x	y			
1	0	0			
2	10	20			
3	30	-10			
3-1			20	0	
4-5			15	45	
5-6			35	-30	
6-7			50	90	
7-8			60	180	
8-9			15		Параллелен 4-5
9-10			60		Перпендикулярен 8-9
10-11			20	180	
11-1					Замкнуть

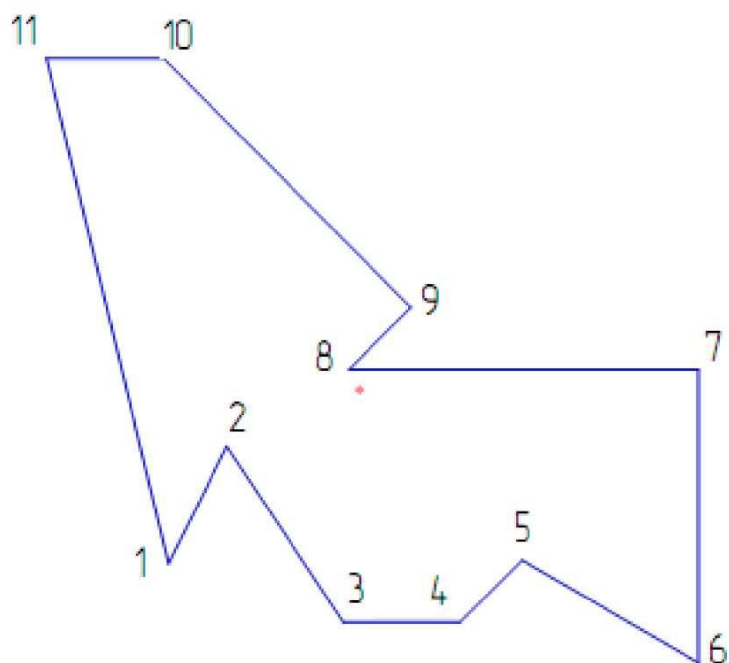


Рис.20. Ломаная линия.

Порядок выполнения работы.

Щелчком на кнопке **Новый фрагмент** на Панели управления и создайте новый документ типа а «Фрагмент».

Включите **Num Lock**. Активизируйте команду **Непрерывный ввод объектов**, расположенной на панели **Геометрия**, как показано на рисунке 21. Параметры отрезка при его создании и редактировании отображаются в отдельных полях **Строки пирометров**: два поля координат **X** и **Y** начальной (**t1**) и конечной (**t2**) точек, поле длины отрезка, поле его угла наклона, поле стиля отрезка, как показано на рисунке 22.

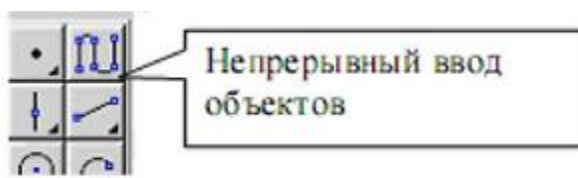


Рис.21. Команда **Непрерывный ввод объектов**.

1. Для построения отрезка 1-2 установите курсор в начало координат и нажмите левую кнопку мыши, - точка 1 зафиксирована. Точка 2 ожидает ввода параметра. Нажмите **[Alt]-[2]**, введите в поле координаты **X** значение «**10**» (можно поле **X** точки **t2** активизировать двумя щелчками мыши). Для ввода в поле значения

координаты Y нажмите [Tab], введите «20» и нажмите [Enter]. Отрезок 1 - 2 построен. Аналогично постройте отрезок 2 – 3.



Рис.22. Строки параметров команды *Непрерывный ввод объектов*.

Для построения отрезка 3-4, заданного длиной и углом наклона, сразу наберите значение длины отрезка «20» (поле длины активно) и нажмите [Enter]. После ввода длины отрезка становится активным поле угла, поэтому сразу наберите «0» и нажмите [Enter]. Отрезок 3-4 построен. Аналогично постройте отрезки 4-5, 5-6, 6-7, 7-8.

Для построения отрезка 8-9, заданного длиной «15» и расположенного параллельно отрезку 4-5, не прерывая команды *Непрерывный ввод объекта*, нажмите кнопку *Параллельный отрезок*, как показано на рисунке 23.



Рис.23. Команды: *Параллельный отрезок*, *Перпендикулярный отрезок*, *Замкнуть кривую*.

На запрос системы «Укажите отрезок или прямую для построения параллельного отрезка» (см. строку сообщений) поместите курсор на отрезок прямой 4-5 и щелкните левой кнопкой мыши. Отрезок 4-5 окрасится в красный цвет.

Поместите курсор вверх от точки 8, как показано на рисунке 24, введите значение длины «15» и нажмите [Enter]. Отрезок 8-9 построен. Для построения отрезка 9-10, заданного длиной «60» и перпендикулярного отрезку 8-9, не прерывая команду **Непрерывный ввод объекта**, нажмите кнопку **Перпендикулярный отрезок**, изображенной на рисунке 23. Курсором отметьте отрезок 8-9, переместите курсор по направлению к точке 10, установите длину «60» и нажмите [Enter]. Отрезок 9-10 построен.

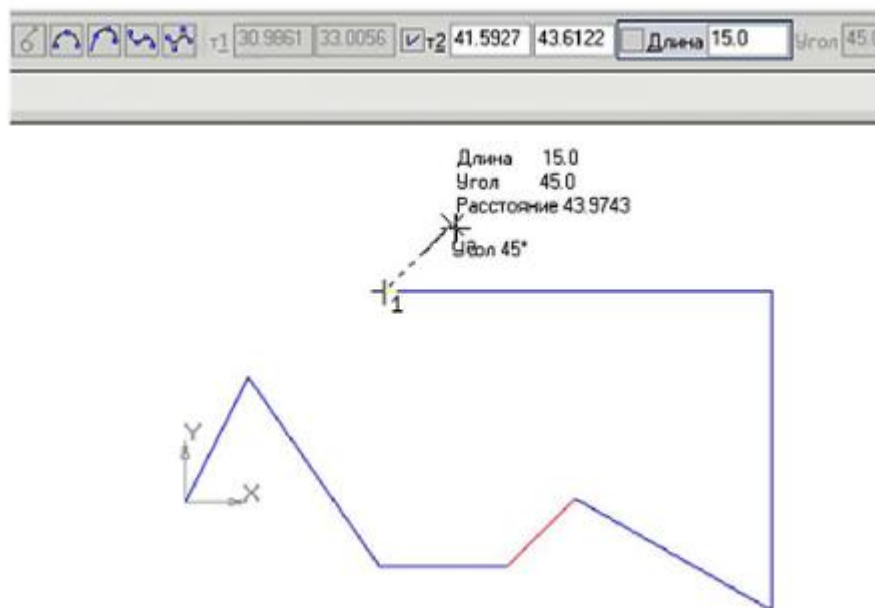


Рис.24. Построение параллельного отрезка 8-9.

Постройте отрезок 10-11, активизировав команду **Отрезок**, показанную на рисунке 23.

Для построения отрезка 11-1 воспользуйтесь командой **Замкнуть кривую**, показанную на рисунке 23. Для завершения построения нажмите кнопку **Прервать команду**.

2. Для измерения угла между отрезками 1-2 и 2-3 воспользуйтесь командой **Угол между двумя прямыми**, показанной на рисунке 25, расположенной на компактной панели **Измерения (2D)**.



Рис.25. Команды: *Угол между двумя прямыми, Расчет МЦХ плоских фигур.*

Укажите последовательно курсором отрезок 1-2 и 2-3. Угол измерен. Для расчета МЦХ активизируйте команду **Расчет МЦХ плоских фигур**, показанной на рисунке 25, выберите **Обход границы по стрелке**, как показано на рисунке 26, и щелкните левой кнопкой мыши внутри замкнутого контура. В свойствах объекта укажите - «Тело».

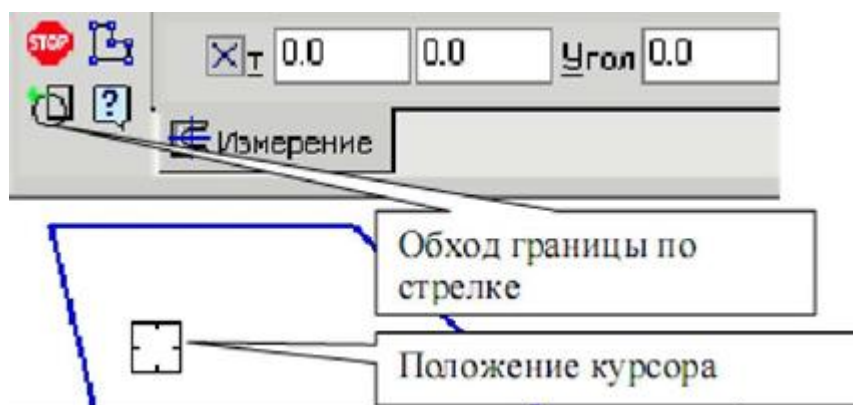


Рис.26. Команда *Обход границы по стрелке.*

В результате будет получена информация, представленная на рисунке 27.

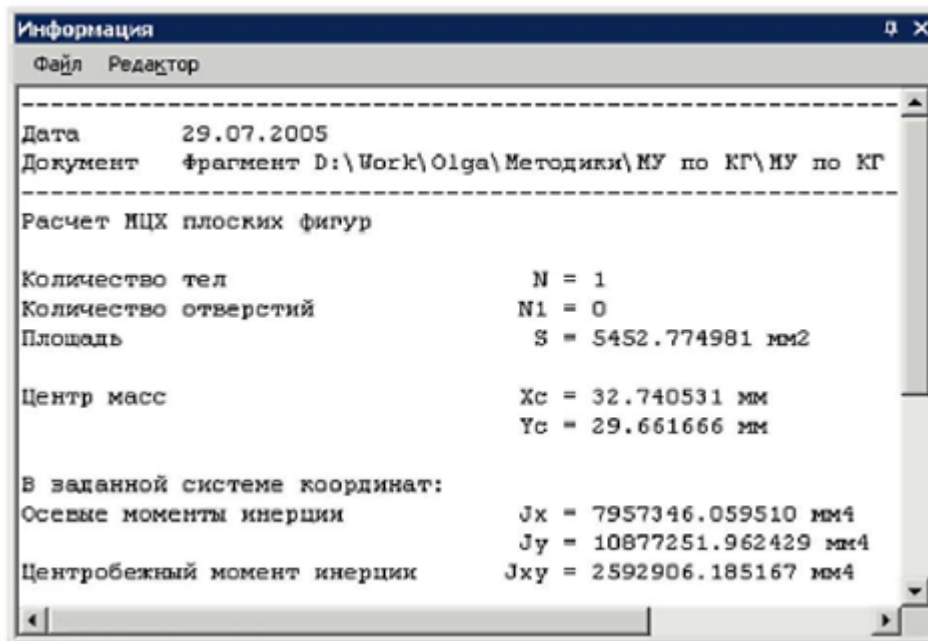


Рис.27. Информация о параметрах плоской фигуры.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.
2. Перечислите основные составляющие ПЭВМ.
3. Память персонального компьютера.

Лабораторная работа №4

Построение окружности, скругления и нанесение штриховки

Цель работы: научиться выполнять построение окружности, скругления и нанесения штриховки.

Задание.

1. Постройте стилем «Основная» окружность» $\varnothing 20$ по заданным координатам центра окружности (10, 50) с центровыми линиями.

2. Постройте стилем «Основная» окружность $\varnothing 16$ по заданным координатам центра окружности (70, 15) без центровых линий. Выполните центровые линии командой *Обозначение центра*.

3. Постройте стилем «Штриховая» окружность» $\varnothing 24$ по заданным координатам центра окружности (40, 10) с центровыми линиями.

4. Выполните радиусы скругления R10 и R6.

5. Измените штриховую линию окружности на основную.

6. Выполните измерения длины окружности $\varnothing 20$, площади плоской фигуры, МЦХ.

7. Выполните штриховку с параметрами: шаг штриховки 5 мм, наклон 45° .

Выполненное задание показано на рисунке 28.

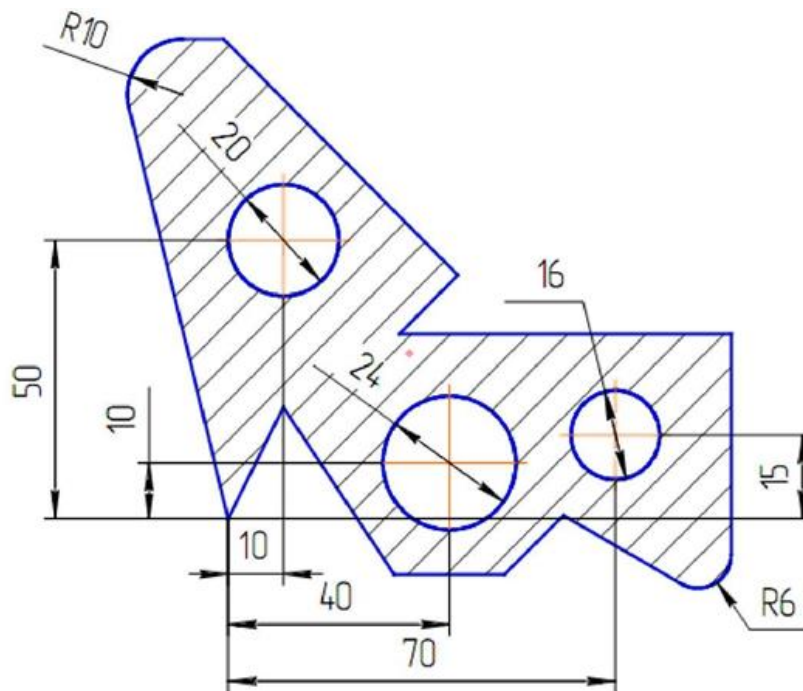


Рис.28. Чертеж для выполнения Лабораторной работы.

1. Если закрыт чертеж, выполненный в Лабораторной работе № 4, откройте его. На панели *Геометрия*, активизируйте команду *Окружность*.

Параметры окружности при ее создании и редактировании отображаются в отдельных полях строки параметров: два поля координат X и Y центра окружности, координаты точки, принадлежащей окружности, значение радиуса окружности, поле стиля линии, как показано на рисунке 29.



Рис.29. Параметры построения окружности.

Стиль линии для окружности должен быть основным. Выберите кнопку окружности с осями. На панели свойств, активно поле радиуса окружности, поэтому на клавиатуре наберите «10» и нажмите [Enter]. Введите координаты центра окружности (10, 50). Для этого двумя щелчками левой кнопкой мыши активизируйте поле

X и введите в поле значение «10» (можно поле X активизировать с помощью клавиатуры [Alt] + [2]). Для ввода в поле значения координаты Y нажмите [Tab], введите «50» и нажмите [Enter].

2. Постройте аналогично окружность диаметром 16 мм с координатами центра (70, 15). Кнопка **Окружность без осей** должна быть активной.

Для выполнения центровых линий на панели **Обозначения**, активизируйте команду **Обозначение центра**, как показано на рисунке 30.



Рис.30. Команда **Обозначение центра**.

Щелкните курсором на окружности и придайте центровым линиям вертикальное положение до появления надписи «Ближайшая точка», как показано на рисунке 31. Прервите команду.



Рис.31. Появление надписи «Ближайшая точка».

3. Постройте окружность с осями штриховой линией радиусом 12 мм с координатами центра (40, 10).

4. Для выполнения радиусов скругления на панели **Геометрия** нажмите кнопку **Скругление**, как показано на рисунке 32.



Рис.32. Команда **Скругление**

Так как поле значения радиуса активно, наберите значение «10», курсором отметьте последовательно отрезки 1 - 11 и 10 - 11, как показано на рисунке 33. Аналогично постройте скругление между отрезками 5 - 6 и 6-7 радиусом 6 мм.

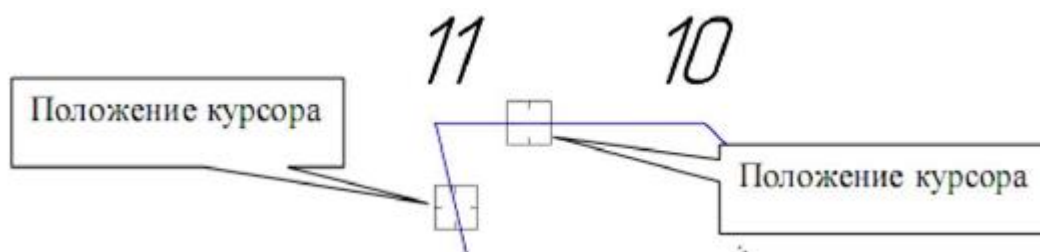


Рис.33. Положения курсора при выполнении скругления.

5. Измените штриховую линию окружности на основную. Выполните измерение длины окружности диаметром 20 мм. Для этого активизируйте команду **Длина кривой**, как показано на рисунке 34, которая находится на панели **Измерение**.

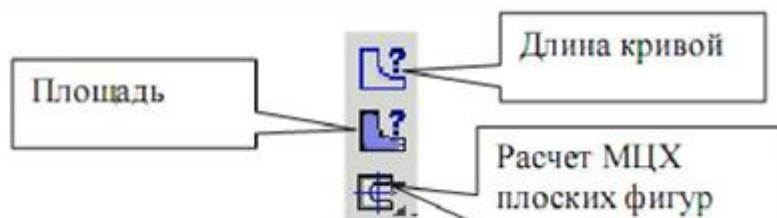


Рис.34. Команда **Длина кривой**.

6. Установите курсор на окружность, заданную диаметром 20 мм, и нажмите левую кнопку мыши. Длина окружности появится в таблице результатов. Для определения площади плоской фигуры активизируйте команду **Площадь**, показанную на рисунке 34, установите курсор внутри замкнутого контура и нажмите левую кнопку мыши. Для определения МЦХ плоской фигуры активизируйте команду **Расчет МЦХ плоской фигуры**, а затем команду **Обход границы по стрелке** и вначале определите МЦХ тела, а затем установите курсор на окружность, нажмите левую кнопку мыши и установите в свойствах объекта «Отверстие». Последовательно выполните такие же операции для двух других окружностей.

7. Для выполнения штриховки на панели **Геометрия**, активизируйте команду **Штриховка**. Параметры штриховки при ее создании и редактировании отображаются в отдельных полях **Строки параметров**, показанной на рисунке 35.

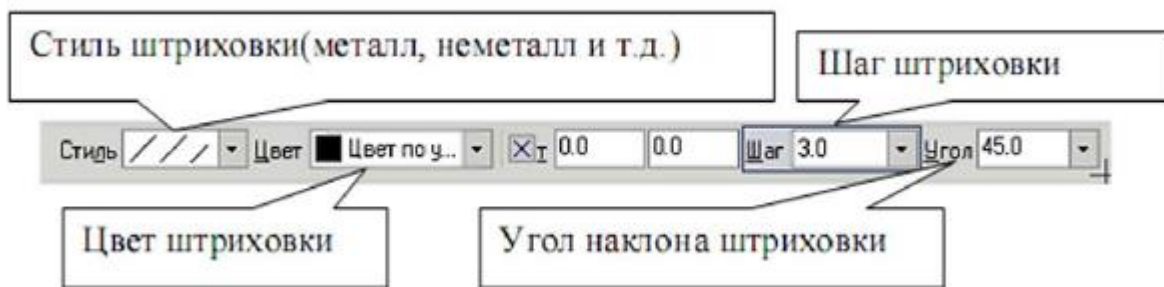


Рис.35. Строка параметров команды *Штриховка*.

Установите необходимые параметры штриховки: стиль - металл, шаг штриховки - 5 мм, угол наклона штриховки - 45°. Установите курсор внутри замкнутого контура плоской фигуры и нажмите левую кнопку мыши. В этом режиме можно продолжать изменять параметры штриховки. Для окончательного создания штриховки необходимо нажать кнопку *Создать объект* на панели специального управления. Штриховка выполнена.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.
2. Перечислите основные составляющие ПЭВМ.
3. Память персонального компьютера.

Лабораторная работа №5

Использование глобальных, локальных и клавиатурных привязок

Цель работы: научиться использовать глобальные, локальные и клавиатурные привязки.

Задание.

1. Из точки 7, используя глобальные привязки, проведите две касательные прямые к окружности с центром в точке *A*.
2. Из точки *B* (центр окружности), используя локальные привязки, проведите отрезок прямой к середине отрезка прямой 4-5.
3. Из точки *C* (центр окружности), используя локальные привязки, проведите отрезок к середине отрезка прямой 9-10 и нормаль к ней.
4. Используя клавиатурные привязки, установите курсор на точку *A*.

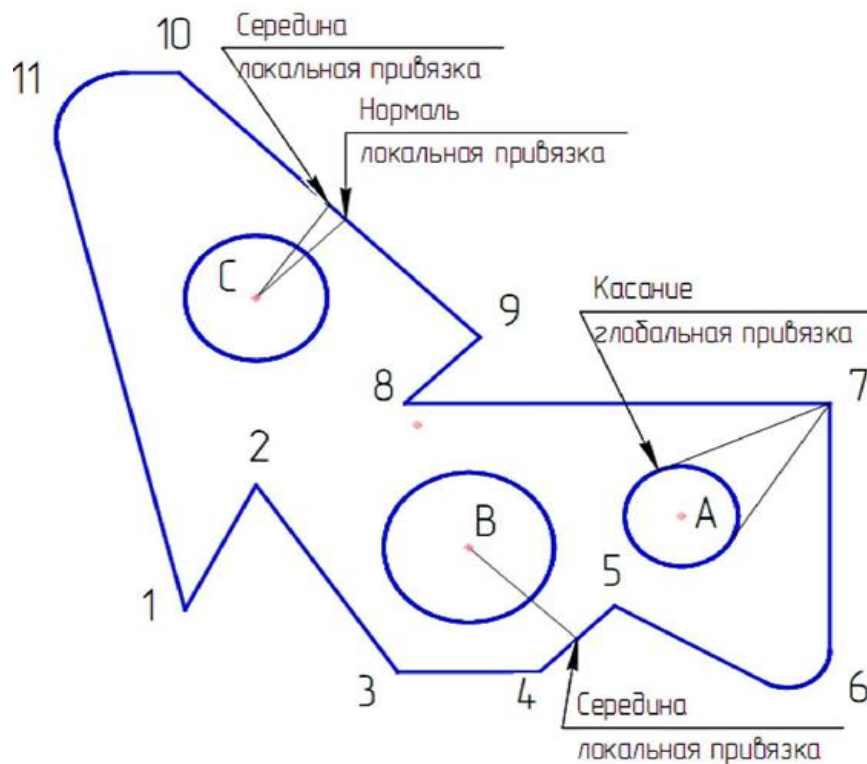


Рис.36. Чертеж для выполнения задания.

1. Откройте чертеж, выполненный в Лабораторной работе № 4. Удалите штриховку и центровые линии. Для этого выполните: **Выделить — По типу - Штриховки, Обозначение центра - ОК**, нажмите [Delete].

Нажатием кнопки **Установка глобальных привязок**, как показано на рисунке 37, в **Строке текущего состояния** откройте диалоговое окно **Установки глобальных привязок**, показанное на рисунке 38. Для выполнения задания достаточно двух привязок: **Ближайшая точка** и **Касание**. Отключите остальные привязки. У всех примитивов (отрезки, дуги, окружности и т. д.) есть характерные точки. Их можно увидеть в виде черных точек, если выделить элемент одним щелчком левой кнопкой мыши. Привязка **Ближайшая точка** реагирует на эти характерные точки.

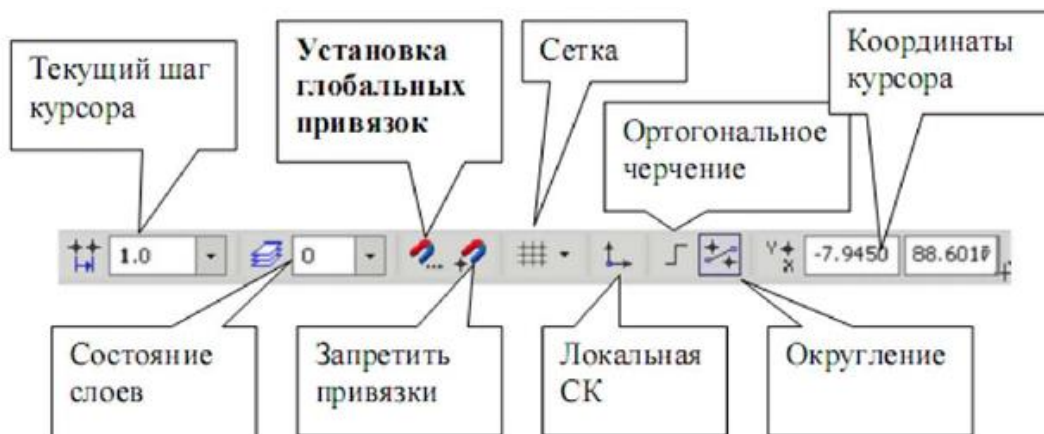


Рис.37. Кнопка **Установка глобальных привязок**.

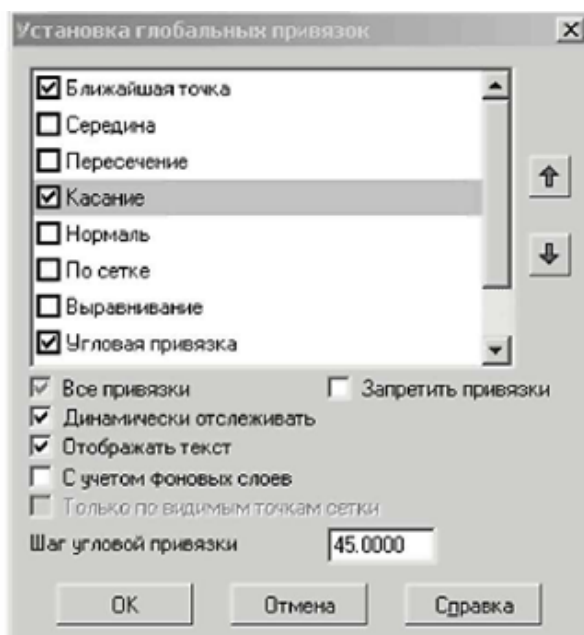


Рис.38. Окно установки глобальных привязок.

На панели *Геометрия* сделайте активной команду *Отрезок*. На панели свойств выберите стиль «Тонкая». Подведите курсор к точке 7, как показано на рисунке 39. При этом появляется надпись «*Ближайшая точка*» - это срабатывает глобальная привязка. Зафиксируйте точку 7 (начальная точка отрезка) нажатием левой кнопки мыши. Из одной точки нужно провести две прямые. В этом случае зафиксируйте точку 7 командой *Запомнить состояние* на панели специального управления, как показано на рисунке 40.

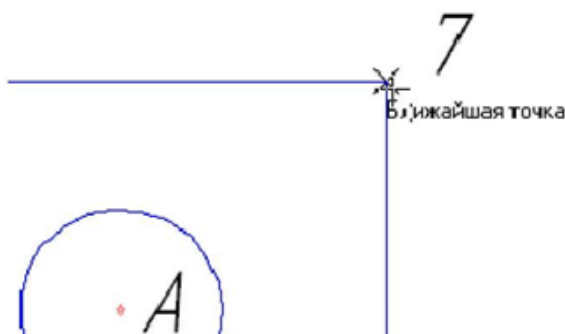


Рис.39. Появление надписи «*Ближайшая точка*».

Подведите курсор приблизительно к той части окружности, где будет касание. При появлении надписи «*Касание*» щелчком левой кнопкой мыши зафиксируйте положение касательной прямой, как показано на рисунке 41, подведите курсор к другой стороне окружности и зафиксируйте вторую точку касания. Прервите команду.



Рис.40. Кнопка *Запомнить состояние*.



Рис.41. Появление слова «*Касание*».

2. Локальные привязки позволяют выполнять те же самые процедуры привязки курсора к характерным точкам существующих геометрических объектов на чертеже, что и глобальные привязки. Однако они обладают двумя важными особенностями:

- локальная привязка является более приоритетной, чем глобальная. При вызове какой-либо команды локальной привязки она подавляет установленные глобальные привязки на время своего действия (до ввода точки или отказа).

- любая из них выполняется только для одного (текущего) запроса точки. После ввода текущей точки активизированная локальная привязка отключается. Если необходимо выполнить еще одну локальную привязку для очередной точки, то придется вызывать меню локальных привязок заново.

Все локальные привязки собраны в меню локальных привязок. Для вызова меню на экран во время выполнения команды щелкните правой клавишей мыши в любой точке рабочей поля. В появившемся динамическом меню поставьте курсор на каскадное меню Привязки, щелчок мыши при этом выполнять не нужно. После этого содержимое меню автоматически раскроется, и Вы увидите полный список локальных привязок, изображенный на рисунке 42. Активизация нужной привязки осуществляется простым щелчком мыши на соответствующей команде. После этого Меню привязок закроется.

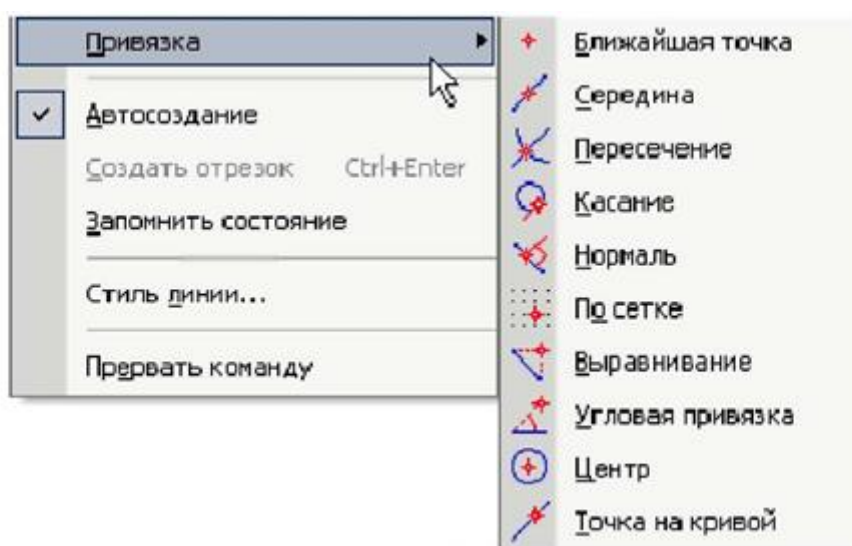


Рис.42. Список локальных привязок.

Активизируйте команду **Отрезок**. Зафиксируйте начальную точку отрезка в точке *B*, нажмите правую кнопку мыши и из локальных привязок выберите **Середина**. Подведите курсор к любой точке отрезка 4-5 и нажмите левую кнопку мыши, как показано на рисунке 43. Отрезок построен. Не прерывайте команду **Отрезок**.



Рис.43. Построение отрезка к середине.

3. Для построения отрезков прямых из точки *C*: зафиксируйте точку *C*, запомните состояние начальной точки отрезка командой **Запомнить состояние** проведите два отрезка, используя локальные привязки «*Середина*», «*Нормаль*». Прервите команду.

4. Клавиатурные привязки представляют собой команды, которые выполняются с помощью клавиатуры нажатием определенных клавиш или комбинаций клавиш.

Вы можете использовать локальные и глобальные привязки только в тот момент, когда система запрашивает указания какой-либо точки (то есть после того, как активизирована какая-либо команда). Клавиатурные привязки можно применять практически в любом режиме работы редактора.

Подведите курсор к предполагаемому месту центра окружности *A* и нажмите $\langle Shift \rangle + \langle Ctrl \rangle + \langle 5 \rangle$ на дополнительной цифровой клавиатуре - курсор встанет точно в центре окружности.

Лабораторная работа №6

Простановка размеров: линейных, диаметральных и радиальных. Ввод текста

Цель работы: научиться выполнять простановку различных размеров: линейных, радиальных, диаметральных. Приобрести навыки ввода текста.

Задание.

1. Проставьте линейные размеры:

- «10», «15», «50» способом «От общей базы»
- «10», «30», «30» способам «Линейный цепной».

2. Проставьте радиальные размеры;

- R10 - в автоматическом режиме;
- R6 - тип размера - «Радиальный размер не от центра окружности», параметры: стрелка снаружи, размещение текста «На полке вправо».

3. Проставьте диаметральные размеры:

- Ø20 - размещение текста автоматическое;
- Ø16 - в параметрах размещение текста «На полке вправо»;
- Ø24 - тип диаметрального размера «Размерная линии с обрывом», в параметрах - размещение текста «Ручное».

4. Введите текст, показанный на рисунке 56.

- текст №1. Угол - 0° текст из шаблона;
- текст №2. Угол - 90° , номер шрифта
- текст №3, Угол наклона определен с помощью геометрического калькулятора. Номер шрифта 7.

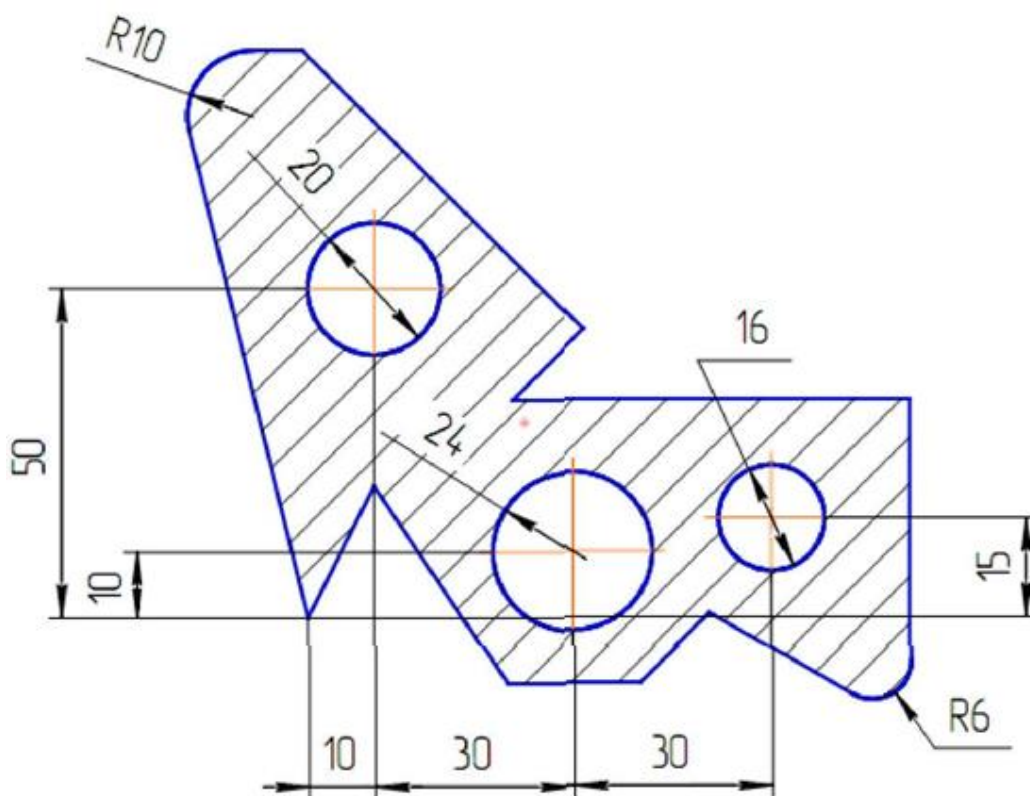


Рис.44. Чертеж для выполнения задания.

Порядок выполнения работы.

1. Откройте чертеж, построенный в Лабораторной работе №5. Удалите построения, выполненные тонкой линией: **Выделить - По стилю кривой - Тонкая - [Delete]**.

Выполните центровые линии на трех окружностях. Для этого выберите на панели **Обозначения** команду **Обозначение центра**. Выполните штриховку. Установите необходимые параметры штриховки: стиль - металл, шаг штриховки - 5 мм, угол наклона штриховки - 45°.

Выберите на панели кнопку переключения **Размеры**.

На инструментальной панели **Размеры** сделайте активной команду **Линейный от общей базы**, как показано на рисунке 45.

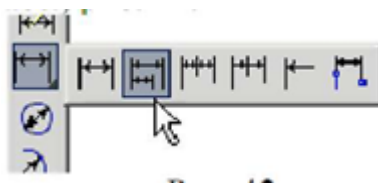


Рис.45. Команда **Линейный от общей базы**.

На запрос системы «Укажите базовую точку» подведите курсор к точке 1 и нажмите левую кнопку мыши - это базовая точка, затем подведите курсор к окружности *B* (укажите вторую точку), как показано на рисунке 46. Если необходимо выполнить вертикальный размер, а система предлагает горизонтальный, выберите нужную ориентацию размерной линии, как показано на рисунке 47, в данном случае - вертикальную. В поле текста размерной надписи система автоматически должна показать размер «10». Так как базовая точка удерживается, укажите снова вторую точку, определяющую положение окружности *A*, как показано на рисунке. 47. Таким же образом проставьте размер, определяющий положение окружности *C* (размер «50»). Прервите команду.

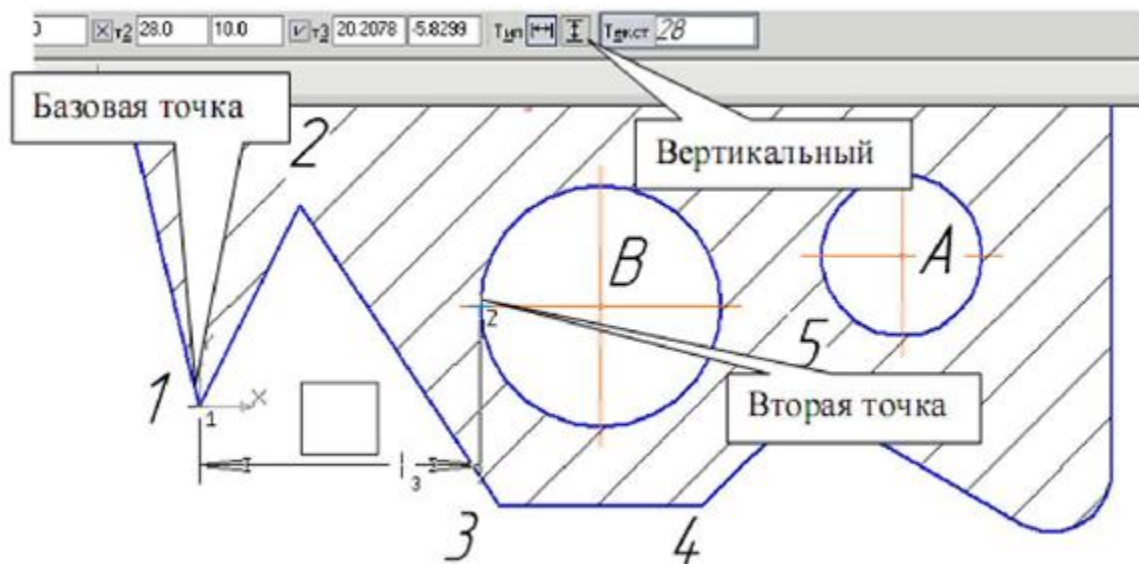


Рис.46. Простановка линейного размера от общей базы.

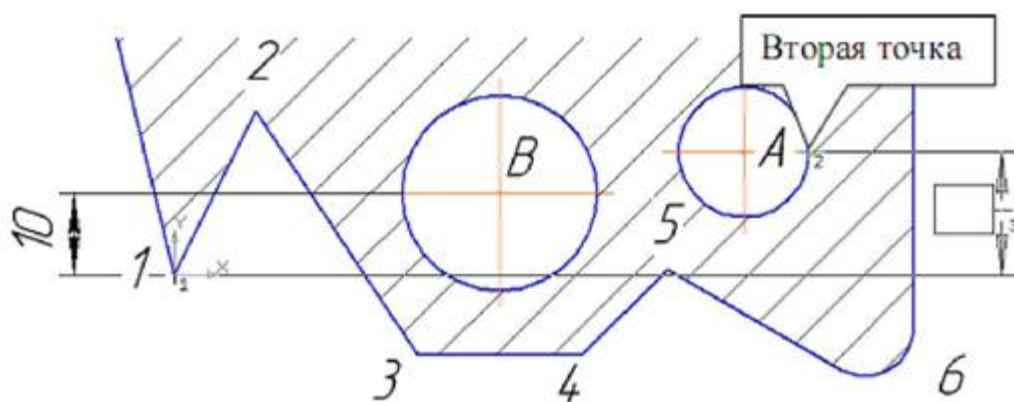


Рис.47. Простановка линейного размера от общей базы.

На панели **Размеры** сделайте активной команду **Линейный цепной**, показанную на рисунке 48. Зафиксируйте точку 1 и укажите положение окружности **C** (вторая точка), проставив горизонтальный размер, как показано на рисунке 49. Затем определите положение окружности **B** (вторая точка) и окружности **A**. Прервите команду.

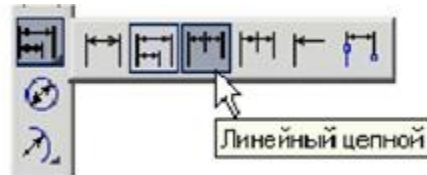


Рис.48. Команда **Линейный цепной**.

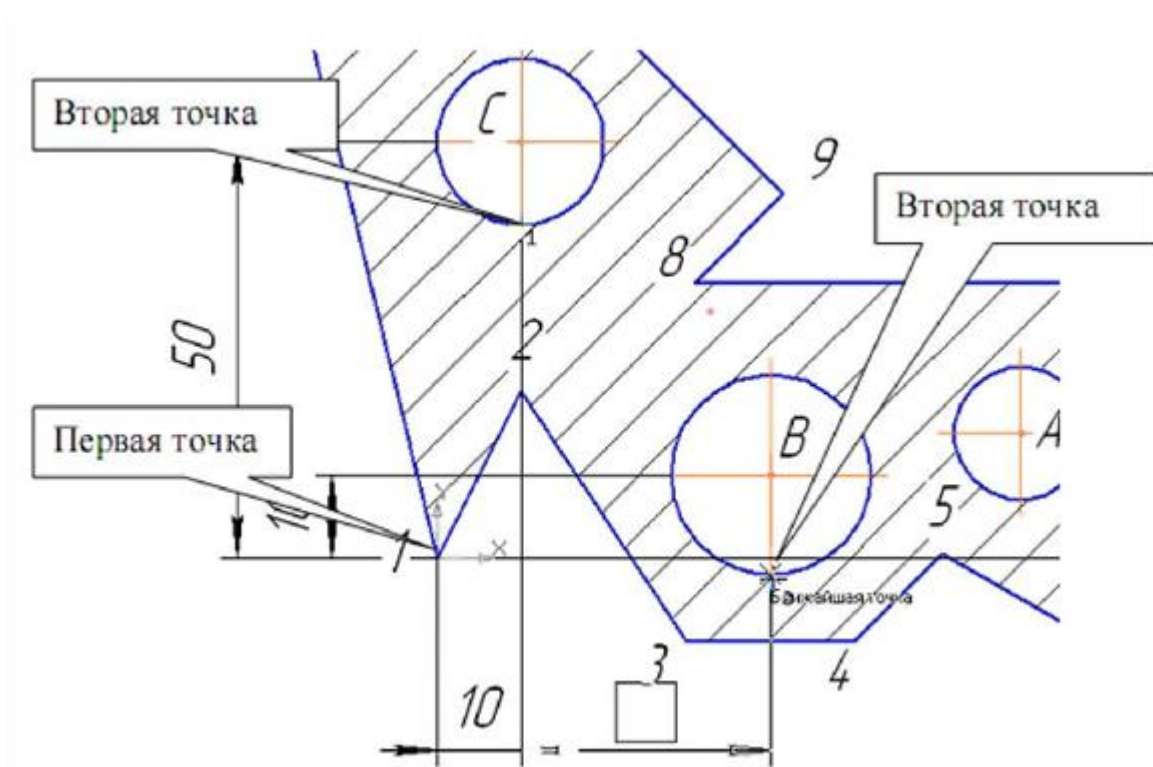


Рис.49. Простановка линейного цепного размера.

2. Для простановки радиальных размеров на панели **Размеры** активизируйте команду **Радиальный размер**, показанную на рисунке 50.

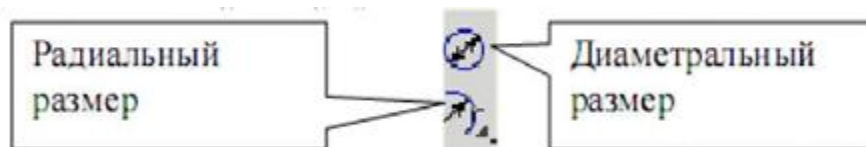


Рис.50. Команды **Радиальный размер** и **Диаметральный размер**.

Проставьте размер радиуса R10. Для этого установите курсор на дуге, щелкните левой кнопкой мыши и расположите размер согласно рисунку 44.

Проставьте размер радиуса R6. Для этого установите курсор на дуге, щелкните левой кнопкой мыши, выберите **Радиальный размер не от центра окружности**, активизируйте вкладку **Параметры**, как показано на рисунке 51.

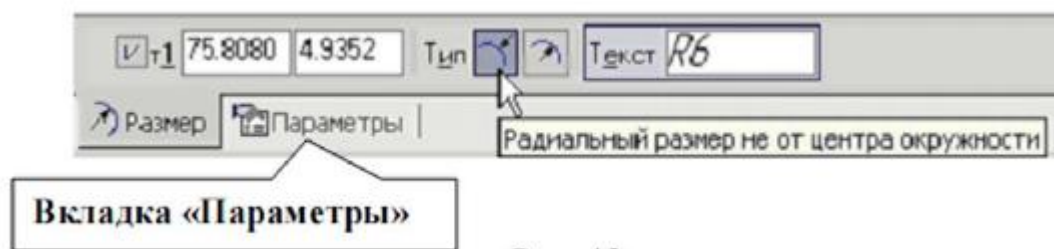


Рис.51. Вкладка **Параметры** команды **Радиальный размер**.

В параметрах: в размещении текста установите **На полке вправо**, как показано на рисунке 52, и **Стрелка - Снаружи**, как показано на рисунке 53. Проставьте размер согласно рисунку 44. Прервите команду.



Рис.52. Команда **На полке вправо**.



Рис.53. Команда **Стрелка – Снаружи**.

3. Для простановки диаметральных размеров на панели **Размеры** активизируйте команду **Диаметральный размер**, показанную на рисунке 50. При простановке размеров числовые значения и стрелки не должны пересекаться штриховкой

и линиями. Для этого необходимо выполнить следующую настройку: **Сервис - Параметры - Текущий фрагмент - Перекрывающиеся объекты**. Поставьте маркер, как показано на рисунке 54.

Для простановки диаметра 20 мм в автоматическом режиме установите курсор на окружности, щелкните левой кнопкой мыши и расположите размер согласно рисунку 44.

Для простановки диаметра 16 мм на полке установите курсор на окружности, щелкните левой кнопкой мыши, активизируйте **Параметры - Размещение текста - На полке вправо** и расположите размер согласно рисунку 44.

Для простановки диаметра 24 с обрывом в ручном режиме установите курсор на окружности, щелкните левой кнопкой мыши, активизируйте кнопку **Размерная линия с обрывом**, показанную на рисунке 55. Сделайте активными **Параметры - Размещение текста - Ручное**. Расположите размер согласно рисунку 44.

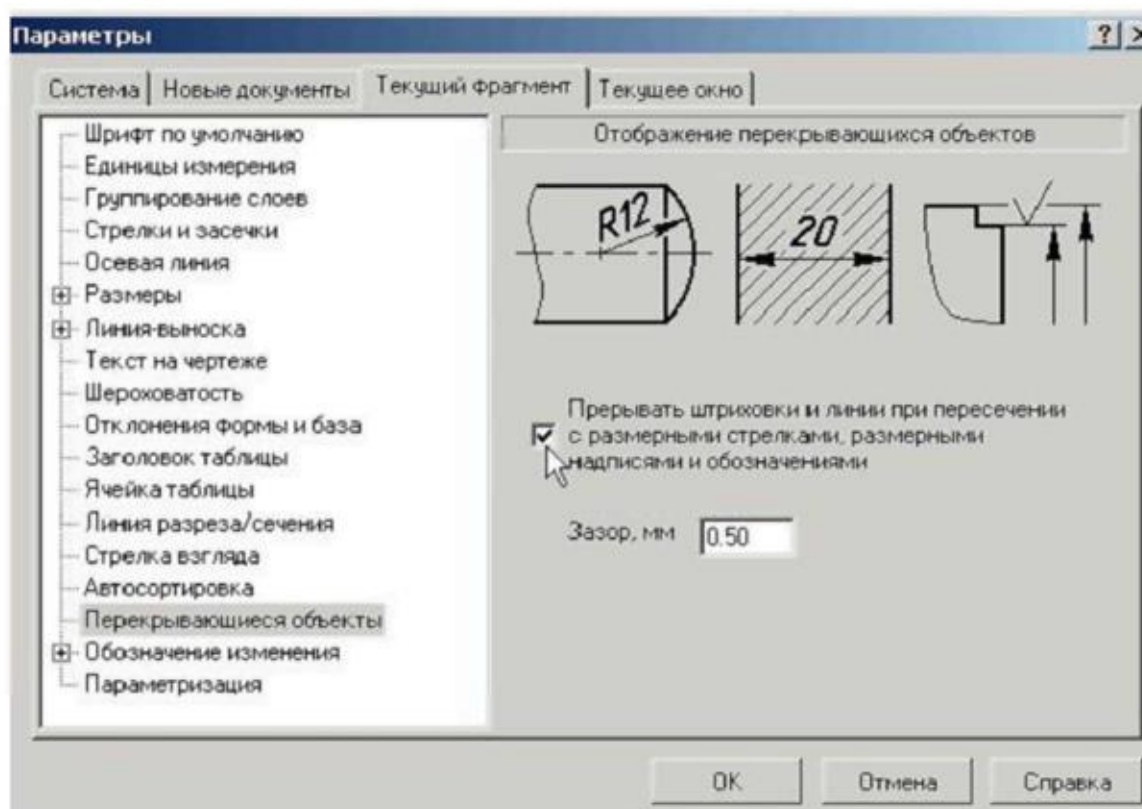


Рис.54. Отображение перекрывающихся объектов.

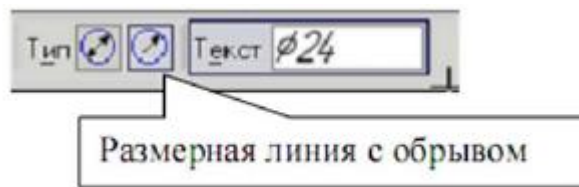


Рис.55. Кнопка *Размерная линия с обрывом*.

4. Введите текст, показанный на рисунке 56

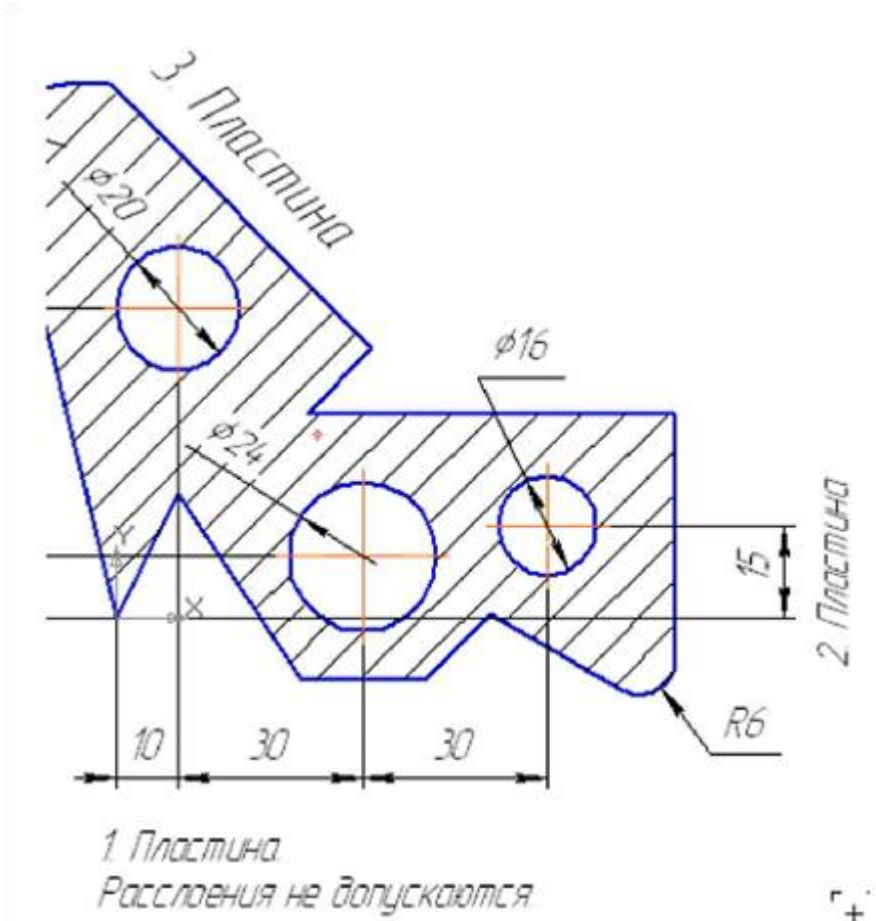


Рис.56. Текст для ввода на чертеж.

На главной панели выберите команду **Обозначения - Ввод текста**. Параметры текста при его создании и редактировании отображаются в отдельных полях **Строки параметров**, как показано на рисунке 57.



Рис.57. Строка параметров ввода текста.

Так как угол наклона текста №1 равен 0° , поместите курсор в точку начала текста и щелкните левой кнопкой мыши. В этом случае появятся вкладки «Формат» и «Вставка», показанные на рисунках 58 и 59.

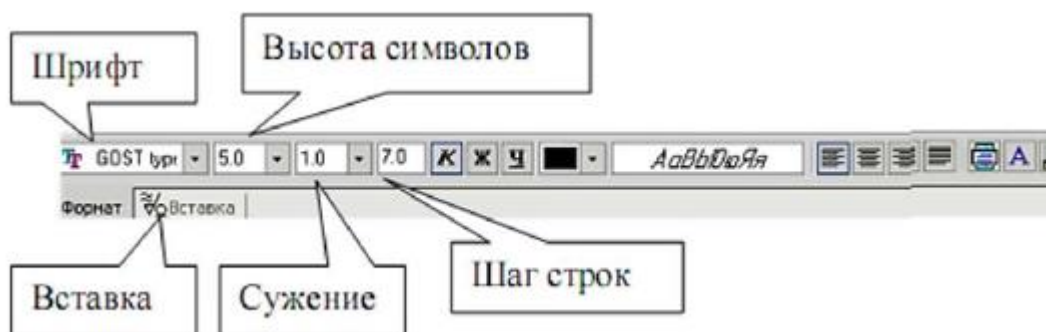


Рис.58. Вкладка «Формат».

Напечатайте слово «Пластина» и нажмите [Enter]. Во второй строке текста вставьте текст, используя шаблон технических требований. Для этого нажмите на вкладку **Вставка**. Строка параметров примет вид, показанный на рисунке 59.

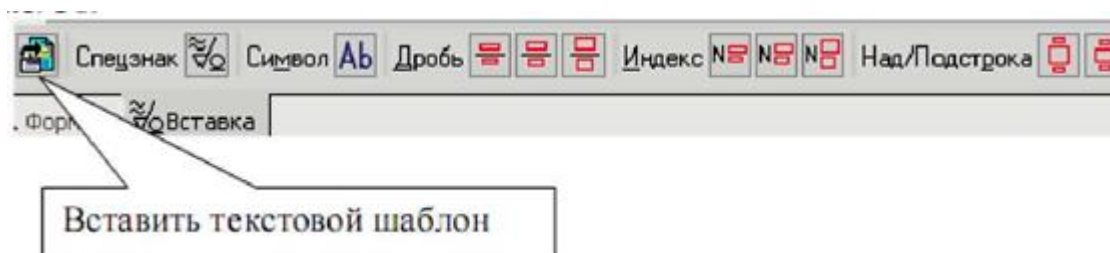


Рис.59. Вкладка «Вставка».

Вызовите команду **Вставить текстовый шаблон**. После этого на экране появится окно текстовых шаблонов, как изображено на рисунке 60.

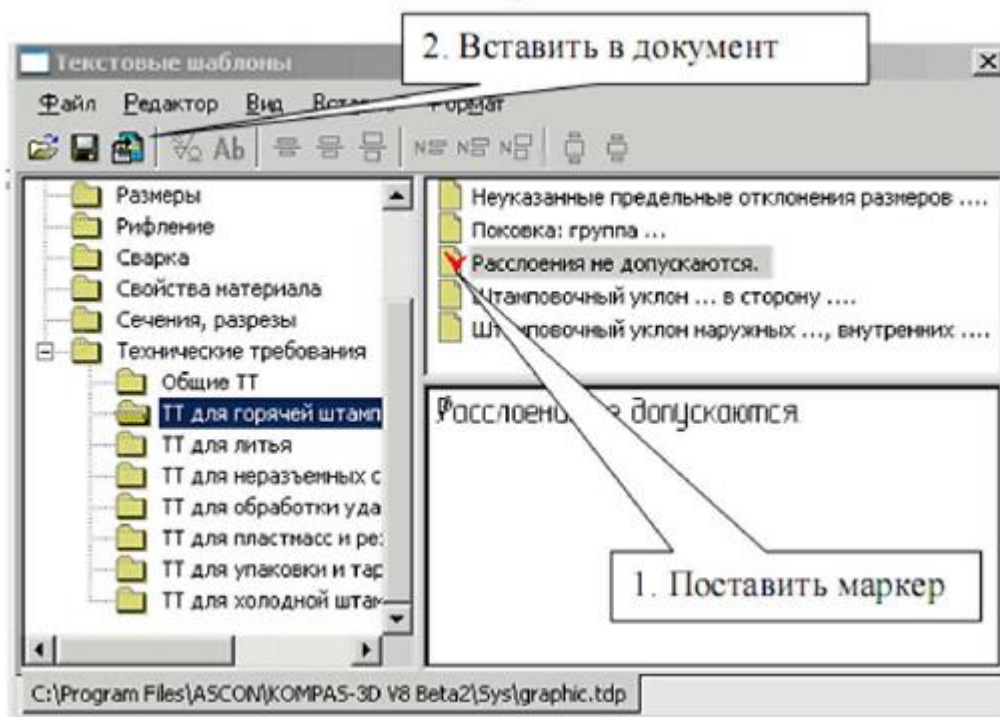


Рис.60. Окно текстовых шаблонов.

Раскройте *Технические требования*, выберите *ТТ для горячей штамповки* и с помощью двух щелчков на формулировке технических требований «Расслоения не допускаются», как показано на рисунке 60, вставьте данный текст во фрагмент (можно поставить маркер и вставить текст с помощью команды *Вставить в документ*). Нажмите кнопку *Создать объект*.

Текст №2 выполнен под углом. В данный момент строка параметров имеет вид, показанный на рисунке 57, поле ввода угла активно, поэтому сразу набирайте 90 и нажмите [Enter], поместите курсор в точку начала текста и щелкните левой кнопкой мыши. Напечатайте слово «*Пластина*», нажмите кнопку *Создать объект*.

Для выполнения надписи №3, которая расположена по направлению отрезка прямой, воспользуйтесь *Геометрическим калькулятором*. Для этого поместите курсор в поле величины угла, как показано на рисунке 61, нажмите правую кнопку мыши и выберите *По 2 точкам (с осью x)*. Укажите начальную и конечную точки отрезка, вдоль которого выполнен текст, как показано на рисунке 62. Установите высоту букв 7 мм, напечатайте слово «*Пластина*», нажмите кнопку *Создать объект*, а затем прервите команду.

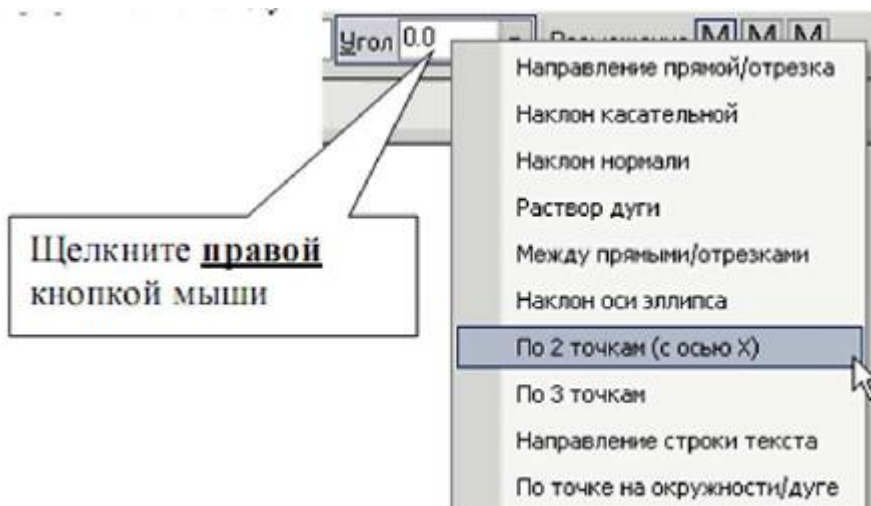


Рис.61. Вызов геометрического калькулятора.

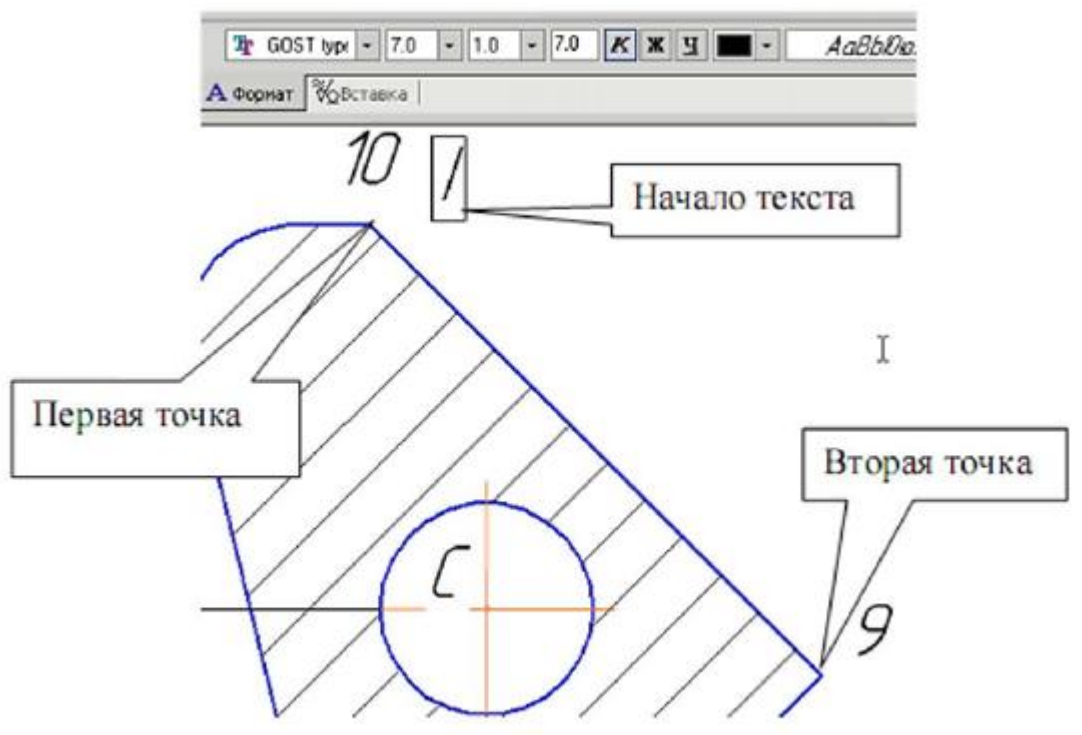


Рис.62. Ввод текста параллельно линии.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.

Перечислите основные составляющие ПЭВМ.
Память персонального компьютера.

Лабораторная работа №7

Выполнение изображения по заданным размерам. Скругление. Фаска. Проставка размеров. Редактирование: симметрия, деформация сдвигом.

Цель работы: научиться выполнять изображения по заданным размерам, проставлять размеры и редактировать деталь.

Задание.

1. Выполните изображение верхней половины детали:

- очерк верхней половины детали;
- осевую линию;
- две фаски с катетом 6 мм и углом 45°;
- фаску, заданную катетом 10 мм и углом наклона 30°;
- скругление радиусом R6.

2. Выполните изображение нижней части детали:

- очерк нижней части детали, используя команду *Симметрия*;
- горизонтальную линию, определяющую в разрезе отверстие диаметром 20 мм;
- фаску с катетом 4 мм и углом наклона 45° (без усечения одного объекта);
- фаску, заданную двумя катетами 16 мм и 6 мм (без усечения одного объекта);
- штриховку с параметрами: шаг - 5 мм, угол наклона 45°.

3. Выполните недостающие вертикальные линии на виде и разрезе.

4. Проставить размеры.

5. Используя команду *Деформация сдвигом*, увеличьте размер 50мм до 70 мм.

6. Используя команду *Деформация сдвигом*, увеличьте $\varnothing 90$ до $\varnothing 110$.

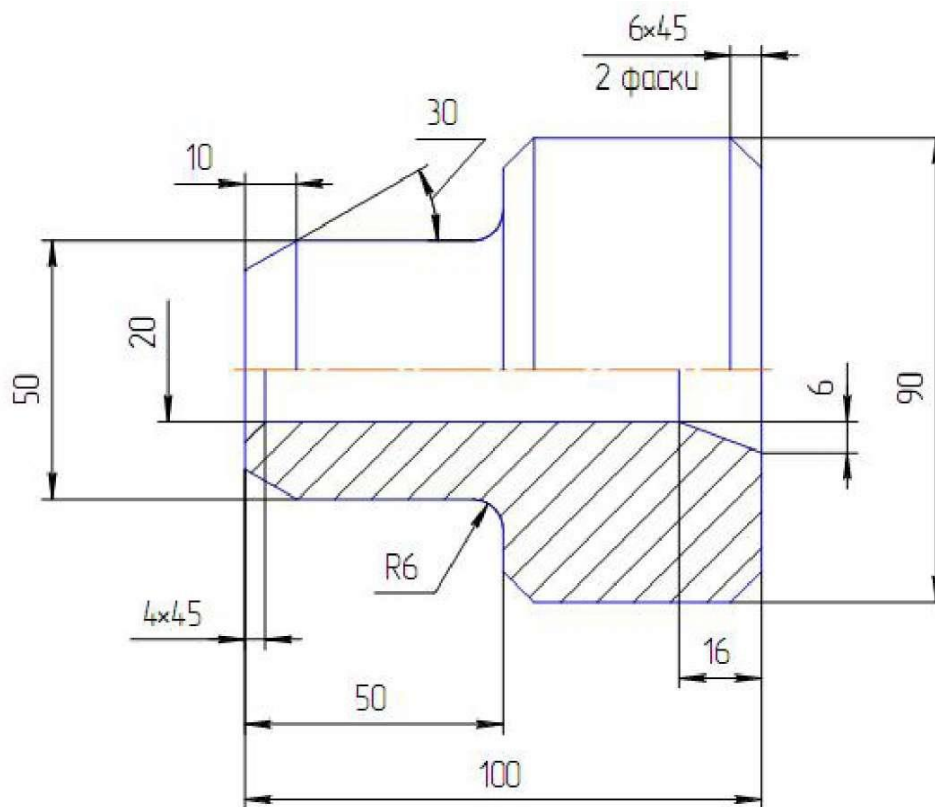


Рис. 63. Исходная деталь.

Порядок выполнения работы.

Вызовите команду **Файл – Создать**. В появившемся на экране диалоге на вкладке **Новые документы** выберите вариант «**Фрагмент**». Включите **Nitm Lock**. Для выполнения этой работы должны быть включены следующие глобальные привязки: ближайшая точка пересечения, угловая привязка. Активируйте команду **Непрерывный ввод объектов** на панели **Геометрия**.

1. Выполните контур верхней части изображения детали, изображенной на рисунке 63. Установите курсор в начало координат и нажмите левую кнопку мыши, - начальная точка зафиксирована. В строке параметров введите значение длины первого отрезка, равное 25 мм ($50:2=25$), переместите курсор вверх от начала координат до срабатывания угловой привязки «Угол 90° », как показано на рисунке 64, зафиксируйте конечную точку первого отрезка нажатием левой кнопки мыши.

Постройте второй отрезок (горизонтальный) длиной 50 мм и значением угловой привязки «Угол 0° ».

Третий отрезок - длиной 20 мм ($90-50=40, 40:2 = 20$) и значением угловой привязки «Угол 90° ».

Четвертый отрезок длиной 50 мм и значением угловой привязки «Угол 0° », как изображено на рисунке 65.

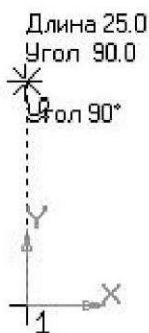


Рис. 64. Построение первой линии.

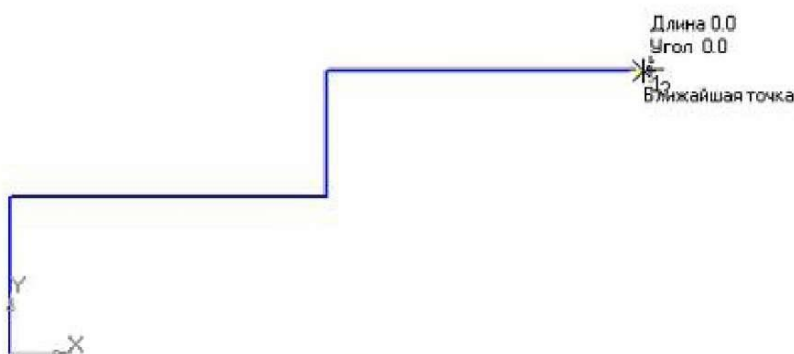


Рис. 65. Построение четвертой линии.

Для построения пятого отрезка воспользуйтесь локальной привязкой **Выравнивание** (нажмите правую кнопку мыши - **Привязки - Выравнивание**. Переместите курсор вниз до появления вспомогательной линии, указывающей на то, что точка выровнена относительно начала координат, и нажмите левую кнопку мыши, как показано на рисунке 66. Прервите команду.

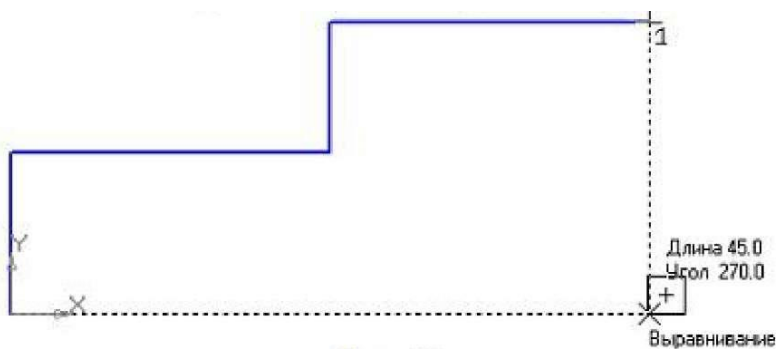


Рис. 66. Использование привязки **Выравнивание**.

Для выполнения осевой линии активизируйте на панели **Обозначения - Осевая линия по двум точкам**. Курсором укажите две точки, как показано на рисунке 67. Осевая линия построена. Прервите команду.



Рис. 67. Построение осевой линии.

Для выполнения фасок с катетом 6 мм и углом наклона 45° активизируйте на панели **Геометрия** команду **Фаска**. Строка параметров для этой команды показана на рисунке 68. В параметрах должна быть активна кнопка **Фаска подлине и углу**.



Рис. 68. Строка параметров команды **Фаска**.

Поле длины фаски активно, поэтому выберите из списка значение «6» и нажмите [Enter], поле угла фаски становится активным. Если не стоит значение угла 45° , то установите его. Кнопки **Усекайте первый и второй элементы** должны быть активны. Подведите курсор к одной стороне прямой (в данном случае безразлично к вертикальной или горизонтальной, так как угол 45°) и нажмите левую кнопку мыши, затем к другой, как показано на рисунке 69. Фаска построена. Выполните построение второй фаски.



Рис. 69. Порядок расположения курсора.

Для построения фаски с катетом 10 мм и углом 30° установите соответствующие значения в полях длины и угла. В данном случае для угла, отличающегося от значения 45° , важно правильно выбрать первое положение курсора. Так как величина «10» определяет горизонтальный размер, то необходимо первым указать горизонтальный отрезок, как показано на рисунке 70.



Рис. 70. Порядок расположения курсора.

Выполните скругление радиусом $R6$

2. Выполните очерк нижней части детали.

Команда *Симметрия* становится активной после выделения необходимых объектов, поэтому нажмите **Выделить - Секущей рамкой**. Расположите рамку выше осевой линии, как показано на рисунке 71. В этом случае не произойди выделение осевой линии.

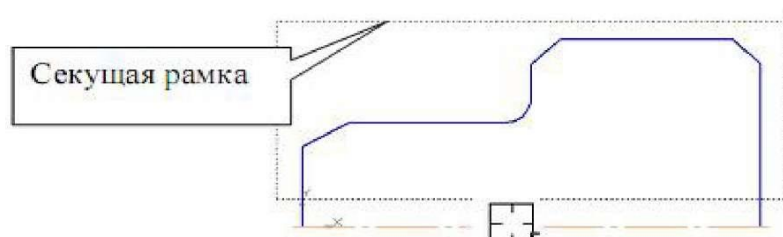


Рис. 70. Выделение секущей рамкой.

Нажмите кнопку **Симметрия** на панели **Редактирование**. Строка параметров (вместе с панелью специального управления) примет вид, показанный на рисунке 71.

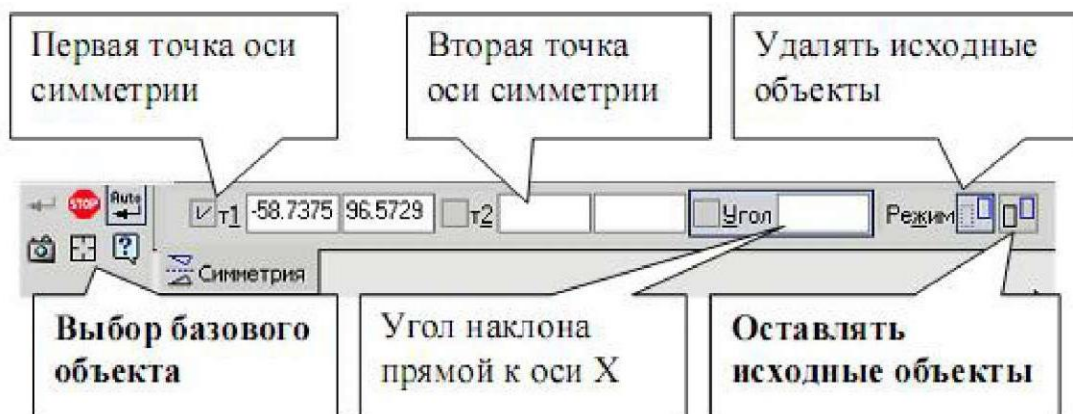


Рис. 71. Строка параметров команды **Симметрия**.

Кнопка **Оставлять исходные объекты** должна быть активна. На панели специального управления нажмите кнопку **Выбор базового объекта**, как показано на рисунке 71, курсором укажите осевую линию и получите изображение, показанное на рисунке 72.

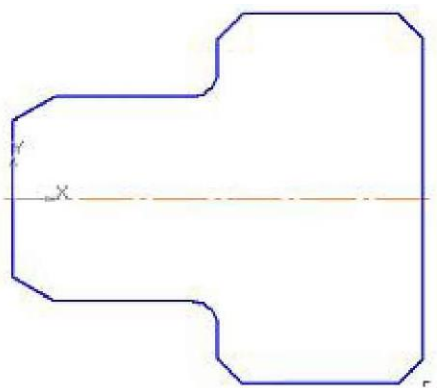


Рис. 72. Контур детали.

Для построения горизонтальной прямой, определяющей в разрезе отверстие диаметром 20 мм, воспользуйтесь командой **Параллельный отрезок** на панели **Геометрия**, показанной на рисунке 73.

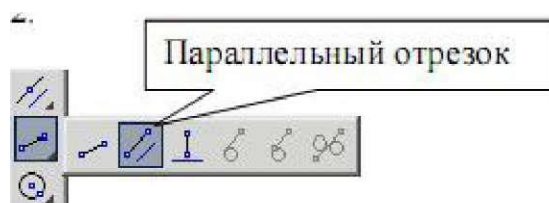


Рис. 73. Команда **Параллельный отрезок**.

На запрос системы *Укажите прямую для построения параллельного отрезка* курсором укажите осевую линию. Строка параметров для этой команды показана на рисунке 73.

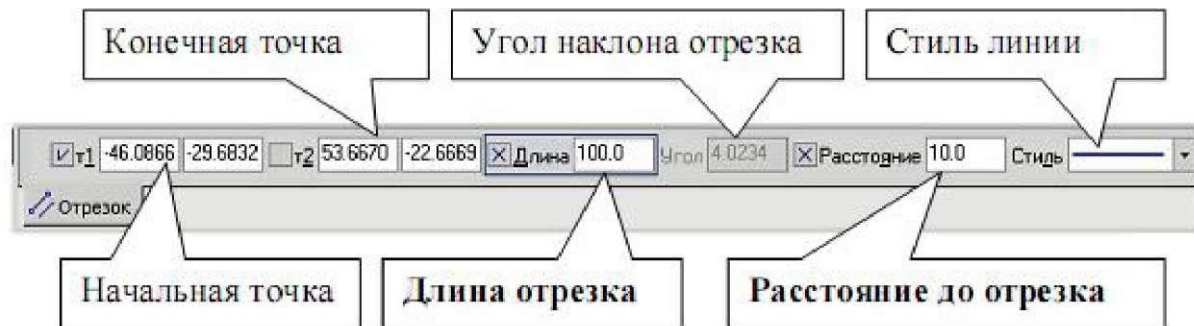


Рис. 74. Строка параметров команды *Параллельный отрезок*.

Так как поле для ввода значения длины отрезка активно, поэтому с клавиатуры наберите «110» и нажмите *[Enter]*. После ввода длины становится активным поле *Расстояние до отрезка*, поэтому с клавиатуры наберите «10». Подведите курсор к вертикальной прямой до срабатывания глобальной привязки *Пересечение* и нажмите левую кнопку мыши, как показано на рисунке 75.



Рис. 75. Срабатывание глобальной привязки *Пересечение*.

Для построения фаски с катетом 4 мм и углом 45° на панели *Геометрия* вызовите команду *Фаска*. Введите данные значения катета и угла. При выполнении фаски горизонтальный отрезок будет перестраиваться, а вертикальный не будет. Выберите, например, первым элементом горизонтальный отрезок, а вторым - вертикальный. В этом случае для второго элемента необходимо сделать активной кнопку *Не усекалть второй элемент*. Укажите курсором вначале горизонтальный отрезок, а затем вертикальный, как показано на рисунке 76.

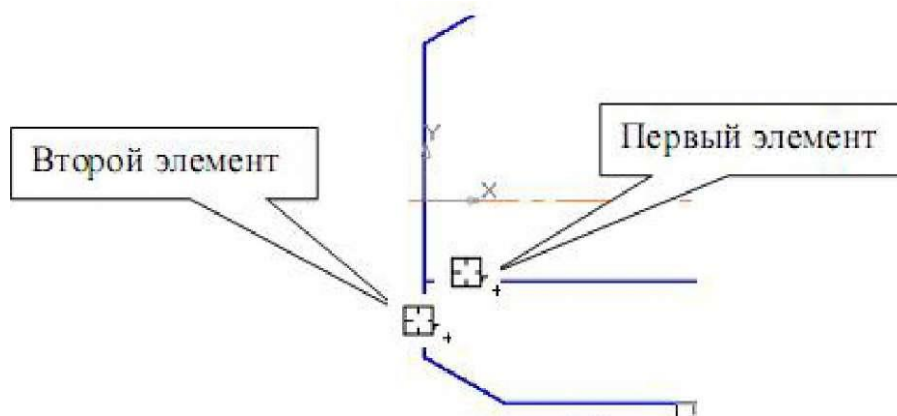


Рис. 76. Построение фаски 4 мм и углом 45°.

Для построения фаски, заданной двумя катетами, выберите в строке параметров способ построения **По двум длинам** Самостоятельно постройте фаску Прервите команду.

Самостоятельно выполните штриховку с параметрами: шаг 5 мм, угол наклона 45°. Полученное изображение, показанное на рисунке 77.

3. Для выполнения вертикальных линий, показанных на рис 77, сделайте активной команду **Отрезок** – на панели **Геометрия**. Проведите вертикальные прямые до осевой линии (глобальная привязка **Пересечение** должна быть включена).

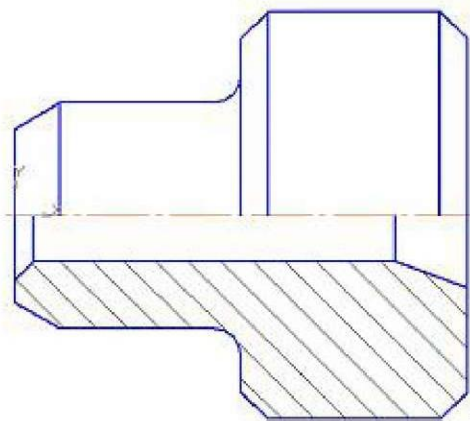


Рис. 77. Выполнение штриховки и вертикальных линий.

4. Проставьте размеры.

Проставьте размеры: «4x45°», «50» «100». Это линейные размеры от общей базы.

Для простановки данных размеров укажите точку общей базы, как показано на рисунке 78, затем вторую точку, покажите направление простановки размера (горизонтальное). В поле текста размерной надписи система автоматически показала размер «4». Щелкните левой кнопкой мыши в поле текста размерной надписи как

показано на рисунке 78, откроется окно, изображенное на рисунке 79. Нажмите кнопку [x45°] для оформления надписи «4x45°», затем кнопку [OK]. Зафиксируйте положение размерной линии щелчком левой кнопки мыши и укажите следующие (вторые) точки, определяющие размеры «50» и «100», как изображено на рисунке 80.

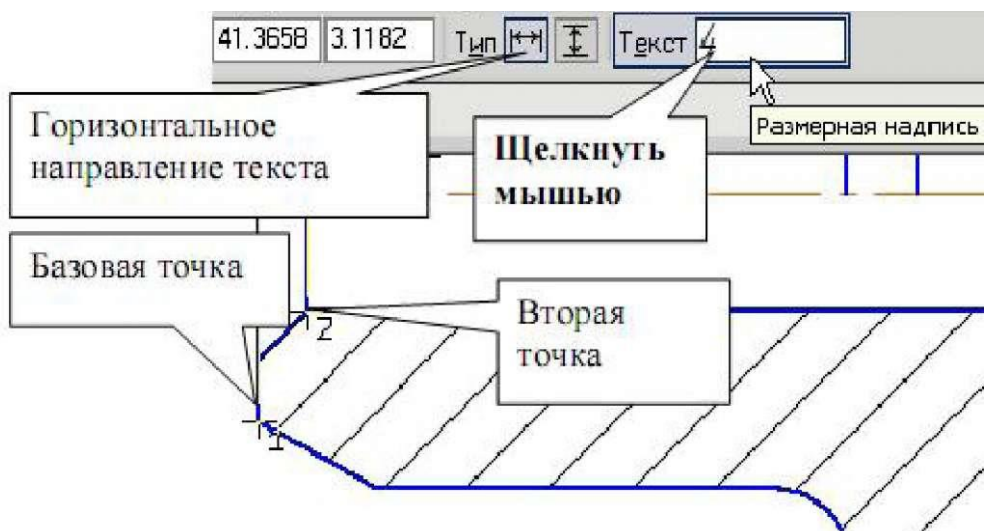


Рис. 78. Простановка линейного размера от общей базы.

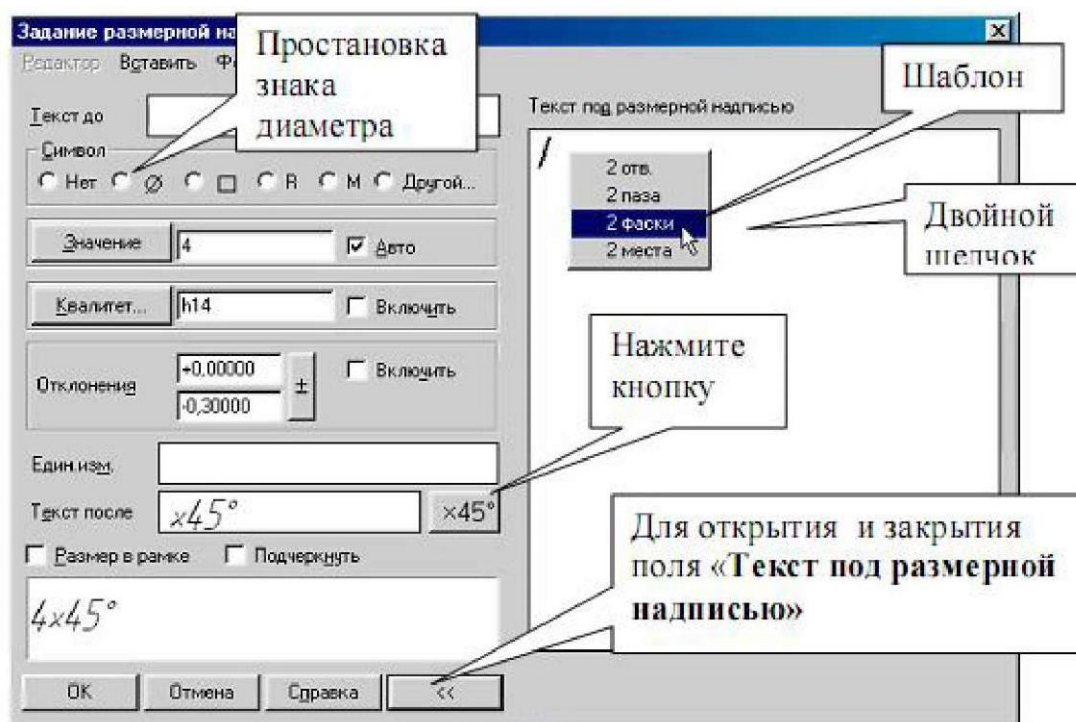


Рис. 79. Окно задания размерной надписи.

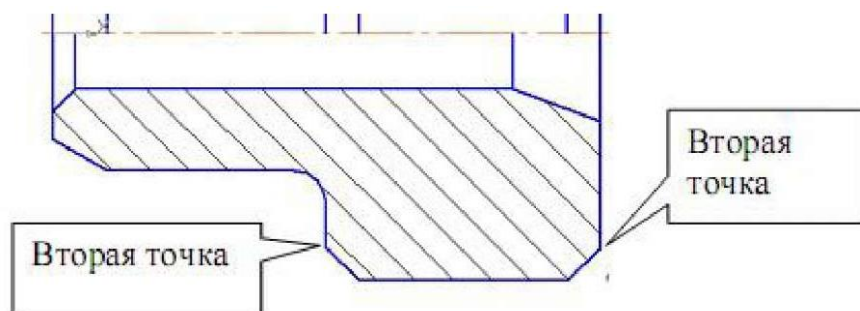


Рис. 80. Вторые точки, определяющие размеры «50» и «100».

Проставьте размеры: «10», «16», «6», «6x45°» (2 фаски). Для этого выберите команду **Линейный размер**. Для простановки размера «6x45°» (2 фаски) укажите первую и вторую точки, определяющие размер катета, в поле текста размерной надписи система автоматически покажет размер «6». Щелкните левой кнопкой мыши в поле текста размерной надписи, как показано на рисунке 78, откроется окно, изображенное на рисунке 79. Нажмите кнопку [x45°] для оформления надписи «6x45°». Для выполнения надписи «2 фаски» (текст под размерной надписью) откройте поле, предназначенное для выполнения текста под размерной надписью. Для этого нажмите на кнопку [»] и в открывшемся поле выполните двойной щелчок левой кнопкой мыши, после чего появятся шаблоны. Выберите из них необходимый шаблон: «2 фаски», щелкните на нем левой кнопкой мыши, затем кнопку [OK]. Зафиксируйте положение размерной линии щелчком левой кнопки мыши. Проставьте размеры «10», «6» самостоятельно. Для простановки размера «16» выберите точки привязки, как показано на рисунке 81. В данном случае выносная линия из точки 2 будет накладываться на уже имеющуюся. Поэтому в строке параметров активизируйте **Параметры** и отключите кнопку **Отрисовка второй выносной линии**, как показано на рисунке 82.

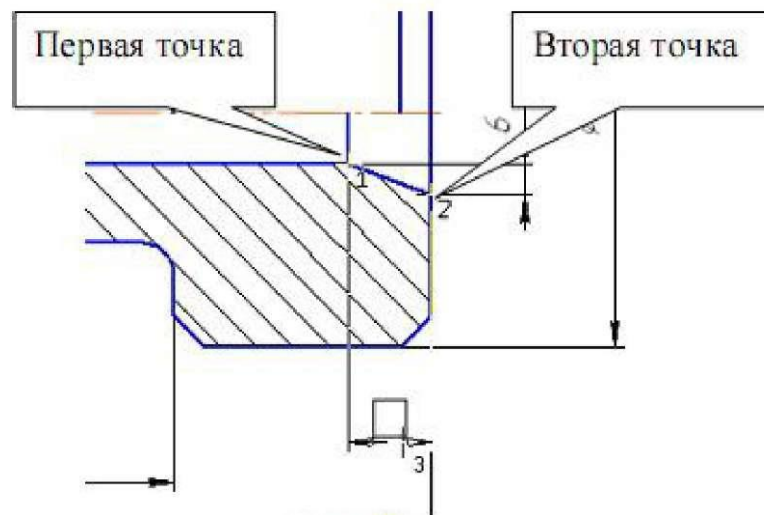


Рис. 81. Последовательность простановки размера «16».



Рис. 81. Отрисовка второй выносной линии.

Проставьте размеры: « $\varnothing 90$ », « $\varnothing 50$ » командой *Линейный размер*. После указания первой и второй точек привязки размера щелчком левой кнопки мыши в поле текста *Текст надписи* откройте окно, изображенное на рисунке 79, проставьте символ знака диаметра. Для простановки диаметра «50» в строке параметров нажмите кнопку *Параметры*, и установите *Ручное* размещение текста для расположения размеров в шахматном порядке. Для простановки размера $\varnothing 20$ воспользуйтесь командой *Линейный с обрывом*, показанной на рисунке 83. На запрос системы “Укажите базовый отрезок для простановки размера с обрывом” укажите отрезок прямой, определяющий в разрезе цилиндрическое отверстие диаметром 20 мм, как изображено на рисунке 83.

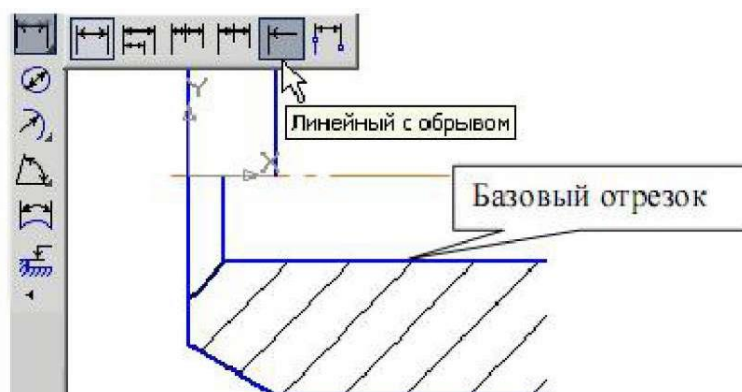


Рис. 83. Команда *Линейный с обрывом*.

Активизируйте **Текст надписи**, как показано на рисунке 78, проставьте символ знака диаметра и вручную введите надпись «20», как изображено на рисунке 84. Сделайте активными **Параметры** и выберите **Ручное размещение текста**.

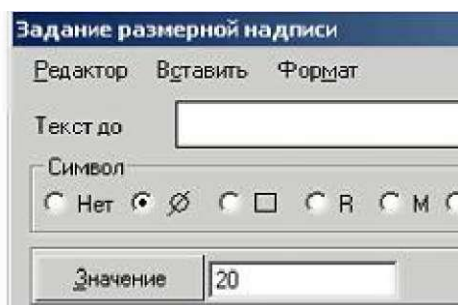


Рис. 84. Задание размерной надписи «20».

Проставьте угловой размер, выбрав команду **Угловой размер**. Укажите последовательно два отрезка прямой, в строке параметров выберите **На минимальный (острый) угол**, как показано рисунке 85. В параметрах укажите **На полке влево**. Прервите команду.

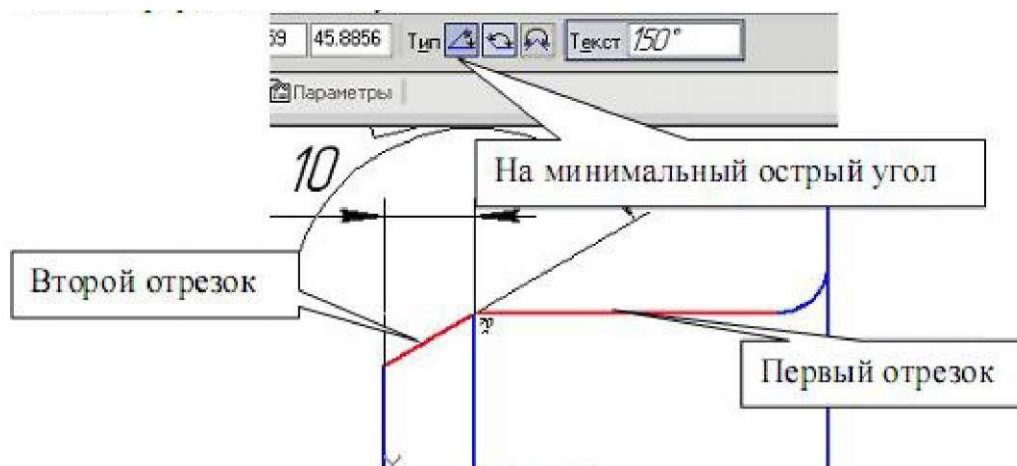


Рис. 85. Проставка углового размера.

Проставьте радиальный размер, выбрав команду **Радиальный размер**, а в его параметрах – **На полке влево**. Прервите команду.

5. Выполните чертеж детали, изображенный на рисунке 86. На данном чертеже первый цилиндрический элемент на 20 мм длиннее, чем на чертеже, показанном на рисунке 63. А так же вся длина детали увеличена тоже на 20 мм. В этом случае целесообразно изменить размеры детали командой **Деформация сдвигом** на панели **Редактирование**.

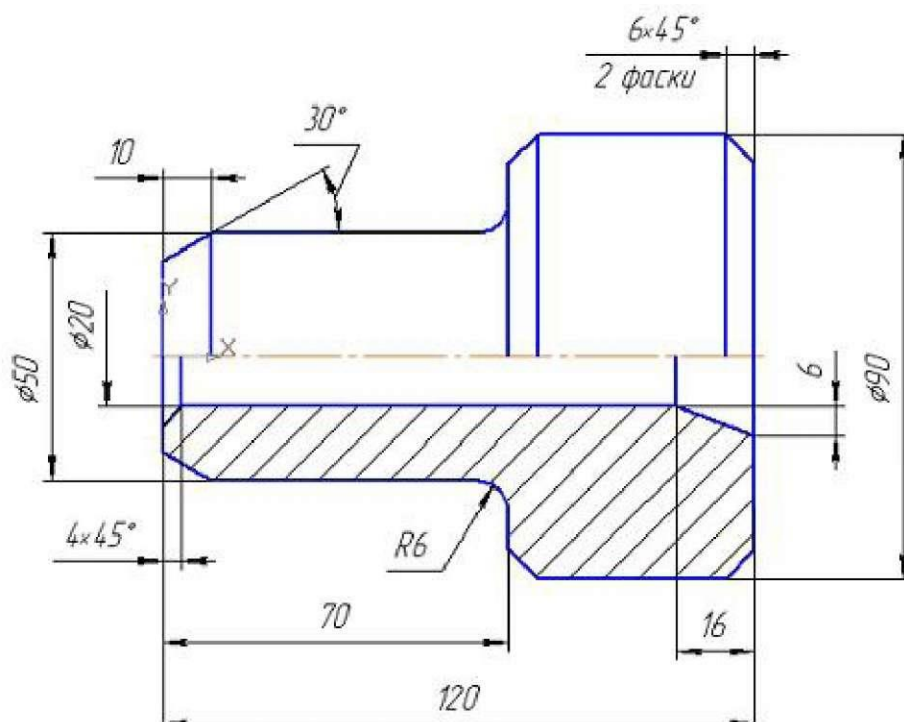


Рис. 86. Чертеж для выполнения задания 5.

Активизируйте команду **Деформация сдвигом** и выполните мышью рамку согласно рисунку 87. Строка параметров для деформации сдвигом показана на рисунке 88.

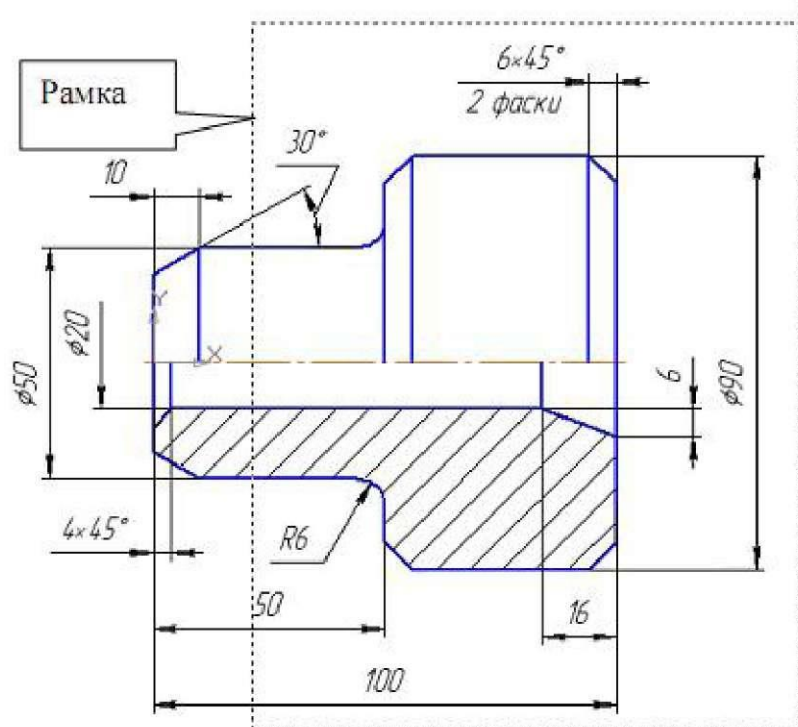


Рис. 87. Выделение рамкой части чертежа.

Поле ввода значений сдвига вдоль оси X активно, поэтому наберите с клавиатуры «20» (вправо – положительное значение), нажмите [Enter]. Поле ввода значений сдвига вдоль оси Y активно, поэтому наберите с клавиатуры «0», затем нажмите [Enter]. Чертеж выполнен.



Рис. 88. Строка параметров команды *Деформация сдвигом*.

б. Измените диаметр цилиндрической части, равный 90 мм, на 110 мм. Для этого выполните выделение частей цилиндра. При выделении верхней части цилиндра, как показано на рисунке 89, сдвиг вдоль оси X - 0, а сдвиг вдоль оси Y равен 10 мм (положительное направление). При выделении нижней части, как показано на рисунке 89 - сдвиг вдоль оси X - 0, а сдвиг вдоль оси Y равен - 10 мм (отрицательное направление)

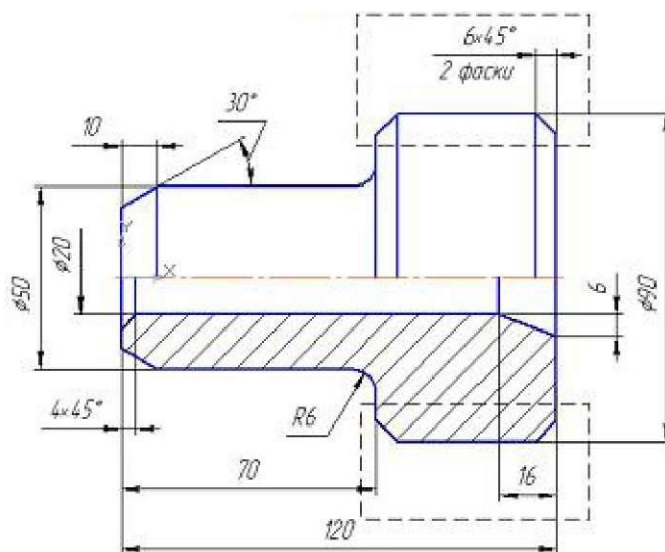


Рис. 89. Выделение рамкой верхней и нижней цилиндрических частей детали.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.
2. Перечислите основные составляющие ПЭВМ.
3. Память персонального компьютера.

Лабораторная работа №8

Построение 3D детали.

Цель работы: научиться выполнять построение 3D деталей в программе Компас – 3D.

Основные элементы интерфейса главного окна.

Для работы в режиме объёмного твёрдотельного моделирования необходимо открыть документ нажатием кнопки *Новая деталь*.

Интерфейс главного окна в режиме объёмного моделирования представлен на рисунке 90.

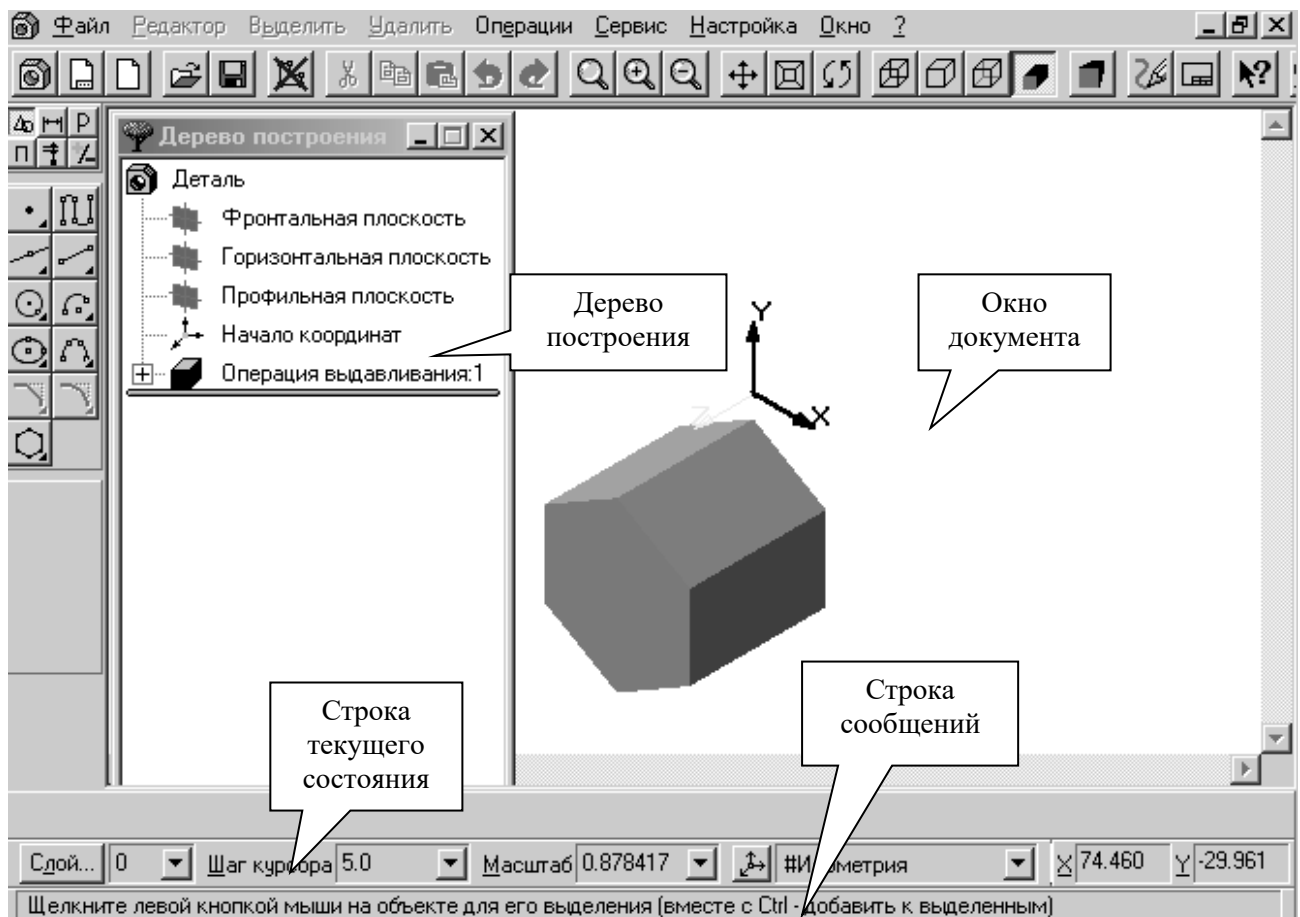


Рис. 90. Интерфейс главного окна в режиме объёмного моделирования

Рассмотрим подробнее отдельные элементы интерфейса главного окна.

Строка меню, находящаяся в верхней части окна под заголовком, по виду не отличается от строки меню при плоском моделировании. Команды, хранящиеся в каждом из меню, различаются существенно и будут рассмотрены позже.

На панели управления, показанной на рисунке 91, расположенной под строкой меню, размещены кнопки, позволяющие обращаться к наиболее часто используемым командам.



Рис. 91. Панель управления.

Большую часть главного окна занимает **Окно документа**, в котором размещается изображение открытой детали, в нём выполняются все операции по построению и редактированию модели.

В **Дереве построения** представляется последовательность операций формирования модели и отображаются: наименование детали, плоскости, в которых строятся эскизы для формирования элементов детали, символ начала координат, сами эскизы, как показано на рисунке 92.

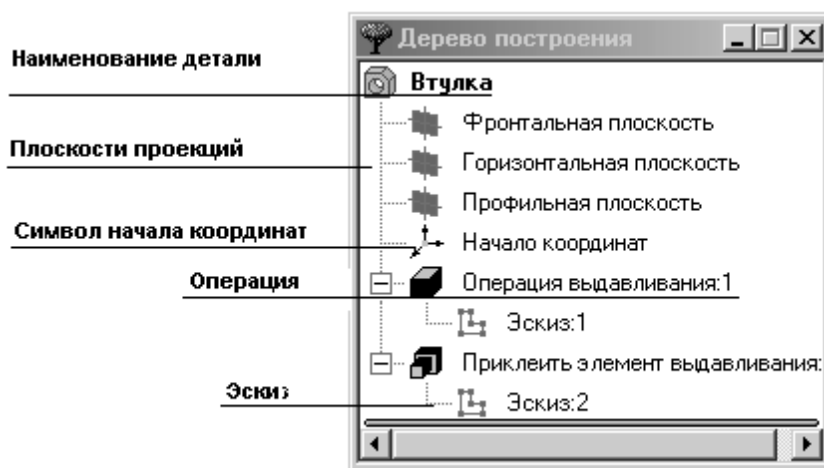


Рис. 92. Дерево построения детали.

В **Строке сообщений**, расположенной в самом низу окна, отображаются различные сообщения и запросы системы.

Строка текущего состояния находится над **Строкой сообщений**, её содержание зависит от режима построения модели, показана на рисунке 93.

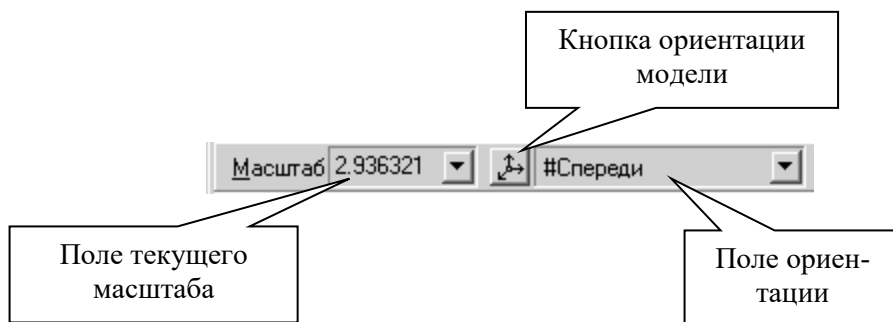


Рис. 93. Строка текущего состояния.

Инструментальная панель по умолчанию расположена в левой части главного окна и состоит из пяти страниц. Для переключения между страницами используются кнопки **Панели переключения**, расположенной над **Инструментальной панелью**, показана на рисунке 94.

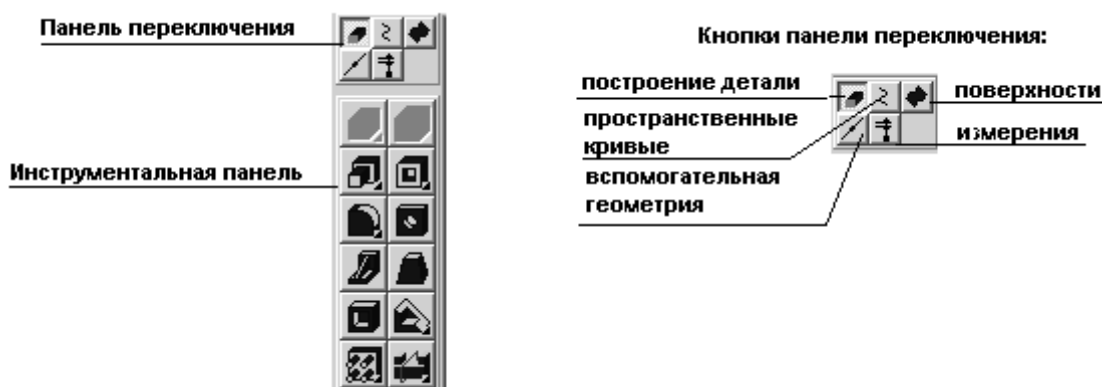


Рис. 94. Панель переключения. Инструментальная панель.

На инструментальной панели некоторые кнопки сгруппированы по вариантам возможного выполнения. Такие кнопки обозначены небольшим треугольником в правом нижнем углу. Для получения доступа к другим командам надо щёлкнуть на имеющейся на панели кнопке и не отпускать её некоторое время. При появлении панели расширенных команд, связанных с данной кнопкой, надо установить курсор на нужную кнопку и отпустить клавишу мыши.

Управление изображением модели.

Система КОМПАС-3D позволяет управлять масштабом изображения модели на экране, перемещать и поворачивать изображение, выбирать различные варианты её отображения.

Команды управления изображением собраны в меню *Сервис*, наиболее часто применяемые продублированы кнопками на панели управления, показаны на рисунке 95.

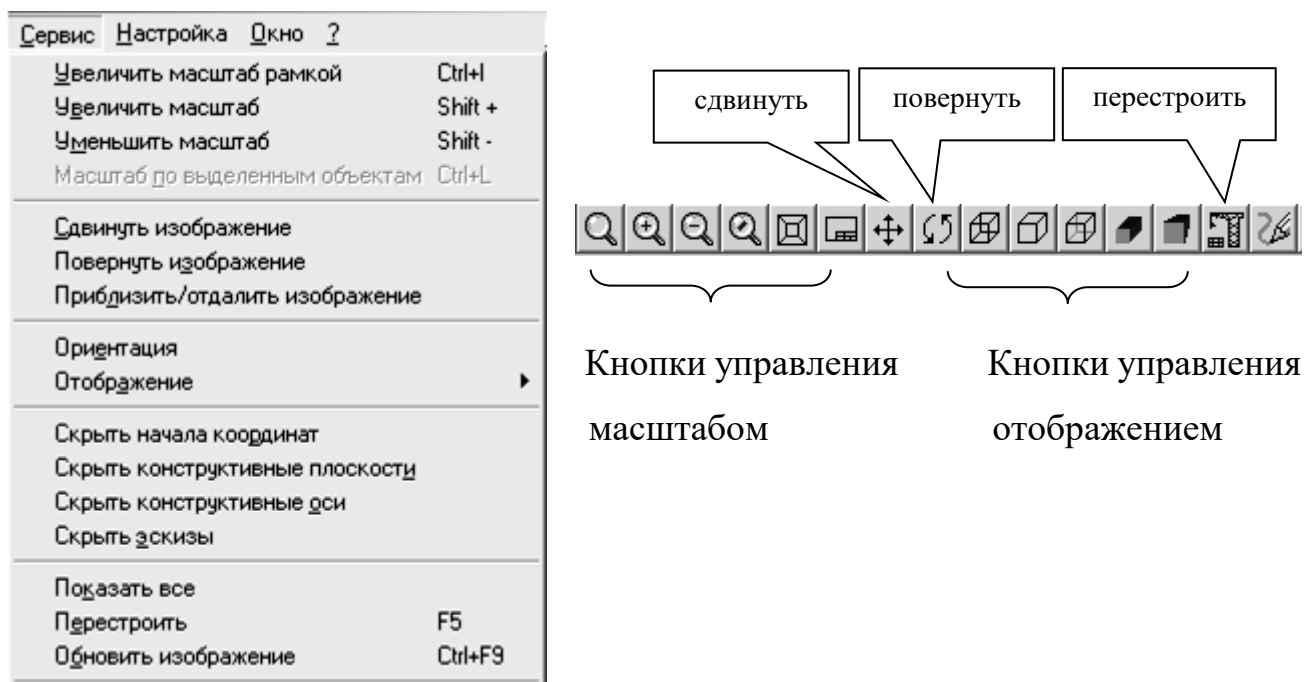






Рис. 95. Команды управления изображением.

Управление масштабом отображения модели.


После открытия документа или в процессе работы над ним бывает необходимо показать его полностью в окне. При нажатии кнопки *Показать всё*  система автоматически подберёт максимально возможный масштаб отображения, при котором вся модель отобразится в окне документа.

При необходимости увеличить масштаб изображения какой - либо части модели, например для редактирования её элемента, удобно использовать команду *Увеличить масштаб рамкой*. Для этого следует нажать кнопку *Увеличить масштаб рамкой* , мысленно заключить участок модели в прямоугольную рамку, щёлкнуть в одном из её углов и переместить курсор по диагонали в противоположный угол. Как только фантом рамки охватит весь намеченный участок, щёлкнуть мышью ещё раз. В окне отобразится в увеличенном масштабе выделенный участок модели. После редактирования можно вернуться в режим отображения всей модели, щёлкнув на кнопке *Показать всё*.


Кнопки  *Увеличить* и *Уменьшить масштаб* позволяют дискретно увеличить или уменьшить масштаб изображения в фиксированное число раз, по умолчанию - в 2 раза.

Кнопкой  *Приблизить/отдалить* можно плавно менять масштаб изображения, приближая или удаляя его относительно точки, в которой была нажата кнопка мыши.


Сдвиг изображения

Сдвиг изображения в окне выполняется командой *Сдвинуть изображение*, включением кнопки .

Вращение изображения

Удобно просматривать модель, вращая её в любом направлении, используя кнопку *Повернуть* .

Управление режимом отображения модели

Кнопки  позволяют применять команды управления отображением модели в режимах: *Каркас*, *Без невидимых линий*, *Невидимые линии тонкие*, *Полутонное* и *Перспектива*.

Управление режимом стандартных ориентаций модели

Модель можно расположить таким образом, чтобы её положение относительно трёх плоскостей проекций соответствовало стандартным видам: спереди, сверху, слева, справа, сзади и снизу. Для получения нужной ориентации модели надо щёлкнуть мышью на кнопке *Список видов* в *Строке текущего состояния* и выбрать из списка нужную проекцию.

Система КОМПАС-3D позволяет расположить параллельно экрану какую-либо грань модели, либо построенную пользователем вспомогательную плоскость. Для этого надо щелчком мыши указать эту грань или вспомогательную плоскость, а затем указать из списка строку *Нормально к...*, как показано на рисунке 9б.

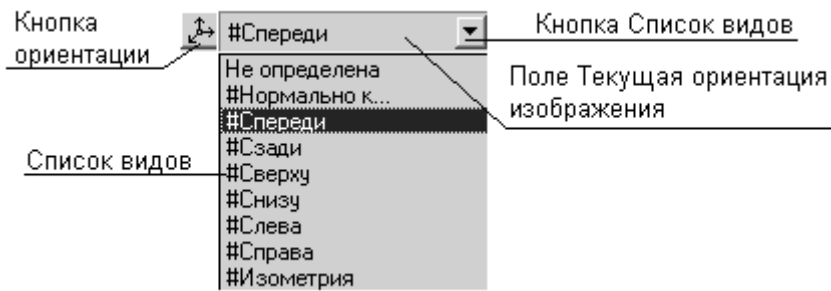


Рис. 96. Расположение параллельно экрану выбранной пользователем поверхности или плоскости.

Создание объёмной модели.

Для создания твёрдотельной модели применяется перемещение или вращение плоских контуров. Плоский контур, в результате перемещения которого образуется объёмное тело – модель, является проекцией основания модели или её элемента на плоскости проекций, либо на грань модели. Перемещение контура принято называть операцией. Операции имеют дополнительные возможности, позволяющие изменять параметры построения, а следовательно и самой модели. В контур можно скопировать изображение из ранее созданного чертежа или фрагмента.


Создание объёмной модели начинается с построения плоского контура, на одной из стандартных плоскостей проекций.

Система КОМПАС-3D определяет ряд требований к построению контура:

- контур всегда отображается стилем линии **Основная**;
- контуры, составляющие чертёж основания модели не должны пересекаться и не должны иметь общих точек;
- если контуров несколько, то один из них должен быть наружным, а другие – вложенными в него;
- допускается только один уровень вложенности контуров.

Задание: изучить работу программы КОМПАС-3D в режиме построения объёмной модели на примере выполнения задания по начертательной геометрии. Построить модель призмы с отверстиями в виде усечённого конуса и сквозной фронтально проецирующей призмы, изображенной на рисунке 97.

Порядок выполнения работы.

Для открытия документа необходимо нажать кнопку **Новая деталь**  или выполнить команду **Файл – Создать – Деталь**.

В главном окне КОМПАС-3D появится окно документа с деревом построения и названием новой детали (модели) – **Деталь**. Целесообразно изменить название, на более соответствующее разрабатываемому документу. Для этого надо выделить название, щёлкнув не нем правой кнопкой мыши. В появившемся меню выбрать команду **Свойства детали** и записать в открывшемся диалоговом окне новое название детали – **Призма**, нажать клавишу **ОК**.

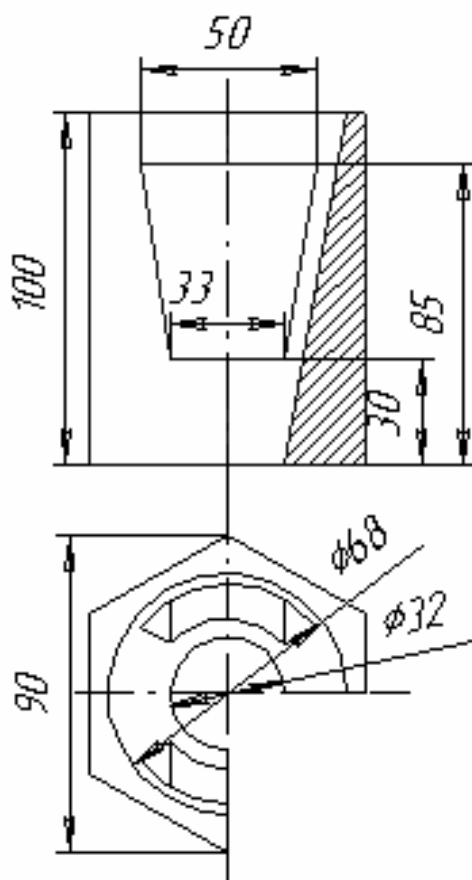



Рис. 97. Модель призмы

Построение модели начинается с построения контура основания. Активизируем щелчком мыши горизонтальную плоскость проекций и расположим её параллельно плоскости экрана, щёлкнув последовательно в поле **Текущая ориентация изображения** и в **Списке видов** на строке **Нормально к...**

Нажать кнопку  **Новый эскиз**, система перейдёт в режим построения и редактирования контура основания. При этом меняется набор кнопок на Панели управления и на Инструментальной панели, а также состав Строки текущего состояния и Строки меню, принимающих вид, соответствующий работе в режиме

плоского моделирования, как показано на рисунке 98.

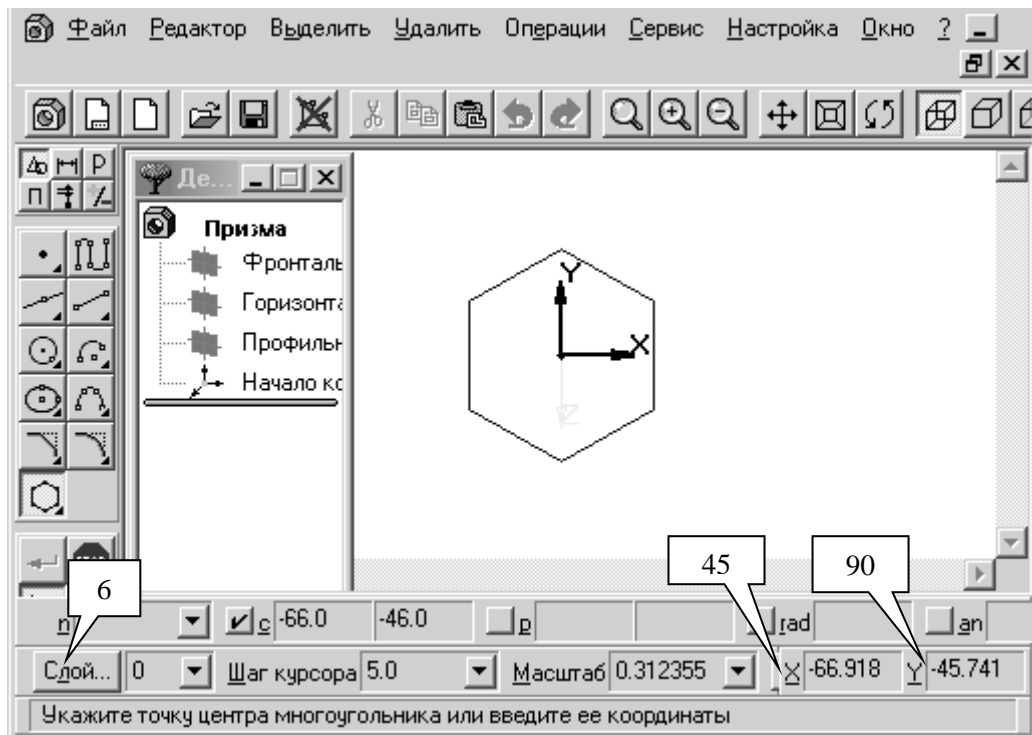





Рис. 98. Режим плоского моделирования.

Нажать кнопку  Ввод многоугольника и проставить в Полях ввода: значение сторон многоугольника - 6, радиус описанной окружности - 45, угол наклона первой вершины - 90. Проверить после ввода центра многоугольника окружность, по которой он строится, щёлкнув правой кнопкой мыши и, если необходимо, снять “галочку” в строке *По вписанной окружности*.

Зафиксировать окончание построения контура основания нажатием кнопки *Закончить редактирование*, после чего система переходит в режим построения модели по построенному основанию. Панель инструментов меняет свой вид, на ней активной является только одна кнопка *Операция выдавливания*  с расширенной панелью команд.

Нажать кнопку *Операция выдавливания*  на *Инструментальной панели*, в появившемся диалоговом окне задать расстояние 100мм и нажать кнопку создать, как показано на рисунке 99.

Установить режим отображения *Полутеневой*, нажав кнопку , и задать ориентацию *Изометрия*.

В результате выполнения команд создаётся призма с заданными размерами, изображенная на рисунке 100.

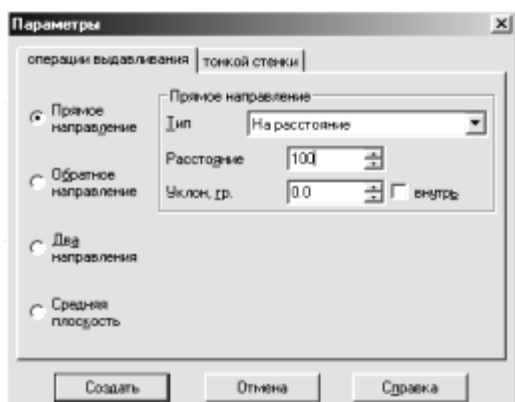


Рис. 99. Параметры выдавливания

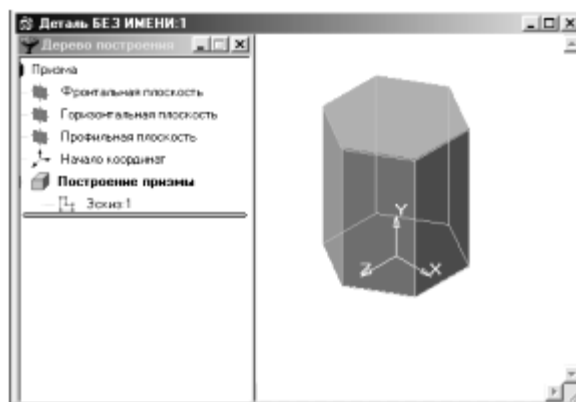


Рис. 100. Призма.

При выполнении дальнейших действий может оказаться целесообразным отобразить в окне все графические элементы модели, для чего следует воспользоваться командой **Показать всё**, нажав её кнопку

Следующий этап построения модели – создание в ней отверстия в виде усечённого конуса.


Укажем верхнюю плоскость призмы для построения нового контура, щёлкнув на ней мышью, после чего зададим ей ориентацию **Нормально к...**, и нажмём кнопку **Новый эскиз** . Система перешла в режим плоского моделирования.

Для задания параметров конуса, объём которого в дальнейшем будет вычитаться из призмы, построим в новой плоскости окружность с радиусом 34мм и нажмём кнопку **Закончить редактирование**. Страница Инструментальной панели Геометрические построения заменилась на страницу **Построение модели**, основные кнопки которой показаны на рисунке 101.



Рис. 101. Инструментальная панель.

Система вновь перешла в режим построения модели.


В диалоговом окне, появляющемся после нажатия на кнопку **Вырезать выдавливанием** , установить параметры операции: *прямое направление, через всё, уклон внутрь* 10.17, после чего нажать клавишу **Создать**.

Следующий шаг в создании модели – выполнение сквозного отверстия в виде фронтально проецирующей призмы. Для этого надо выбрать новую плоскость для построения в ней нового контура, выполнить команду **Вырезать выдавливанием**, установить параметры новой операции.

Активизируем фронтальную плоскость проекций, щёлкнув на ней мышью, как показано на рисунке 102.



Рис. 102. Выбор фронтальной плоскости.

Изменим ориентацию фронтальной плоскости, установив её **Нормально к...** и откроем **Новый эскиз**, нажав кнопку .

Во фронтальной плоскости проекций построим контур фронтально проецирующей призмы, используя для этой цели вспомогательные линии панели **Геометрии Инструментальной панели**, как показано на рисунке 103.

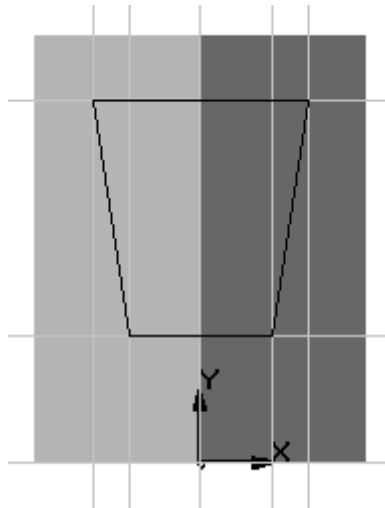


Рис. 103. Построение контура фронтальной проецирующей призмы.

Закончив построение очередного контура выполнением команд **Закончить редактирование** и **Вырезать выдавливанием**, установить в диалоговом окне параметры операции вырезания сквозного отверстия: **два направления** выдавливания от фронтальной плоскости проекций и в обоих – **через всё**, после чего нажать клавишу **Создать**.

На рисунке 104 представлены изометрическое изображение модели и дерево её построения.

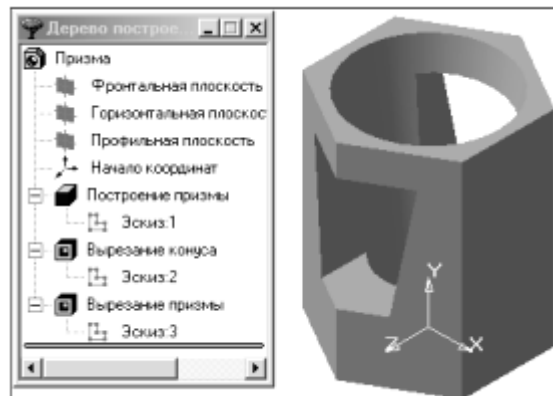


Рис. 104. Изометрическое изображение модели и дерево её построения

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- обзор компонентов персонального компьютера;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ПЭВМ, его назначение, состав.
2. Перечислите основные составляющие ПЭВМ.

Список рекомендуемой литературы

1. Кидрук М.И. КОМПАС-3D V10 на 100 %. – Питер, 2009. – 560 с.
2. Белицкая Н.В., Гетьман А.Г., Шепель В.П., Злобина В.С “Автоматизация разработки конструкторской документации в системе КОМПАС-3D V10”. Учебное пособие для студентов всех форм обучения и студентов-иностранцев теплоэнергетического факультета.. – К.: НТУУ ”КПИ”, 2011. – 165 с.
3. Твёрдотельное моделирование в системе «КОМПАС 3D» Методические указания к выполнению лабораторных работ по компьютерной графике (для студентов 1 курса дневной формы обучения бакалавров по направлениям 0921 «Строительство», 0922 «Электромеханика», 0906 «Электротехника», 1004 «Транспортные технологии», 0708 «Экология»). Сост. Лусь В.И., Швыдкий С.Н. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 20 с.
4. Мокрецова, Л.О. Программное обеспечение начертательной геометрии и инженерной графики. Система твёрдотельного моделирования КОМПАС-3D: Учеб.-метод. пособие для самостоятельной работы / Л.О. Мокрецова, В.В. Свирин, И.В. Дохновская; Под ред. Л.О. Мокрецовой. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 58 с.
5. Самсонов В.В. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас 3D : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Самсонов, Г.А. Красильникова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 224 с. ISBN 978-5-7695-6206-8
6. Головкина, В.Б. Применение системы трёхмерного геометрического моделирования КОМПАС-3D для решения задач по начертательной геометрии: Учеб.-метод. пособие / В.Б. Головкина, О.Н. Чиченева, В.В. Свирин, И.В. Дохновская; Под ред. Л.О. Мокрецовой. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 91 с.