

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Учебное текстовое электронное издание  
локального распространения

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Омского государственного технического университета*

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2019

---

Сведения об издании: [1](#), [2](#)

© ОмГТУ, 2019  
ISBN 978-5-8149-2925-9

УДК 004.9  
ББК 30.2-5-05  
Ф48

Авторы:

*A. M. Ласица, В. Г. Чуринкин, Р. Л. Артюх, О. Ю. Бургонова, В. В. Деркач*

Рецензенты:

*C. B. Петроченко*, к.т.н., доцент, доцент каф. «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ОмГУПС;

*B. P. Эдигаров*, к.т.н., доцент, полковник,  
начальник 4 кафедры Омского филиала Военной академии МТО  
им. генерала армии А. В. Хрулёва

**Физические основы технологических расчетов с применением информационных технологий** [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [А. М. Ласица и др.] ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Электрон. текст. дан. (8,83 Мб). – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 1 электрон. опт. диск. – Минимальные системные требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше; оперативная память 256 Мб и более; свободное место на жестком диске 260 Мб и более; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10; разрешение экрана 1024×768 и выше; акустическая система не требуется; дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – ISBN 978-5-8149-2925-9.

Пособие посвящено применению информационных технологий для выполнения технологических расчетов в различных областях современного производства. В основе подхода лежит создание 3D-моделей в современных CAD-системах с последующим анализом их эксплуатационных свойств. Проиллюстрирован переход от уровня физических законов на уровень конструирования различных объектов при проектировании в CAD-системах. В большинстве случаев показано, как поставленные задачи могут быть решены с помощью программного комплекса САПР SolidWorks, содержатся также примеры использования других программных средств («Компас-3D», Salome-Meca). Приведены задания по трехмерному моделированию основных деталей, применяемых в современном производстве.

Пособие может быть использовано при подготовке студентов технических направлений бакалавриата и магистратуры дневной, очно-заочной и заочной форм обучения.

Редактор *K. B. Муковоз*  
Компьютерная верстка *Л. Ю. Бутаковой*

*Для дизайна этикетки использованы материалы  
из открытых интернет-источников*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение дисциплины «Информационные технологии в машиностроении» способствует развитию у студентов ряда компетенций, необходимых в их дальнейшей профессиональной деятельности. С одной стороны, дисциплина дает конкретные навыки использования специализированного конструкторского программного обеспечения, а с другой стороны, дисциплина связывает в единое целое сведения из таких дисциплин, как «Материаловедение», «Сопротивление материалов», «Теоретическая механика», «Начертательная геометрия», «Теория механизмов и машин» и формирует общий и профессиональный кругозор будущих инженеров.

Само понятие «информационные технологии» находится в состоянии постоянного изменения и расширения. Первоначально, в момент введения дисциплины в курс подготовки студентов технических вузов, подразумевалось, что формирование базовых навыков происходило с использованием вычислительной техники для проведения расчетов, прямо или косвенно связанных с деятельностью инженера-конструктора. В этот момент вычислительная техника использовалась как инженерный калькулятор с большим объемом памяти и высокой скоростью расчетов. Стремительное развитие компьютерных систем на уровне аппаратной части (увеличение объема памяти и скорости работы), на уровне программного обеспечения (появление новых языков программирования, систем моделирования и симуляции процессов и т. д.), а также появление новых направлений применения вычислительной техники привело к тому, что термин «информационные технологии» наполняется конкретным содержанием в зависимости от профиля подготовки студента.

Для студентов, специализирующихся в области производственной логистики, будет более полезно знакомство с принципами работы систем искусственного интеллекта, систем обработки больших объемов данных и наиболее распространенными сетевыми протоколами. Для студентов, специализирующихся в области металлообработки, предпочтительнее изучение систем автоматизированной разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Для специализирующихся в материаловедении студентов полезно изучение пакетов программ, подобных ANSYS, Materials Studio и других, позволяющих моделировать поведение различных классов материалов.

Специализированные пакеты математических программ в большей мере используют инженеры-исследователи, а не инженеры, занимающиеся раз-

работкой и эксплуатацией оборудования. Кроме проприетарного программного обеспечения, такого как Matlab, Maple, Mathematica, на рынке существуют и свободные аналоги, среди которых хочется отметить GNU Octave (аналог Matlab), Maxima (система символьной математики, аналог Maple), Scilab (система имитационного моделирования, по функционалу близка к Simulink). Обычно свободные пакеты уступают в части удобства интерфейса работы с пользователем, но их функционал часто соизмерим, а иногда и пре-восходит функционал платных программ. Учитывая высокую стоимость лицензионных версий, для малых предприятий использование свободного программного обеспечения может стать приемлемым экономическим решением.

За последнее десятилетие в области математического программного обеспечения произошли качественные изменения: изначально ориентированные на решение задач математики как аналитическими, так и численными методами в настоящее время пакеты значительно расширили свой функционал и позволяют решать многие инженерные задачи. В качестве примера можно привести Matlab, который благодаря модулю Simulink позволяет проводить расчеты электрических схем, механических, гидравлических и пневматических систем, обрабатывать потоки видеоданных и решать другие прикладные задачи. Тем не менее основное применение таких пакетов связано с использованием встроенных в них обширных библиотек математических функций. На этапе предварительных исследований, когда идет сбор и анализ экспериментальных данных, проработка альтернативных технологических решений, наличие таких библиотек становится необходимым требованием.

Авторы пособия считают, что с базовыми принципами использования информационных технологий в производстве должны быть ознакомлены все обучающиеся независимо от специализации.

# 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Процесс переноса тепла в материале описывается уравнением теплопроводности, которое в общем случае имеет вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = f(\vec{r}, t), \quad (1)$$

где  $u$  – температура, зависящая от координат и времени;  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности;  $f(\vec{r}, t)$  – функция тепловых источников.

Коэффициент температуропроводности  $\alpha$  может быть выражен через другие константы, описывающие физические свойства материала:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $c_p$  – изобарная удельная теплоемкость;  $\rho$  – плотность материала.

Решение уравнения теплопроводности требует дополнительного определения геометрии границ исследуемой области, задания температур и потоков на границе, определения тепловых источников. В общем случае решение системы аналитическими методами невозможно и используется численное решение. В самом простом случае теплоизолированной одномерной системы уравнение имеет вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0. \quad (3)$$

В этом случае возможно аналитическое решение задачи, однако на практике часто также используют компьютерные методы расчета.

Аналитические решения существуют для количества теплоты, получаемого материалом при теплообмене с граничными условиями первого рода (постоянная температура на одной из границ), и плотности теплового потока. Соответствующие выражения имеют следующий вид:

$$Q = \frac{2\sqrt{\lambda C_V}}{\sqrt{\pi}} (\theta_c - \theta_0) F \sqrt{\tau}; \quad (4)$$

$$|q(0, \tau)| = \sqrt{\lambda C_V} \frac{\theta_c - \theta_0}{\sqrt{\pi \tau}}, \quad (5)$$

где  $Q$  – полученое количество теплоты;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $C_V = c_p \cdot \rho$  – объемная теплоемкость;  $\theta_0$  – начальная температура материала;  $\theta_c$  – постоянная температура на границе;  $F$  – площадь сечения;  $q$  – плотность теплового потока.

В большинстве случаев компьютерное решение является комбинацией аналитического решения (расчет по формуле, когда это возможно) и численного, основанного на использовании различных алгоритмов, позволяющих получить значение необходимой величины за конечное число операций. В качестве примера сделаем в Matlab расчет времени плавления  $t_{\text{пл}}$  титанового образца и построим график зависимости плотности теплового потока от времени. Для времени, равного  $0.5t_{\text{пл}}$ , сделаем расчет распределения температуры в образце, а также построим графики зависимости скорости нагревания от времени в трех сечениях – на расстояниях  $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$  длины образца.

В качестве геометрической модели используем цилиндр длиной  $L = 0.5$  м и диаметром  $D = 10$  см. Начальную температуру примем равной  $T_0 = 293$  К. Моделирование будем осуществлять в рамках одномерной модели с применением явной конечно-разностной схемы. Для обеспечения устойчивости решения выбор шага по временной оси будем осуществлять с учетом критерия Куранта. Потерями тепла через все поверхности пренебрегаем (модель теплоизолированной системы). Программный код приведен ниже:

```

clc;
close all;
clear all;
Lambda=16; % лямбда-коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м*K)
Cv=532000; % Cv=Cp*ρo- объемная теплоемкость
ρo=4540.6; % ρo-плотность ρ, кг/м3
Cp=Cv/ρo; % Удельная теплоемкость при постоянном давлении
Alpha=6.31*10^(-6); % Альфа-коэффициент температуропроводности, м2/с
%Alpha=Lambda/(Cp*ρo) % Альфа-коэффициент температуропроводности на
%основе связи
LambdaPl=358*10^(3); % ЛПЛ-температура плавления L, Дж/кг
TetaC=2500; % Тема с-температура нагрева стержня θc, K
Teta0=293; % Тема 0-начальная температура среды θ0, K
L=0.5; % L-длина стержня, X, м
D=0.1; % D-диаметр стержня D, м
B=0; % B-ширина стержня, м

```

```

H=0;           % H-высота H, м
F=3.14*D^2+B*H;    % F-Площадь сечения стержня
% Расчет объема материала/Для цилиндрических стержней зануляется толщина и
% ширина, для прямоугольных зануляется диаметр
Volume=3.14*D^2*L/4+B*H*L;
Q1=Volume*po*LamdaPl;
% Определяем функцию расчета времени плавления. Функция представляет собой
% разность временной зависимости и теплоты плавления всего материала Q1
MyFunQtime=@(time) 2*(Lambda*Cv/3.14)^(0.5)*(TetaC-Teta0)*F*time.^0.5-Q1;
%Ищем НУЛЬ получившейся функции
melting_time=fsolve(MyFunQtime,1)
FullTimeMelting=1.05*melting_time;           % FullTimeMelting-время до плавления
с небольшим запасом для построения графиков
Nt=1000;           % Nt -число разбиений временного интервала
% Определение количества теплоты, необходимого для плавления металла Q1-Теплота
Q1, Дж
% Расчет количества теплоты, подведенной за определенное время
Q1=Volume*po*LamdaPl;
time=0:(FullTimeMelting/Nt):FullTimeMelting;
Qtime=2*(Lambda*Cv/3.14)^(0.5)*(TetaC-Teta0)*F*time.^0.5;
Dimension=size(time);
Q1matrix=ones(1,Dimension(2))*Q1;
%Расчет тепловых потоков
q=2*(Lambda*Cv/3.14)^(0.5)*(TetaC-Teta0)./time.^0.5;
% Построение первых двух графиков
figure(1)
hold on
grid on
plot(time,Qtime,'LineStyle','-', 'LineWidth',4)
plot(time,Q1matrix,'LineStyle','.-', 'LineWidth',4)
xlabel('Время, с')
ylabel('Количество теплоты, Дж')
title('Зависимость количества теплоты от времени')
legend ("Полученная теплота", "Теплота, необходимая для плавления")
figure(2)
hold on
grid on
plot(time,q,'LineStyle','-', 'LineWidth',4)
xlabel('Время, с')
ylabel('Плотность теплового потока, Вт/м2')
title('Зависимость плотности теплового потока от времени')
legend ("q-Плотность теплового потока")
% Расчет температурных полей
T_full=0.5*melting_time;           % T_full-время воздействия (общее время нагрева), τ, с

```

```

%Задание параметров сетки для расчета
N_lengtht=100;           % N-число участков, на которые разбивается стержень
%Расчет шага по времени и числа разбиений по времени исходя из критерия
%Куранта ( $C=2*Alpha*\tau/(h^2)<1$ )
Step_h=L/N_lengtht;       % Шаг пространственной сетки
Tau_max=Step_h^2/(2*Alpha);    % Максимально возможный шаг по времени
Nt=round(T_full/Tau_max*10);   % Nt-Число шагов по времени, вычисленное с
десятикратным запасом
%Nt=1000      % Nt -число разбиений временного
%интервала при фиксированном значении
Tau=T_full/Nt;           % Шаг по времени
%Двойной цикл расчета по явной конечно-разностной схеме для постоянной
%ТЕМПЕРАТУРЫ
Temperature_Matrix1=ones(N_lengtht+1,2)*Teta0;
Temp_Time_Dependence1=ones(Nt,4);
Curent_time=0;
for k=1:(Nt)    %Временной цикл
    Temp_Time_Dependence1(k,1)=(k-1)*Tau; % В первый столбец матрицы пишется время
    Temperature_Matrix1(1,2)=TetaC; %Задана постоянная температура
    for i=2:(N_lengtht)    %Пространственный цикл
        Temperature_Matrix1(i,2)=(1-
2*Alpha*Tau/Step_h^2)*Temperature_Matrix1(i,1)+(Alpha*Tau/Step_h^2)*(Temperature_Matrix1(i-
1,1)+Temperature_Matrix1(i+1,1));
        switch i      % Временные срезы температур в сечениях 1.4, 1.2, 3.4 длины стержня
            case round(N_lengtht/4)
                Temp_Time_Dependence1(k,2)=Temperature_Matrix1(i,2);
            case round(N_lengtht/2)
                Temp_Time_Dependence1(k,3)=Temperature_Matrix1(i,2);
            case round(N_lengtht*3/4)
                Temp_Time_Dependence1(k,4)=Temperature_Matrix1(i,2);
            otherwise
        end
    end
    Temperature_Matrix1(N_lengtht+1,2)=Temperature_Matrix1(N_lengtht,2); % Температура
последней точки принимается равной температуре предпоследней
    Temperature_Matrix1(:,1)=Temperature_Matrix1(:,2); %Передача данных для следующего
временного шага
    Curent_time=Curent_time+Tau;           %Счетчик времени
end
%Вывод графика зависимости конечной температуры от координаты
lengtht=0:Step_h:(L);
figure(3)
grid on;
hold on;

```

```

plot(length,Temperature_Matrix1(:,2),'LineStyle','-','LineWidth',4)
xlabel('Координата, м')
ylabel('Температура , °K')
title('Распределение температуры в образце')
%Вывод графика изменения температуры от времени
figure(4)
grid on;
hold on;
plot(Temp_Time_Dependence1(:,1),Temp_Time_Dependence1(:,2),'LineStyle','-','LineWidth',4)
plot(Temp_Time_Dependence1(:,1),Temp_Time_Dependence1(:,3),'LineStyle','-','LineWidth',4)
plot(Temp_Time_Dependence1(:,1),Temp_Time_Dependence1(:,4),'LineStyle','-','LineWidth',4)
xlabel('Время, с')
ylabel('Температура в сечении, °K')
title('Зависимость температуры от времени в сечении стержня')
legend ("L/4", "L/2", "3L/4")

```

Выполнение программы приведет к расчету времени плавления  $t_{\text{пл}} = 781.7105$  с. На рис. 1 и 2 представлены соответственно графики зависимости теплоты и плотности теплового потока от времени.

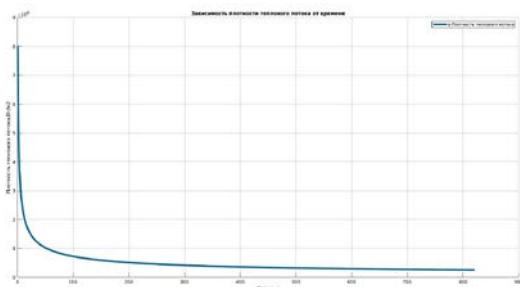


Рис. 1

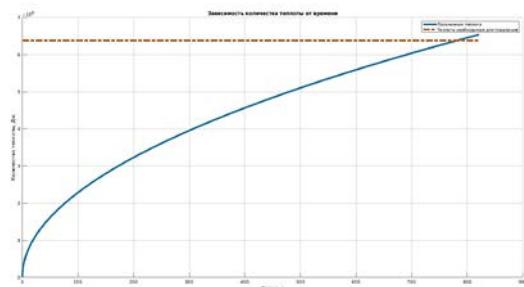


Рис. 2

Приведенные графики находятся в согласии между собой. Видно, что максимальное значение плотность потока имеет в начальный момент времени, а затем монотонно убывает. Такой вид зависимости соответствует теории, так как с течением времени уменьшается градиент температур, что приводит к убыванию плотности теплового потока и уменьшению скорости подвода теплоты.

Данные о распределении температуры в образце и временных зависимостях температуры в сечениях стержня за время, равное  $0.5t_{\text{пл}}$ , приведены на рис. 3 и 4.

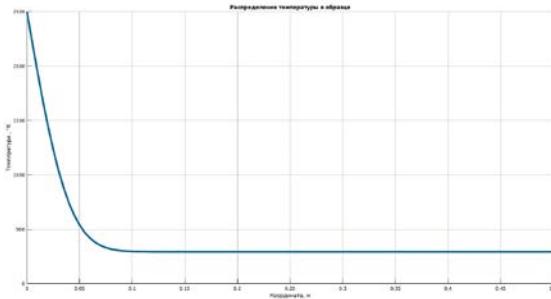


Рис. 3

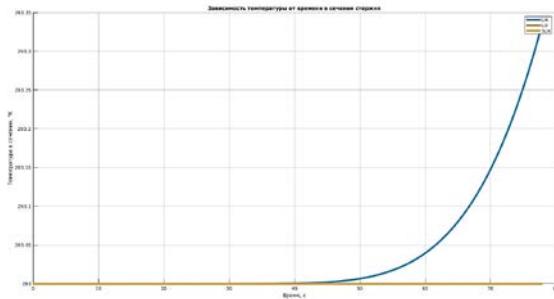


Рис. 4

Видно, что за указанный интервал не происходит полного прогрева образца: на расстоянии больше четверти длины стержня температура равна начальной. Данные подтверждаются временными зависимостями. На расстояниях  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  длины образца температура слабо изменяется за указанный интервал времени, различия между графиками не значительны по отношению к графику, соответствующему  $\frac{1}{4}$  длины образца. Результаты показывают, что значительное изменение температурного поля происходит за промежутки времени, соизмеримые со временем, необходимым для плавления, что нужно учитывать при назначении режимов термообработки.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В АЭРОГЕЛЯХ

Аэрогели (от лат. aer – воздух и gelatus – замороженный) – класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкую фазу полностью замещена газообразной. По своей структуре аэрогели образуют древовидную структуру из наночастиц и/или нанонитей с высокой степенью пористости. Размер пор составляет обычно единицы или десятки нанометров. Общий относительный объем пор в аэрогеле может доходить до 99 % объема материала. Высокая пористость и химический состав обуславливают ряд отличительных физико-механических свойств аэрогелей, среди которых:

- низкая плотность,
- низкая теплопроводность,
- высокая удельная теплоемкость.

Можно сказать, что производство аэрогелей является одним из самых востребованных и широко применяемых технологических нанопроцессов. В настоящее время промышленно производятся изделия из аэрогелей на основе аморфного диоксида кремния, глинозёмов, а также оксидов хрома и олова. Активно ведется разработка и внедрение аэрогелей на основе углерода. Основная сфера применения аэрогелей – теплоизоляционные материалы, применяемые как для защиты от высоких, так и для защиты от сверхнизких температур. В табл. 1 приведены физические характеристики наиболее широко применяемых в промышленности аэрогелей (сохранены оригинальные названия производителей).

Таблица 1

№	Производитель	Продукт	Тепло- проводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	Плот- ность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Минималь- ная темпера- тура исполь- зования, °C	Максималь- ная темпера- тура исполь- зования, °C
1	Aspen aerogels	Cryogel	0.0135	130	-200	40
2	Aspen aerogels	Spaceloft	0.0125–0.135	170	-200	200
3	Aspen aerogels	Pyrogel	0.0125–0.0135	120–170	-200	650
4	Separex	Separex1	0.005–0.02	100	–	–
5	Separex	Separex2	0.0015–0.0085	209	–	–
6	Separex	Separex3	0.00175–0.012	260	–	–

Окончание табл. I

№	Производитель	Продукт	Тепло- проводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	Плот- ность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Минималь- ная темпера- тура исполь- зования, °C	Максималь- ная темпера- тура исполь- зования, °C
7	Marke Tech International Inc.	MTI1	0.004	100	–	–
8	Marke Tech International Inc.	MTI2	0.016	10–300	–	–
9	Airglass	Airglass 1	0.021	50–200	–	–
10	Airglass	Airglass 2	0.2	50–200	–	–
11	NanoPore	HP-150	0.0034–0.020	15–16	–273	150
12	NanoPore	HT-170	0.0038–0.021	16.5–17	–273	600

Процесс теплопереноса в аэрогелях описывается уравнением теплопроводности (1), однако из-за существенных отличий его решения для аэрогелей имеют другой вид.

Промоделируем для аэрогеля NanoPore HP-150 процесс теплопереноса при постоянной температуре на одной из границ и постоянном тепловом потоке на одной из границ. Для расчета примем значение изобарной удельной теплоемкости  $c_p = 2000$  Дж/(кг·К), мощность источника  $P = 500$  Вт, начальную температуру  $T_0 = 293$  К. В качестве геометрической модели используем параллелепипед длиной  $L = 1$  см, шириной и высотой  $B = H = 10$  см. Для расчетов используется одномерная модель. Построим графики зависимости распределения температуры по длине образца, а также графики зависимости скорости нагревания от времени в трех сечениях – на расстояниях  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  длины образца. Код программы в среде Matlab приведен ниже:

```
% Инициализация
clear all;
clc;
close all;
%Исходные данные
Lambda=0.0117          % лямбда-коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м*K)
Cp=2000                 % С-Удельная теплоемкость
rho=15.5                % ρ-плотность ρ, кг/м3
Alpha=Lambda/(Cp*rho)    % Коэффициент температуропроводности
LamdaPl=358*10^(3)       % ЛПЛ-теплота плавления L, Дж/кг
TetaC=25                 % Тема с-температура нагрева стержня θс, K
```

```

Teta0=293          % Тета 0-начальная температура среды  $\theta_0$ , К
T_full=100         %  $T_{full}$ -время воздействия (общее время нагрева),  $\tau$ , с
Power=500          % Power-мощность нагревателя, Вт
L=0.01             % L-длина стержня,  $X$ , м
D=0.0              % D-диаметр стержня  $D$ , м
B=0.1              % B-ширина стержня, м
H=0.1              % H-высота  $H$ , м
%Задание параметров сетки для расчета
N_length=100        % N-число участков, на которые разбивается стержень
%Расчет шага по времени и числа разбиений по времени исходя из критерия
%Куранта ( $C=2*Alpha*\tau/(h^2)<1$ )
Step_h=L/N_length    % Шаг пространственной сетки
Tau_max=Step_h^2/(2*Alpha)  % Максимально возможный шаг по времени
Nt=round(T_full/Tau_max*10)   % Nt-Число шагов по времени, вычисленное с
десятикратным запасом
%Nt=1000            % Nt -число разбиений временного
%интервала при фиксированном значении
Tau=T_full/Nt        % Шаг по времени
% Расчет объема и площади материала/Для цилиндрических стержней зануляется
толщина и
% ширина, для прямоугольных зануляется диаметр
F=3.14*D^2+B*H      % F-Площадь сечения стержня
Volume=3.14*D^2*L/4+B*H*L
%Расчет граничного условия Неймана. На основании мощности нагревателя и
%геометрических размеров вычисляется скорость приращения температуры в
%поверхностном слое
Heat_flow=Power*Tau/(Cp*po*F*Step_h+Lambda*F*Tau/Step_h)    %Поток с учетом
потока за пределы первой ячейки
%Heat_flow=Power*Tau/(Cp*po*F*Step_h)           %Поток
%поглощается в первой ячейке
%Создание матрицы, число строк которой равно числу точек по пространственной
координате,
%а число столбцов равно ДВУМ. Полную матрицу создать невозможно из-за потреб-
ления оперативной памяти.
%B первом столбце содержится температура в текущий момент, во второй
%столбец заносится рассчитанная температура на следующем шаге. После этого
%второй столбец перемещается на место первого и процедура повторяется.
%Код составил Ласица А.М., каф. технологии машиностроения
%Начальная температура предполагается равной температуре
%окружающей среды. Первый индекс пространственный, второй временной.
Temperature_Matrix=ones(N_length+1,2)*Teta0;
Temp_Time_Dependence=ones(Nt,4);

```

```

Curent_time=0;
%Dвойной цикл расчета по явной конечно-разностной схеме для постоянного
%ПОТОКА
for k=1:(Nt)      %Временной цикл
    Temp_Time_Dependence(k,1)=(k-1)*Tau;  % В первый столбец матрицы пишется время
    Temperature_Matrix(1,2)=Temperature_Matrix(1,1)+Heat_flow*Tau;  %Рассчитано новое
значение температуры начальной точки на основе потока
    for i=2:(N_lenght)  %Пространственный цикл
        Temperature_Matrix(i,2)=(1-
2*Alpha*Tau/Step_h^2)*Temperature_Matrix(i,1)+(Alpha*Tau/Step_h^2)*(Temperature_Matrix(i-
1,1)+Temperature_Matrix(i+1,1));
        switch i      % Временные срезы температур в сечениях 1.4, 1.2, 3.4 длины стержня
        case round(N_lenght/4)
            Temp_Time_Dependence(k,2)=Temperature_Matrix(i,2);
        case round(N_lenght/2)
            Temp_Time_Dependence(k,3)=Temperature_Matrix(i,2);
        case round(N_lenght*3/4)
            Temp_Time_Dependence(k,4)=Temperature_Matrix(i,2);
        otherwise
        end
    end
    Temperature_Matrix(N_lenght+1,2)=Temperature_Matrix(N_lenght,2);  % Температура
последней точки принимается равной температуре предпоследней
    Temperature_Matrix(:,1)=Temperature_Matrix(:,2);  %Передача данных для следующего
временного шага
    Curent_time=Curent_time+Tau;          %Счетчик времени
end
%Расчет усредненной температуры по нагреванию всего объема
Midle_T=Teta0+Power*T_full/(Volume*po*Cp)
%Вывод графика зависимости конечной температуры от координаты
lenght=0:Step_h:(L);
figure()
grid on;
hold on;
plot(lenght,Temperature_Matrix(:,2),'LineStyle','-','LineWidth',4)
xlabel('Координата, м')
ylabel('Температура , °K')
title('Распределение температуры в образце')
%Вывод графика изменения температуры от времени
figure()
grid on;

```

```

hold on;
plot(Temp_Time_Dependence(:,1),Temp_Time_Dependence(:,2),'LineStyle','-' , 'LineWidth',4)
plot(Temp_Time_Dependence(:,1),Temp_Time_Dependence(:,3),'LineStyle','-' , 'LineWidth',4)
plot(Temp_Time_Dependence(:,1),Temp_Time_Dependence(:,4),'LineStyle','-' , 'LineWidth',4)
xlabel('Время, с')
ylabel('Температура в сечении, °K')
title('Зависимость температуры от времени в сечении стержня')
legend (L/4,"L/2,"3L/4")
%Dвойной цикл расчета по явной конечно-разностной схеме для постоянной
%ТЕМПЕРАТУРЫ
Temperature_Matrix1=ones(N_lenght+1,2)*Teta0;
Temp_Time_Dependence1=ones(Nt,4);
Curent_time=0;
for k=1:(Nt)      %Временной цикл
    Temp_Time_Dependence1(k,1)=(k-1)*Tau;    % В первый столбец матрицы пишется
время
    Temperature_Matrix1(1,2)=TetaC; %Задана постоянная температура
    for i=2:(N_lenght)    %Пространственный цикл
        Temperature_Matrix1(i,2)=(1-
2*Alpha*Tau/Step_h^2)*Temperature_Matrix1(i,1)+(Alpha*Tau/Step_h^2)*(Temperature_Matrix1(i-
1,1)+Temperature_Matrix1(i+1,1));
        switch i      % Временные срезы температур в сечениях 1.4, 1.2, 3.4 длины стержня
            case round(N_lenght/4)
                Temp_Time_Dependence1(k,2)=Temperature_Matrix1(i,2);
            case round(N_lenght/2)
                Temp_Time_Dependence1(k,3)=Temperature_Matrix1(i,2);
            case round(N_lenght*3/4)
                Temp_Time_Dependence1(k,4)=Temperature_Matrix1(i,2);
            otherwise
        end
    end
    Temperature_Matrix1(N_lenght+1,2)=Temperature_Matrix1(N_lenght,2); % Температура
последней точки принимается равной температуре предпоследней
    Temperature_Matrix1(:,1)=Temperature_Matrix1(:,2);  %Передача данных для следую-
щего временного шага
    Curent_time=Curent_time+Tau;          %Счетчик времени
end
%Вывод графика зависимости конечной температуры от координаты
%lenght=0:Step_h:(L);
figure()
grid on;
hold on;

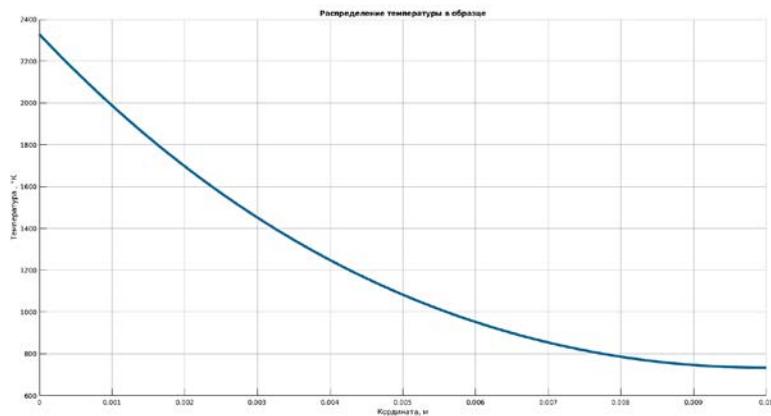
```

```

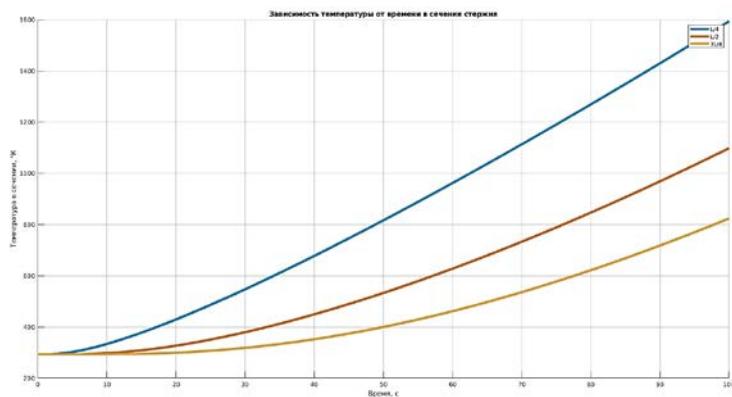
plot(lenght,Temperature_Matrix1(:,2),'LineStyle','-','LineWidth',4)
xlabel('Координата, м')
ylabel('Температура , °K')
title('Распределение температуры в образце')
%Выход графика изменения температуры от времени
figure()
grid on;
hold on;
plot(Temp_Time_Dependence1(:,1),Temp_Time_Dependence1(:,2),'LineStyle','-','LineWidth',4)
plot(Temp_Time_Dependence1(:,1),Temp_Time_Dependence1(:,3),'LineStyle','-','LineWidth',4)
plot(Temp_Time_Dependence1(:,1),Temp_Time_Dependence1(:,4),'LineStyle','-','LineWidth',4)
xlabel('Время, с')
ylabel('Температура в сечении, °K')
title('Зависимость температуры от времени в сечении стержня')
legend ('L/4,"L/2,"3L/4'

```

Результаты моделирования для постоянного теплового потока приведены на рис. 5 и 6.



*Рис. 5*



*Рис. 6*

Из рисунков видно, что в случае действия теплового потока аэрогель способен эффективно снижать его распространение в глубину материала. Скорость нарастания температуры значительно снижается по мере удаления аэрогеля от источника теплового потока.

Результаты моделирования для постоянной температуры стенки приведены на рис. 7 и 8.

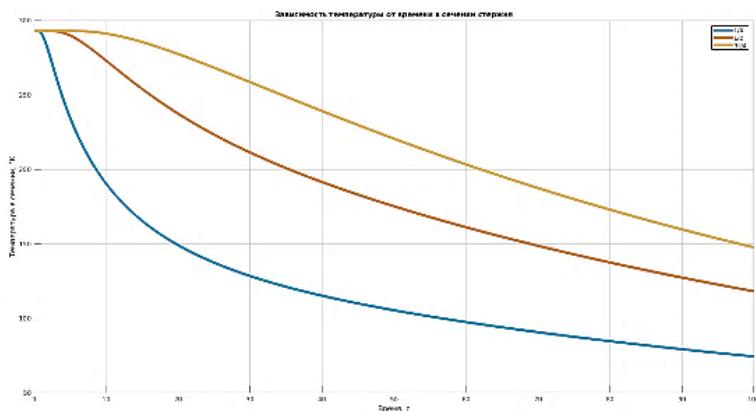


Рис. 7

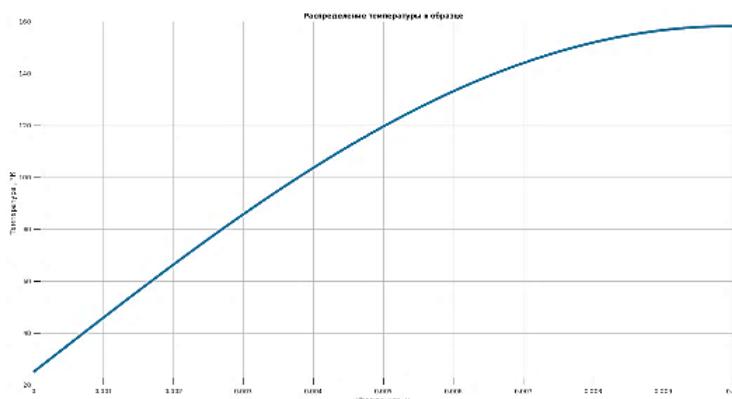


Рис. 8

Данные по моделированию при фиксированной температуре передней стенки хорошо коррелируют с данными предыдущего расчета. Изменение температуры в глубине объема аэрогеля идет со значительной задержкой по сравнению с изменением на передней грани.

### 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БИОДЕСТРУКЦИИ

Биодеструкцией называют совокупность разрушающих материал химических и физических процессов, вызванных действием организмов. Биодеструкции подвержено большинство материалов и химических соединений, в том числе кирпич, металл, природный камень, древесина, штукатурка, бетон, известь и другие материалы. Некоторые виды бактерий, адсорбируясь на поверхности твердых тел, способны разрушать стекла. Роль биодеструкции может быть как отрицательной – разрушение объектов экономики, так и положительной – например, естественное самоочищение природной среды.

Математическое описание процесса биодеструкции в общем случае чрезвычайно сложно, так как требует анализа химических и биологических процессов в каждом конкретном случае. Кроме того, на скорость биодеструкции значительное влияние оказывает большое число вспомогательных факторов, таких как влажность, освещенность, температурный режим, наличие сторонних микроорганизмов и др. Анализ их влияния требует построения многопараметрических моделей и большого объема экспериментальных данных, получение которых не всегда возможно. Поэтому для количественного анализа процесса биодеструкции часто используют упрощенную модель, основанную на экспоненциальной зависимости массы от времени:

$$m = m_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t),$$

где  $m$ ,  $m_0$  – конечная и начальная массы вещества;  $\alpha$  – коэффициент, определяющий скорость биодеструкции. Для определения коэффициента  $\alpha$  имеющиеся данные обрабатываются статистическими методами с целью обеспечения наилучшего соответствия между теоретической зависимостью и экспериментом.

В табл. 2 и 3 приведены данные о биодеструкции субстрата листьев тополя бальзамического (опад) (*Populus balzamifera L.*) двумя штаммами грибов рода *Trichoderma*: *T. Aspirellum* (M99-9) и *T. Aspirellum* (K6-15). Используя эти данные, проведем моделирование процесса биодеструкции, определим для каждого из веществ коэффициент  $\alpha$  и рассчитаем ожидаемые массы веществ через три месяца биодеструкции.

В рамках моделирования создадим статистическое распределение на основе экспоненциального закона. Определение свободных коэффициентов

в распределении будем вести на основе метода наибольшего правдоподобия с помощью встроенной функции fit. В качестве начального приближения массы и коэффициента  $\alpha$  зададим значение [1,1].

*Таблица 2*

Компонент		Содержание, % а.с.о.		
		7 сут.	14 сут.	18 сут.
1	Лигниновые вещества	18.6	17.3	17.8
2	Гуминовые вещества	20.5	16.6	13.4
3	Вещества, экстрагируемые этиловым спиртом	4.4	3.5	3.1
4	Минеральные вещества	9.0	8.9	8.4
5	Сумма полисахаридов	20.7	14.3	26.9

*Таблица 3*

Компонент		Содержание, % а.с.о.		
		7 сут.	14 сут.	18 сут.
1	Лигниновые вещества	16.7	16.0	19.0
2	Гуминовые вещества	17.4	16.2	16.1
3	Вещества, экстрагируемые горячей водой	23.6	25.0	21.1
4	Минеральные вещества	9.1	9.0	8.8
5	Трудногидролизуемые полисахариды	13.9	13.6	13.3

Программный код приведен ниже:

```
%Очистка пространства переменных и рабочего окна
clear all;
clc;
close all;
% Экспериментальные данные по биодеструкции
time=[7,14,18];
komponent1=[18.6,17.3,17.6];
komponent2=[20.5,16.6,13.4];
% Создание собственного распределения с экспоненциальным убыванием
Raspad=fittype('M0*exp(-A*t)', 'independent','t');
% Определение начальных параметров для дальнейшего численного определения
```

```

startPoints=[1,1];
%Определение параметров каждого распределения на основе метода максимального
правдоподобия
komponent1_Raspad=fit(time', komponent1',Raspad,'Start', startPoints)
komponent1_Raspad(90)
komponent2_Raspad=fit(time', komponent2',Raspad,'Start', startPoints)
komponent2_Raspad(90)
%Определение трехмесячного интервала
LongTime=0:0.1:90;
% Расчет и вывод результатов в виде графика
figure(1)
grid on
hold on
plot(time, komponent1, 'LineStyle', 'none', 'Marker', '+','MarkerSize',15,'LineWidth',4);
plot (LongTime, komponent1_Raspad(LongTime), 'LineStyle', '-', 'LineWidth',4);
xlabel('Время, сутки');
ylabel('Содержание, %');
title('Биодеструкция компонента 1')
grid on;
figure(2)
grid on
hold on
plot(time, komponent2, 'LineStyle', 'none', 'Marker', '+','MarkerSize',15,'LineWidth',4);
plot (LongTime, komponent2_Raspad(LongTime), 'LineStyle', '-', 'LineWidth',4);
xlabel('Время, сутки');
ylabel('Содержание, %');
title('Биодеструкция компонента 2')
grid on;

```

Результаты расчётов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование	$\alpha$ , 1/сут	Содержание, % а.с.о., через 90 дней
Компонент 1 (деструкция штаммом М99-9)	0.005736	11.4618
Компонент 2 (деструкция штаммом К6-15)	0.03648	1.0006

Графики временной зависимости приведены на рис. 9 и 10.

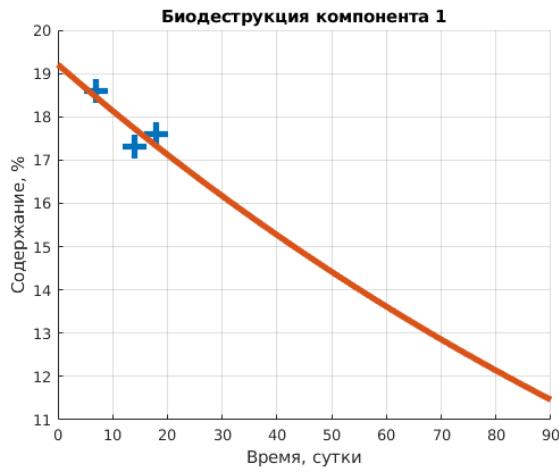


Рис. 9

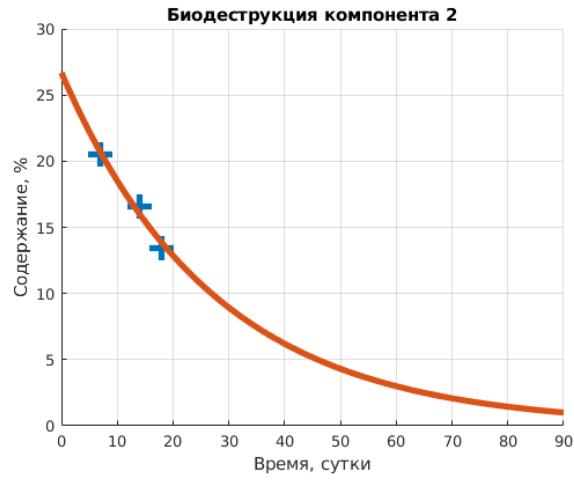


Рис. 10

Графики временных зависимостей также содержат экспериментальные точки, использовавшиеся для определения коэффициента  $\alpha$ . Из расчетов видно, что биодеструкция второго компонента идет быстрее, чем первого.

## **4. ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

В силу экономических требований разработчики систем автоматизации инженерной деятельности должны создавать программы, сочетающие в себе едва ли не противоположные требования: с одной стороны, программное обеспечение должно корректно выполнять требования узкой специализации, с другой стороны, оно должно быть способно взаимодействовать с программным обеспечением других производителей и поддерживать работу всех основных функций, используемых в производственном процессе. Последнее приводит к тому, что не существует возможности создать единую классификацию средств автоматизации инженерной деятельности, поэтому используют несколько взаимно пересекающихся классификаций.

По целевому назначению средства автоматизации делятся:

- на средства собственно проектирования CAD (Computer Aided Design);
- средства инженерного анализа CAE (Computer Aided Engineering);
- средства подготовки автоматизированного производства CAM (Computer Aided Manufacturing);
- средства планирования технологических процессов CAPP (Computer Aided Process Planning);
- средства управления документооборотом PDM (Product Document Management);
- геоинформационные системы GIS (Geo Informatics Systems).

Классификация CAD-решений по отраслевому назначению:

- машиностроительные CAD – MCAD (Mechanical Computer Aided Design);
- САПР электронных устройств, EDA (Electronic Design Automation);
- архитектурно-строительные САПР, AEC (Architecture Engineering and Construction).

Выделяют CAE-системы:

- прочностных расчетов (в основном средствами МКЭ-метода конечных элементов);
- тепловых расчетов;
- вычислительной гидроаэродинамики (CFD, Computational Fluid Dynamics);

- кинематического анализа;
- механической симуляции (MES, Mechanical Event Simulation);
- симуляции процессов литья и обработки давлением;
- электромагнитных и электродинамических расчетов;
- оптимизирующие.

В зависимости от обстоятельств и текущей задачи САПР также классифицируют по другим признакам:

1) разновидности и сложности объектов проектирования:

- САПР низкосложных объектов (количество составных частей до 100);
- САПР среднесложных объектов (100–10 000);
- САПР высокосложных объектов (более 10 000);

2) уровню автоматизации:

- низкоавтоматизированные (до 25 % проектных процедур автоматизировано);

- среднеавтоматизированные (25–50 %);
- высокоавтоматизированные (50–75 %);

3) уровню комплексности:

- одноэтапные (один этап проектирования);
- многоэтапные (несколько этапов);
- комплексные (весь процесс создания изделия);

4) характеру и числу выпускаемых проектом документов:

- САПР низкой производительности (100–10 000 проектных документов в пересчете на формат А4 за год);
- САПР средней производительности (10 000–100 000);
- САПР высокой производительности (100 000 и выше).

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными.

## 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О CAD-СИСТЕМАХ. ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Несмотря на то, что в наше время существует достаточно большое количество как коммерческих, так и свободных CAD-систем, в основе их работы много общих функций. С точки зрения пользователя это выражается, например, в близких по функционалу и внешнему виду интерфейсах.

В качестве примера ниже приведены рабочие окна трех CAD-систем: «Компас-3D» (производитель – российская компания «Аскон») (рис. 11), SolidWorks (разработчик Dassault Systèmes) (рис. 12) и SALOME – открытая интегрируемая платформа для численного моделирования (разработчик OPEN CASCADE SAS) (рис. 13).

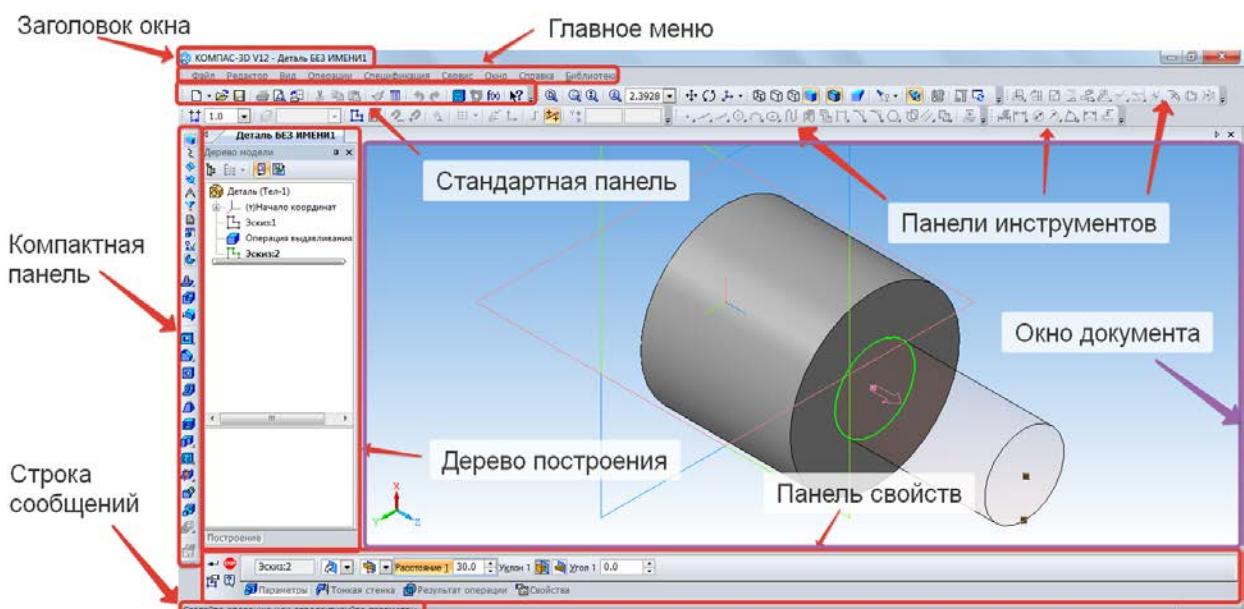


Рис. 11

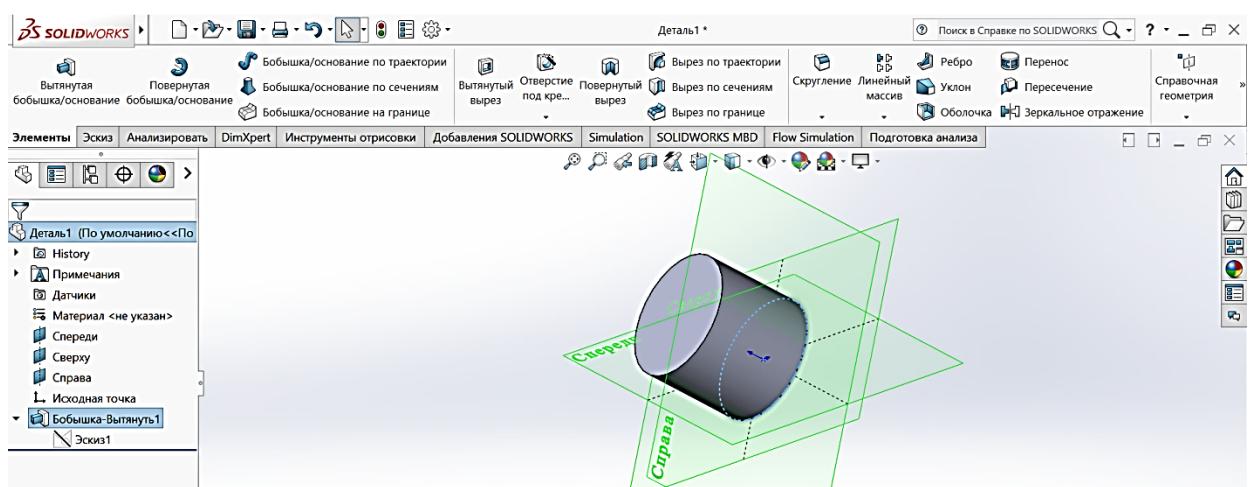


Рис. 12

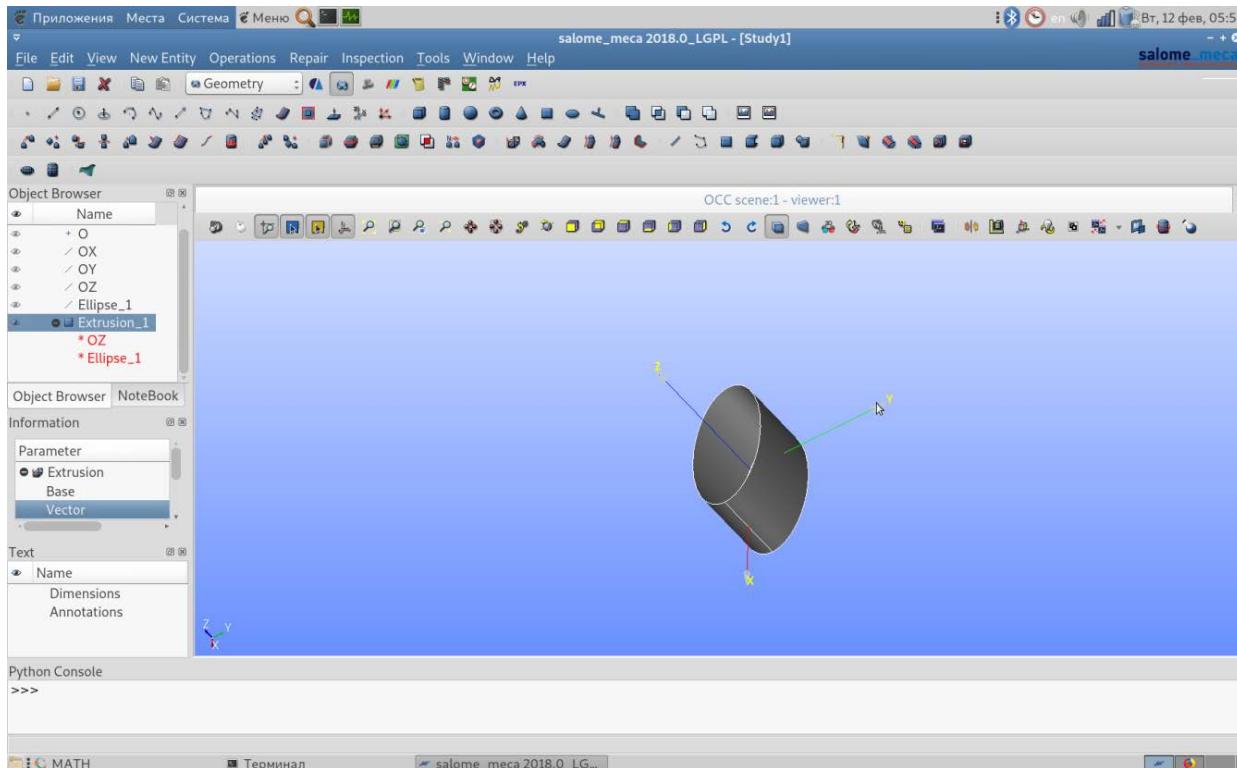


Рис. 13

К числу основных элементов интерфейса можно отнести:

- 1) главное меню;
- 2) рабочую область;
- 3) панели инструментов;
- 4) дерево построения.

В интерфейсе могут присутствовать и иные элементы, предусмотренные разработчиками, но обычно их назначение интуитивно понятно. Кроме того, все современные CAD- и CAE-системы обычно имеют подробную документацию – либо интегрированную в систему, либо доступную онлайн.

## 5.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ

Перед началом работы имеет смысл выполнить предварительную настройку программного обеспечения, под которой в данном случае подразумевается не столько настройка внешнего вида, сколько настройка функционала рабочей среды. Наиболее полно это можно продемонстрировать на примере программного пакета SolidWorks.

При запуске программы появляется область главного меню, позволяющая выполнить настройку системы. При нажатии на кнопку «Добавления» (рис. 14–16) будет активирован диалог, отвечающий за управление доступными модулями SolidWorks.

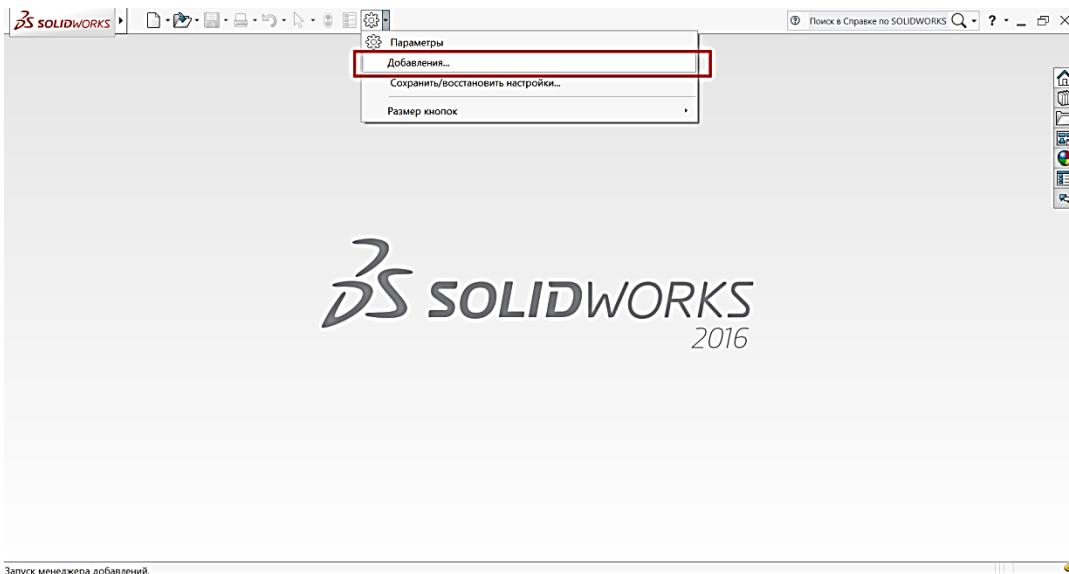


Рис. 14

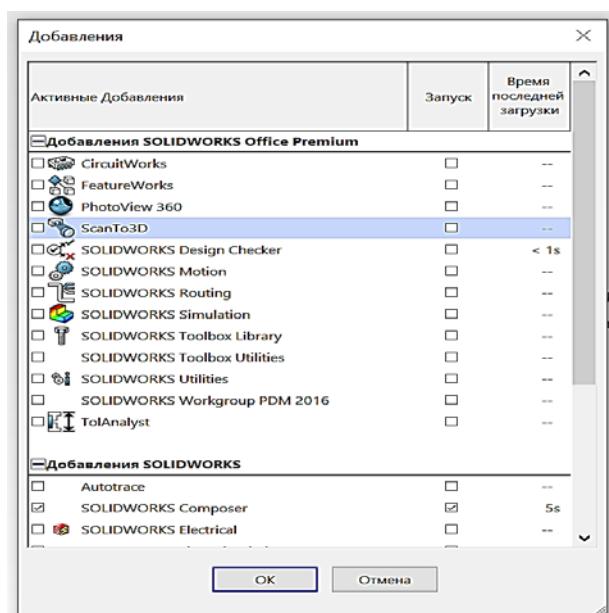


Рис. 15

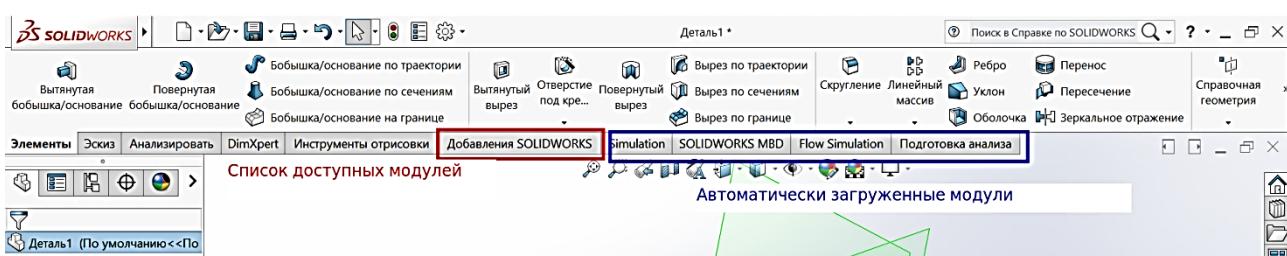


Рис. 16

Выбор кнопки «Параметры» позволяет провести дополнительные настройки, например глагол степень визуализации деталей.

Число доступных модулей определяется приобретенной лицензией. При добавлении модуля предоставляемый им функционал становится доступным в главном окне программы. Модули, отмеченные для «Запуска», будут автоматически подгружаться в момент запуска программы, что, с одной стороны, экономит время, необходимое для их вызова, с другой стороны, потребляет ресурсы памяти, процессора и занимает часть области построения. Поэтому к автоматической загрузке модулей нужно относиться с осторожностью, понимая все недостатки и достоинства такого решения.

## 5.2. Создание 3D-моделей в CAD-системах

Основным конструкторским документом является чертеж детали, содержащий всю необходимую для построения детали информацию. Графическое представление о формах поверхностей дают виды чертежа, построение которых можно осуществлять двумя способами:

- 1) построение чертежа вычерчиванием отдельных элементов – линий, размеров, штриховок и т. д.;
- 2) автоматизированное построение чертежей (чертежа) по заданной вначале твердотельной модели детали – «ассоциативный чертеж».

Второй способ в настоящее время является самым перспективным, так как на основе имеющихся 3D-моделей возможно проведение инженерных расчетов, позволяющих оценить эксплуатационные свойства изделия и минимизировать расходы на его производство. Некоторые CAD-системы изначально ориентированы на работу с твердотельными моделями и не подразумевают создание чертежей.

Для создания моделей используется модуль твердотельного моделирования «Компас-3D», для входа в который служит кнопка «Деталь» окна «Новый документ» (рис. 17).

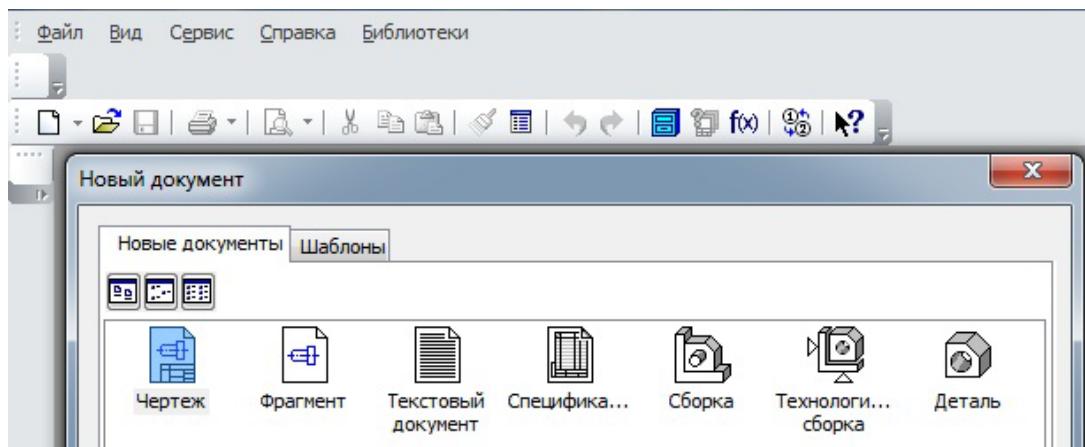


Рис. 17

Главное окно системы твердотельного моделирования представлено на рис. 18, на котором расположены основные элементы управления.

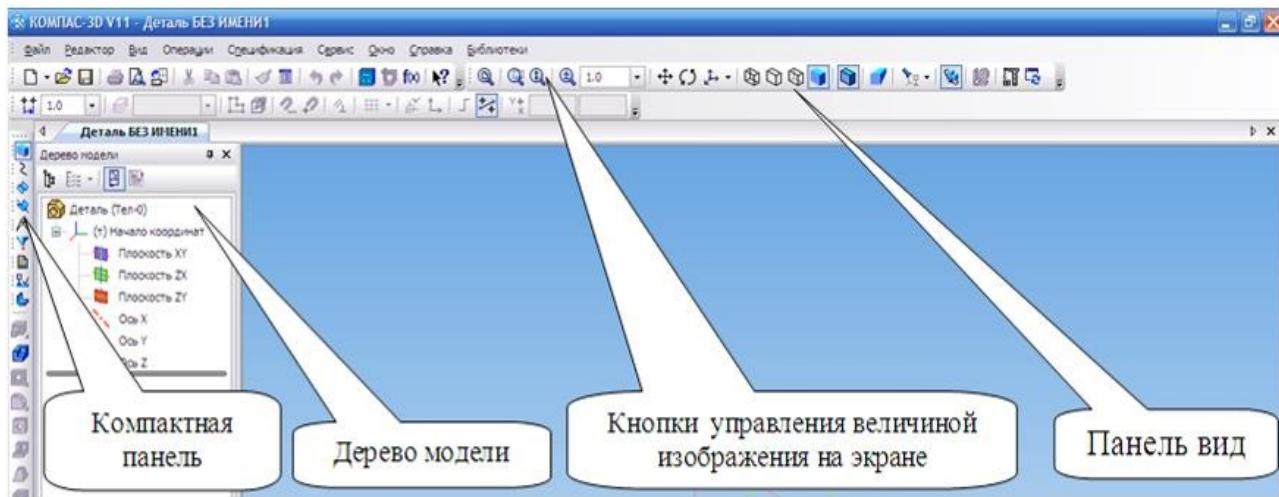


Рис. 18

Компактная панель (рис. 19) содержит кнопки переключения для вызова инструментальных панелей.

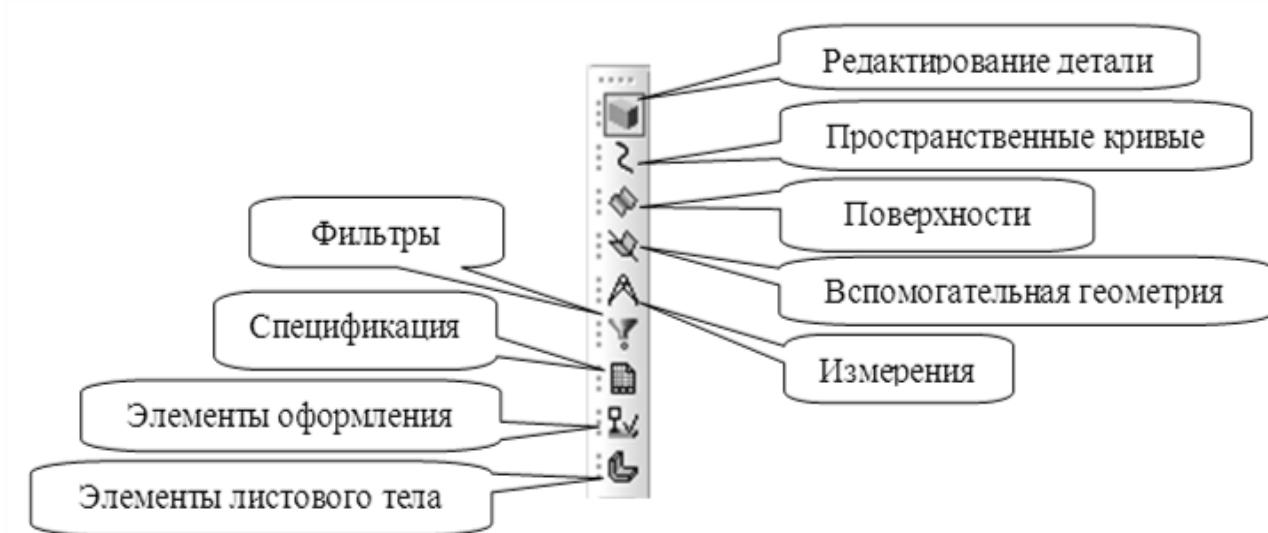


Рис. 19

При работе с любой деталью на экране, кроме окна, в котором отображается модель, показывается окно (рис. 20), содержащее «Дерево построения» детали.

«Дерево построения» показывает последовательность создания модели. В нем в порядке создания отображаются все использованные объекты (обозначение начала координат, плоскости, оси, эскизы, операции).



Рис. 20

Для редактирования (исправления) построенных эскизов, выполненных операцией, служит контекстное меню, вызываемое щелчком правой кнопки мыши на редактируемом поле.

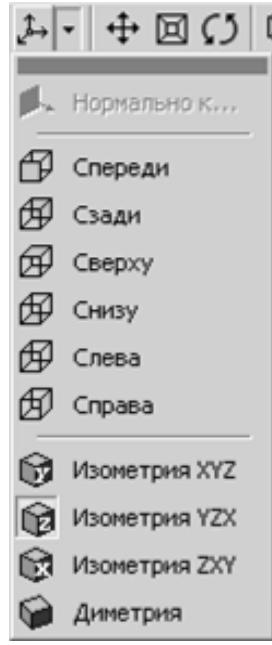
На панели «Вид» (рис. 21) расположены кнопки, управляющие типами отображения модели:

- Каркас,
- Без невидимых линий,
- С тонкими невидимыми линиями,
- Полутоновое,
- Полутоновое с каркасом,
- Перспектива,
- Скрыть все объекты.



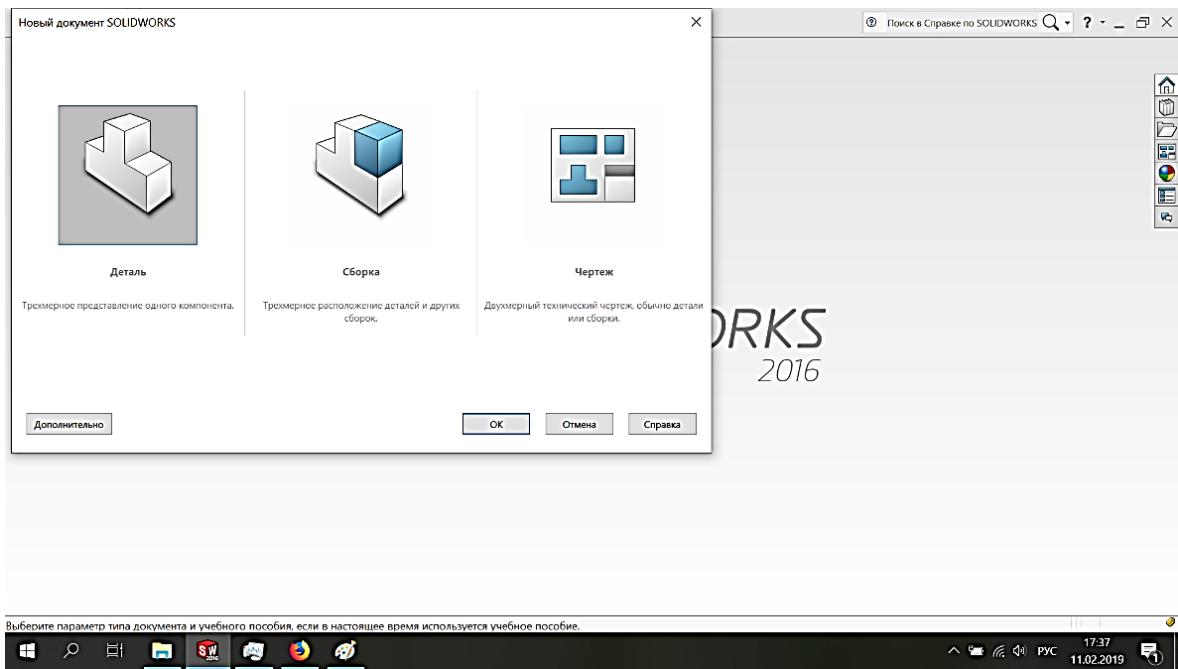
Рис. 21

Положение модели выбирается с помощью кнопки «Ориентация» на панели «Вид» (рис. 22).



*Рис. 22*

Фактически аналогичный вид и инструментарий для создания моделей предоставляет SolidWorks. Первоначально выбирается тип создаваемого документа – «Деталь», «Сборка» или «Чертеж» (рис. 23).



*Рис. 23*

При нажатии кнопки «Дополнительно» возможен выбор других шаблонов для создаваемых документов (рис. 24). При желании пользователь может создавать свои шаблоны.

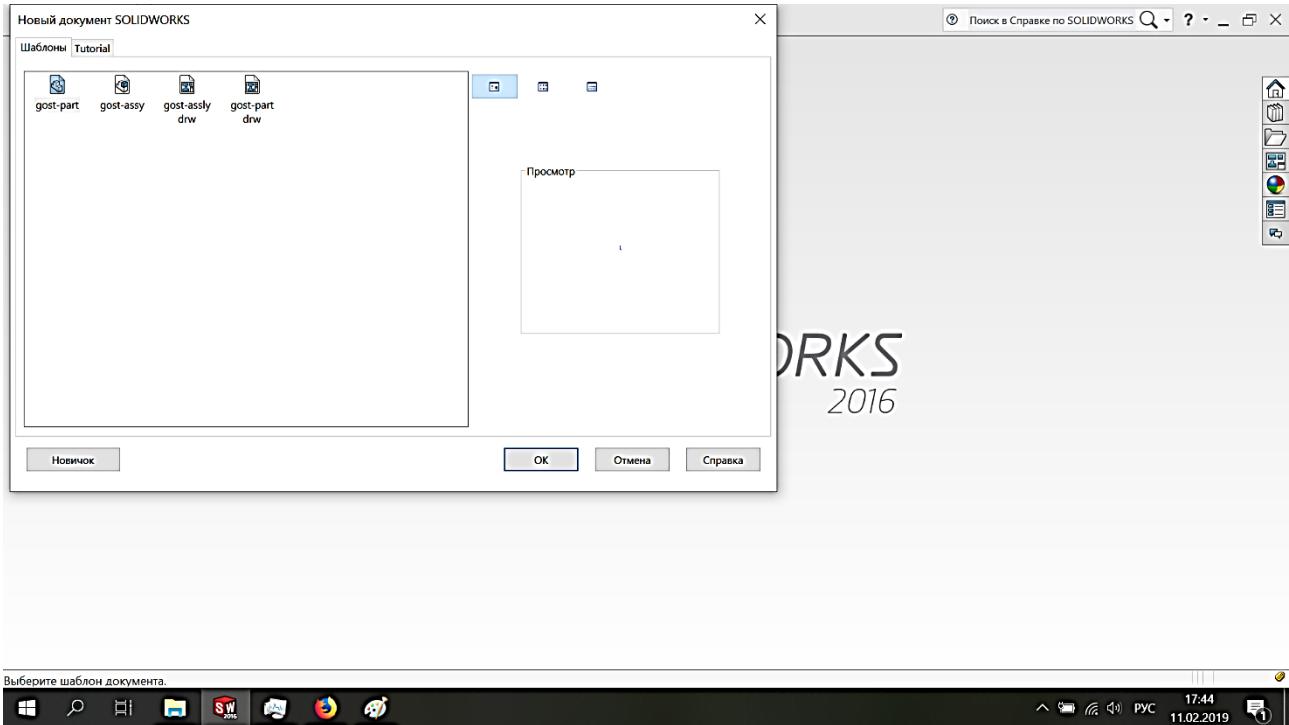


Рис. 24

При создании детали будет видно рабочее окно программы (рис. 25).

На данном этапе проектирования для создания модели может быть использована любая CAD-система. Предоставляемые ими возможности одинаковы, выбор в основном зависит от личных предпочтений. Кроме того, предоставляемые средства импорта документов позволяют фактически сохранять их во множестве совместимых форматов.

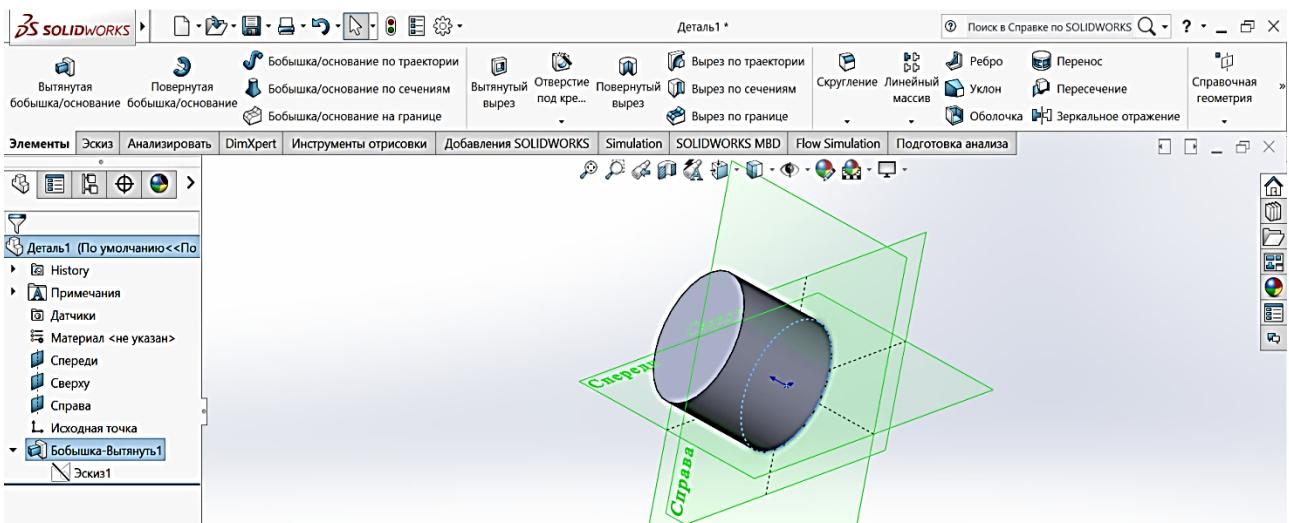


Рис. 25

### 5.3. Инструменты создания эскизов

В большинстве современных CAD-систем первоначально создается эскиз, на основе которого впоследствии выполняются объемные операции. Под эскизом в данном случае подразумевается некоторый набор объектов (точки, линии, фигуры), расположенных в одной плоскости. Последнее не является строго обязательным, например в модуле геометрии Salome-Meca построение изначально ведется в трехмерном виде (рис. 26). Такой подход дает больше возможностей для моделирования, но уступает в удобстве и скорости построения.

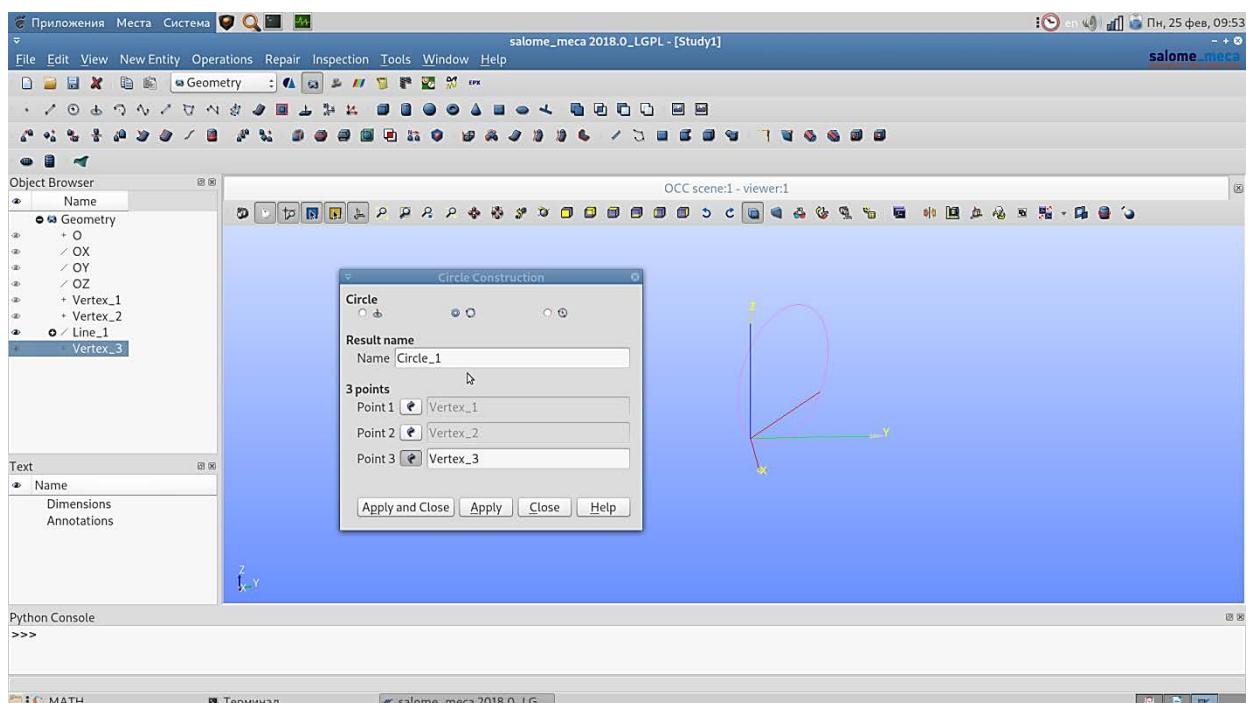


Рис. 26

На основной рабочей панели SolidWorks находится отдельная вкладка «Эскиз» (рис. 27), предоставляющая инструментарий для создания и редактирования эскизов.

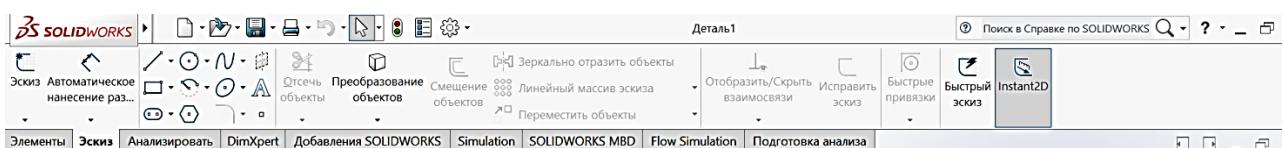


Рис. 27

По умолчанию создается плоский эскиз, однако возможно и создание трехмерных эскизов (рис. 28).

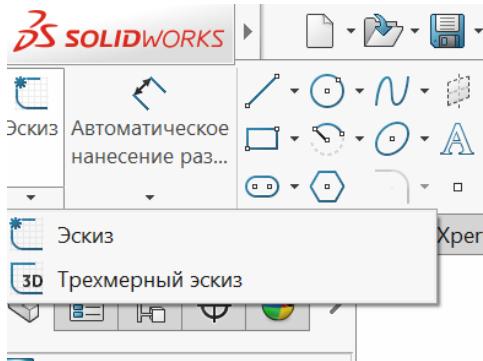


Рис. 28

При создании эскиза необходимо указать плоскость, в которой он будет расположен. Первоначально для создания доступны три базовые плоскости («Спереди», «Сверху», «Справа») (рис. 29), впоследствии в качестве плоскостей для создания эскизов можно выбирать грани уже созданных объектов, либо можно создавать плоскости с помощью инструмента «Вспомогательная геометрия».

Выбор плоскостей осуществляется из дерева построения или с помощью выделения мышью на уже созданном объекте. Нужный вид можно создать с помощью комбинаций клавиш:

**Ctrl + 1, Ctrl + 2 – фронтальное расположение плоскости «Спереди»,**

**Ctrl + 3, Ctrl + 4 – фронтальное расположение плоскости «Сверху»,**

**Ctrl + 5, Ctrl + 6 – фронтальное расположение плоскости «Справа»,**

**Ctrl + 7 – вид «Изометрия»,**

**Ctrl + 8 – фронтальное расположение выделенной плоскости.**

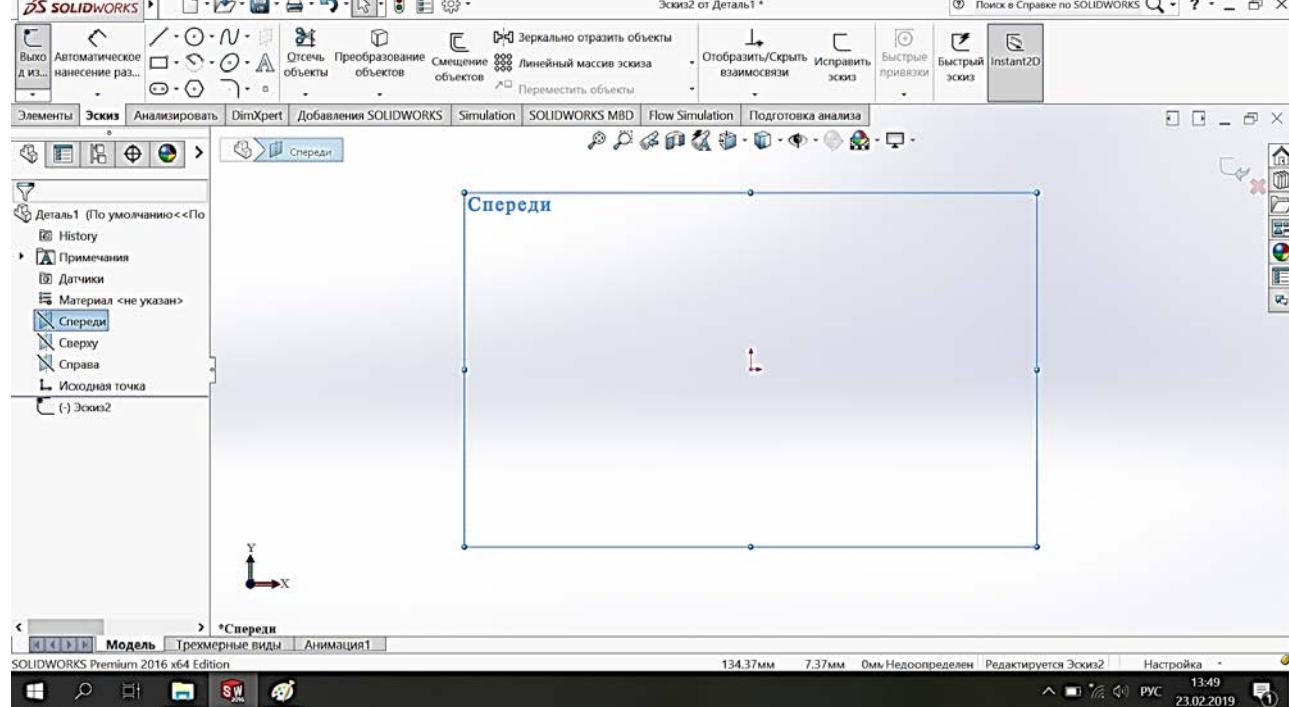


Рис. 29

После выбора плоскости становятся активными остальные элементы вкладки «Эскиз» основной рабочей панели SolidWorks. Рассмотрим предоставляемые ею возможности.

Инструмент «Линия» (рис. 30) позволяет создать линию по двум точкам, по средней точке (нужно будет указать длину) или создать осевую линию. Осевая линия является частью вспомогательной геометрии и необходима для проведения операций, связанных с вращением. В процессе создания как линий, так и других геометрических объектов SolidWorks предлагает создать связи объекта с уже созданными (горизонтальность, вертикальность, пересечение, средняя точка и др.). Посмотреть на имеющиеся у объекта связи или создать новые можно с помощью инструмента «Отобразить/Скрыть взаимосвязи».

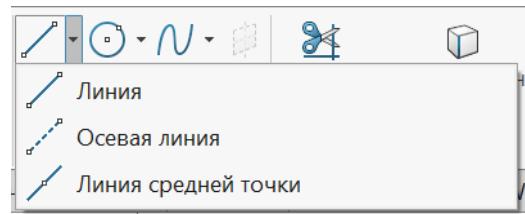


Рис. 30

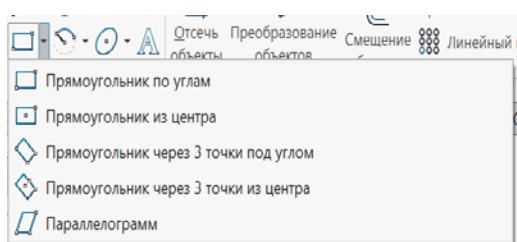


Рис. 31

Инструмент «Прямоугольник» (рис. 31) дает возможность создания несколькими способами правильных четырехугольников. Предусмотрено создание по углам, по центру и диагонали, по трем точкам под углом, трем точкам включая центр, создание параллелограмма.

После создания объекта рекомендуется задать его размеры. В противном случае объект не будет полностью определенным в смысле однозначности его положения в пространстве. Размер указывается с помощью инструмента «Автоматическое нанесение размеров» (рис. 32). В качестве примера рассмотрим создание прямоугольника из цента. При первоначальном создании изображающие его линии имеют синий цвет (объект не определен). При указании вертикального размера горизонтальные линии выделяются черным цветом (их положение в пространстве полностью определено) (рис. 33).

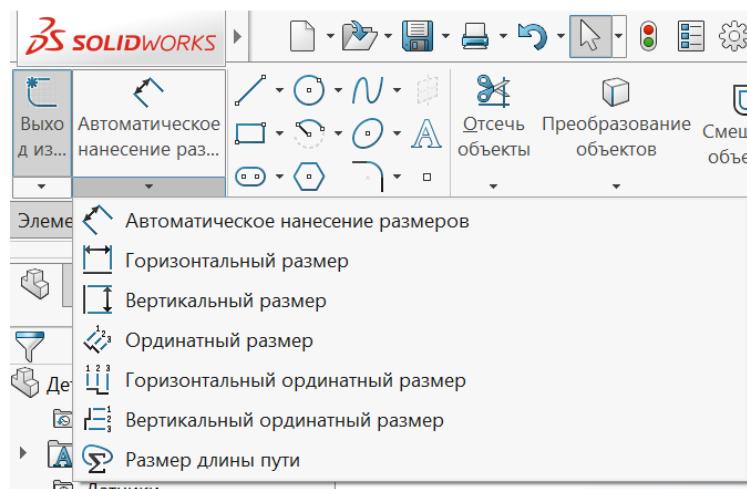


Рис. 32

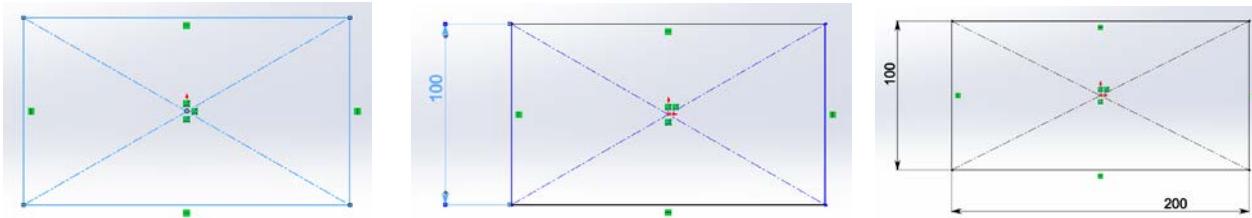


Рис. 33

При указании второго размера объект становится полностью определенным (выделен черным). Рекомендуется полностью определять эскиз на этапе его создания, это позволит избежать конфликтов при построении объектов на его основе.

Прорезь представляет собой замкнутую фигуру из двух параллельных дуг, соединенных скруглениями с диаметром, равным расстоянию между дугами. Доступно создание по двум точкам, по центральной и крайней точкам (крайняя точка понимается как центр скругления), по дуге из трех точек, по дуге и центру.

Инструмент «Дуга» (рис. 34) позволяет создавать элементы дуги окружности через указание центра и двух точек, указание трех точек и создавать дуги, примыкающие к какой-либо прямой. В последнем случае обязательно будет создана связь с сопрягаемым объектом.

Создание окружности (рис. 35) возможно путем указания центра и радиуса ( обратите внимание, что изначально окружность не будет полностью определенной, для полного определения необходимо указать размер), а также путем указания трех точек, принадлежащих данной окружности.

Создание окружности неявным образом применяется при создании многоугольников. Построение возможно как на основе вписанной, так и на основе описанной окружности. Задается число вершин, положение центра, радиус окружности, угол, определяющий ориентацию в пространстве (рис. 36).

Близкие возможности предоставляет инструмент «Эллипс» (рис. 37). Фактически инструмент предоставляет возможности построения конических сечений разнообразных форм (от окружности до гиперболы).

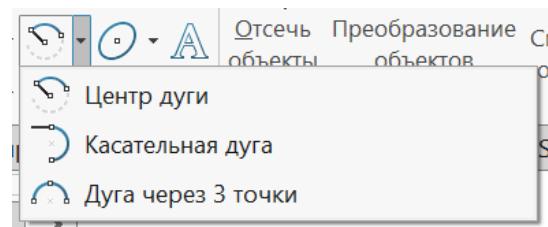


Рис. 34

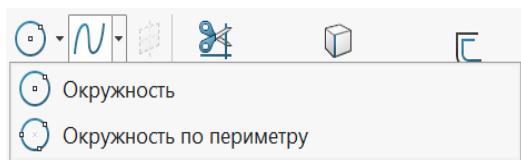


Рис. 35

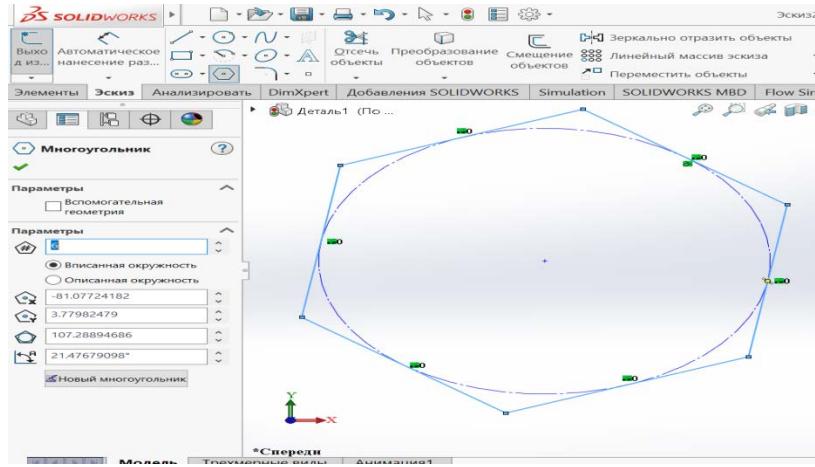


Рис. 36

Для построения более сложных линий используется инструмент «Кривые» (рис. 38). В основе его применения лежит использование сплайнов и явное определение уравнения кривой. Сплайн – это кусочно-заданная функция, обычно на каждом участке сплайн определяется полиномом, максимальная степень которого называется степенью сплайна. В практических приложениях наибольшее распространение получили кубические сплайны. Для плавного перехода от одного участка к другому требуется непрерывность функции и ее производных.

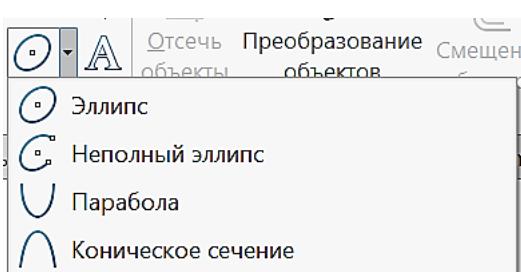


Рис. 37

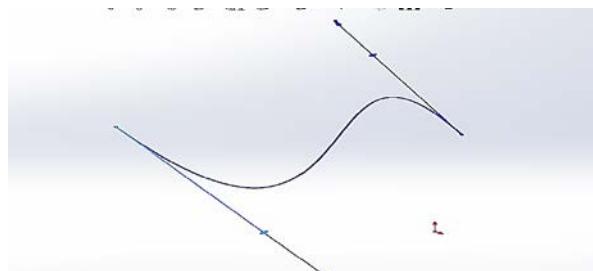


Рис. 38

Обычный сплайн строится как интерполирующая функция (проходит через заданные точки). При построении сплайна используется В-сплайн (B-spline, базисный сплайн), не обязательно проходящий через заданный набор точек. Плавность В-сплайна можно регулировать в меню «Инструменты → Объекты эскиза → Стиль сплайна». Определение поверхности с помощью В-сплайнов в настоящее время стало стандартом де-факто в машиностроении. Solidworkd позволяет преобразовывать два вида сплайнов друг в друга. Необходимо правой кнопкой мыши нажать на выбранном сплайне. Откроется контекстное меню.

Наиболее полно и точно задать линию можно с помощью ее уравнения. Возможно определение в явном виде (задается зависимость  $y(x)$ ) и в параметрическом виде (задаются две зависимости  $y(t)$  и  $x(t)$ ). Для обоих способов доступны фиксация начальной и конечной точек и их перемещение вдоль определяемой кривой (рис. 39).

На этой же панели расположены инструменты создания точек, дополнительных плоскостей для трехмерных эскизов, надписей. Инструменты, позволяющие выполнять другие операции, вынесены на отдельную панель. К ним относятся: инструмент «Отсечь объекты», позволяющий удалять части построенных линий. Использование данного инструмента может значительно упростить построение эскиза, но следует помнить, что объекты, созданные на основе такой методики, хуже параметризируются вычислительной техникой, что может приводить к ошибкам в расчетах, а также при импорте и экспорте созданных таким образом моделей.

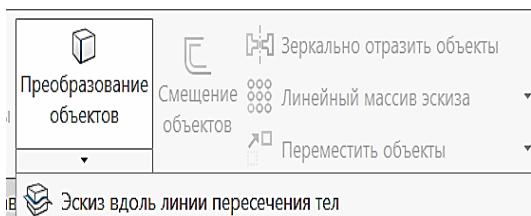


Рис. 40

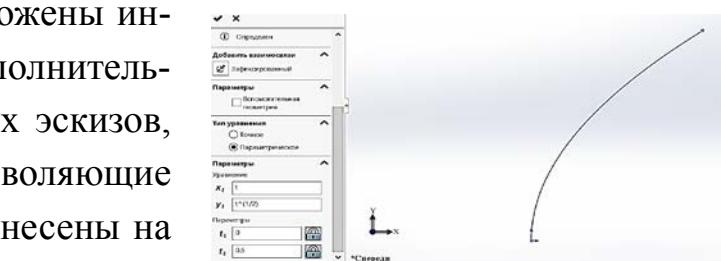


Рис. 39

Инструмент «Эскиз вдоль линии пересечения тел» позволяет создать 3D-эскиз на основе уже построенных трехмерных моделей тел (рис. 40). Для иллюстрации рассмотрим создание эскиза на пересечении цилиндра и параллелепипеда. Отдельные модели тел приведены на рис. 41 и 42, модель объединенного тела – на рис. 43, эскиз, получаемый пересечением тел, – на рис. 44.

Поскольку пересечение возможно на множестве поверхностей, то при использовании данного инструмента дополнительно указываются плоскости и поверхности тел, по которым будет отслеживаться пересечение.

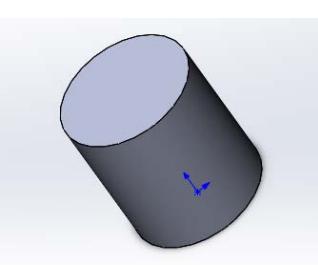


Рис. 41

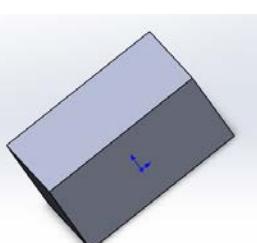


Рис. 42

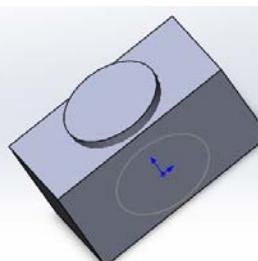


Рис. 43

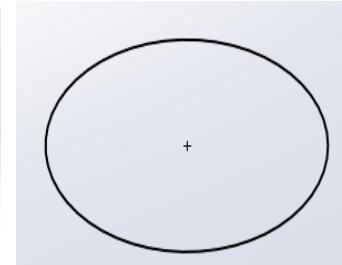


Рис. 44

Инструмент «Смещение объектов» (рис. 45) позволяет создавать части эскиза на основе созданных ранее частей.

При этом будет проведено их масштабирование в большую или меньшую сторону. При этом размеры создаваемого объекта будут вычисляться относительно первичного, что еще раз подчеркивает важность полного определения деталей эскиза (рис. 46).

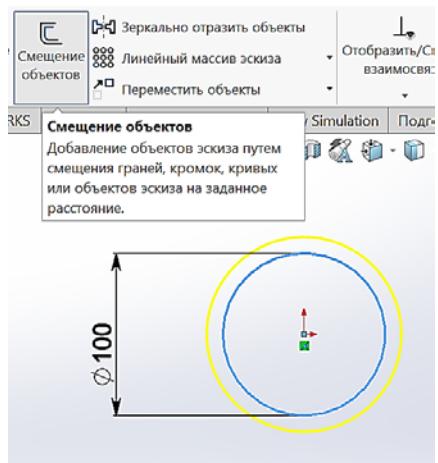


Рис. 45

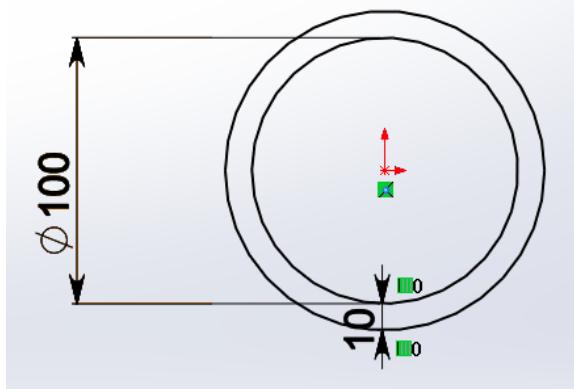


Рис. 46

Инструмент «Зеркально отразить объекты» (рис. 47) позволяет получать зеркальную копию выбранного объекта. Исходный объект при этом может быть по выбору как сохранен, так и трансформирован. Применение этого инструмента требует предварительного создания линии или плоскости, относительно которой будет проводиться отражение. Одним из способов создания таких объектов является использование справочной геометрии.

Панель «Справочная геометрия» (рис. 48) расположена на вкладке «Элементы» основной рабочей панели SolidWorks и предоставляет инструмент для создания вспомогательных плоскостей, линий, систем координат, точек и ссылок на сопряжения.

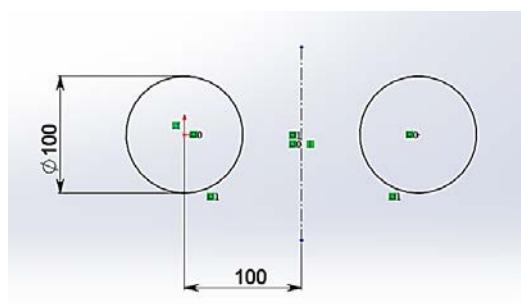


Рис. 47

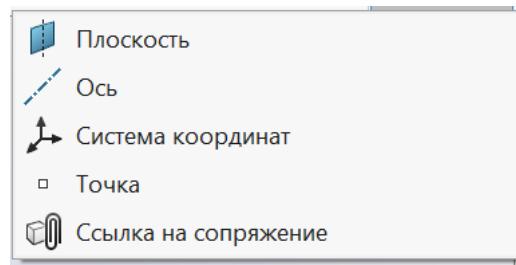


Рис. 48

При создании плоскостей потребуется указать их расположение в пространстве. Добавочные линии справочной геометрии обязательно будут осевыми линиями, по свойствам ничем не отличающимися от осевых линий, создаваемых на эскизах. Создание локальной системы координат требует указания точки ее привязки и указания направления осей. Ссылки на сопряжения указывают один или несколько объектов компонента, которые будут применены для автоматического сопряжения. При добавлении компонента со ссылками на сопряжения в сборку SolidWorks пытается найти другие комбинации одного и того же имени ссылки на сопряжение такого же типа. Если имя идентично, а тип не совпадает, программа не будет добавлять сопряжение.

#### 5.4. Создание 3D-объектов

Рассмотрим работу с трехмерными объектами на примере создания детали «Опора» (рис. 49).

Поскольку основой трехмерного моделирования являются предварительно созданные эскизы, то создадим эскиз основания опоры в виде прямоугольника из центра размером  $100 \times 100$  мм и скруглением вершин радиусом 10 мм (рис. 49).

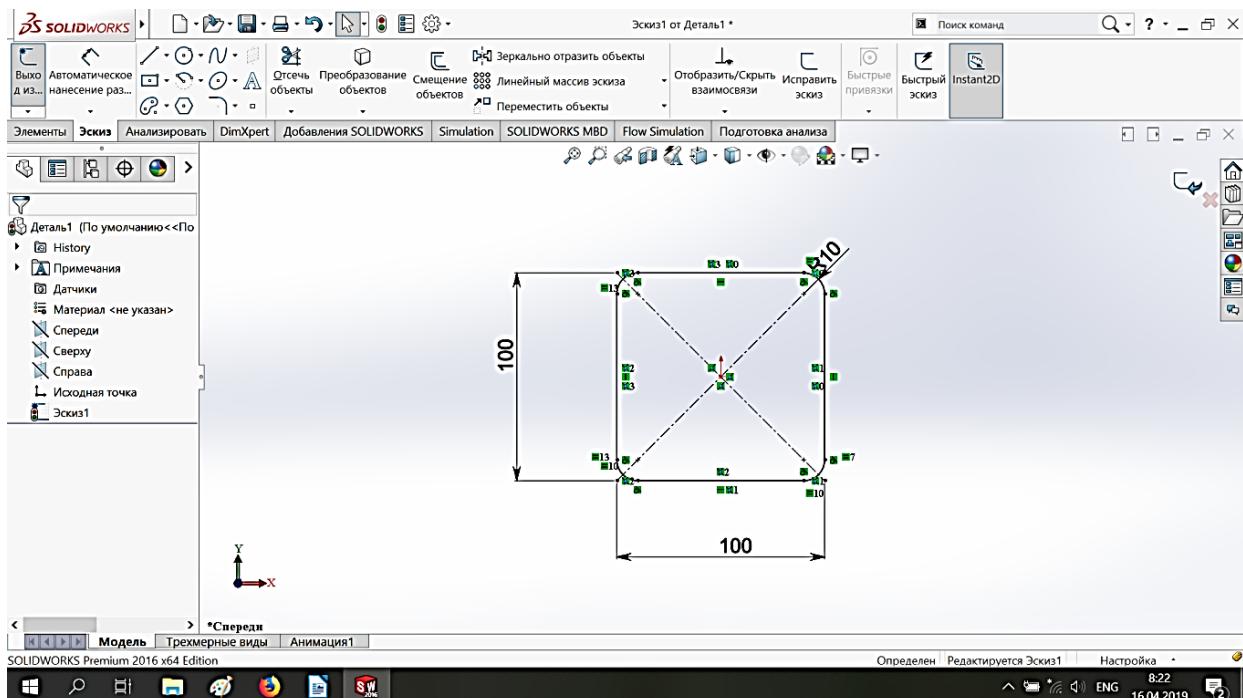


Рис. 49

Условно операции трехмерного моделирования можно разделить на основные, непосредственно связанные с созданием трехмерных объектов, и вспо-

могательные, связанные с трансформацией уже имеющихся объектов. К основным операциям относятся операции формирования объектов и вырезов. Рассмотрим их подробнее.

Меню операций формирования объектов и вырезов приведено на рис. 50.

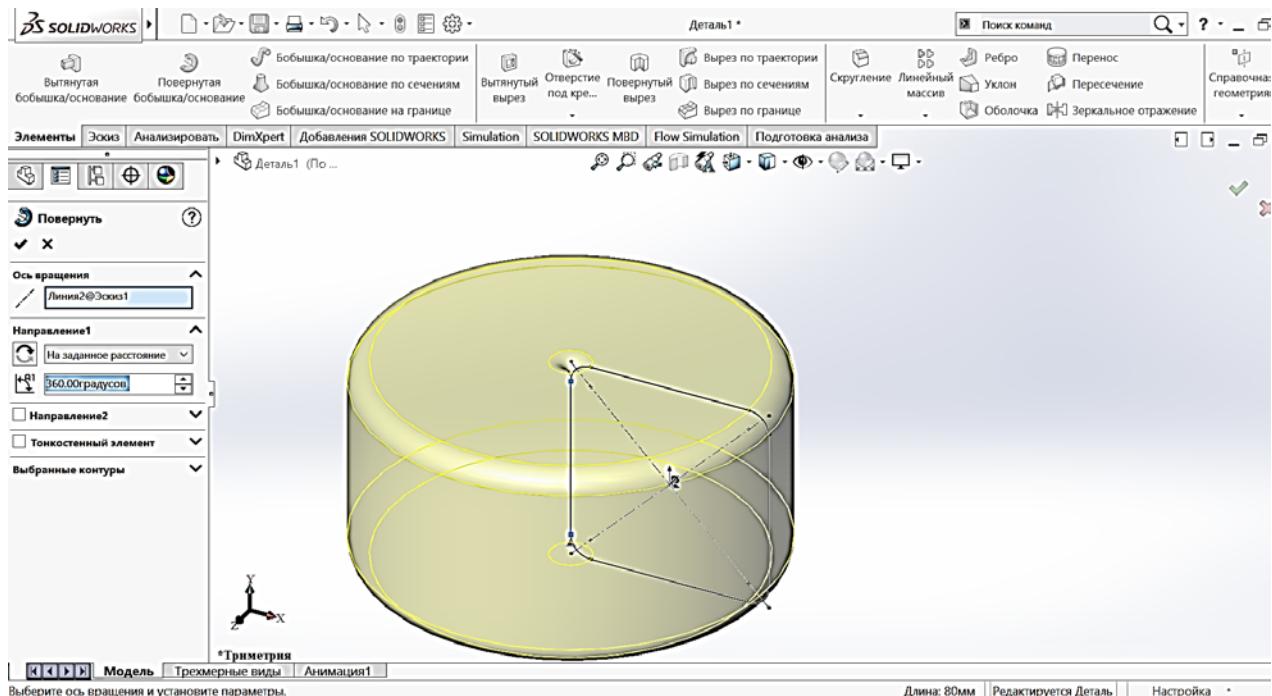


Рис. 50

Операция «Повернутая бобышка/основание» позволяет получить трехмерный объект вращением эскиза вокруг некоторой оси. В качестве оси вращения допускается выбор одной из линий самого эскиза (на рис. 51 для примера показано получение шайбы вращением квадратного эскиза вокруг одной из сторон). Операция «Повернутая бобышка/основание» – одна из немногих, позволяющих выполнять действия с незамкнутыми эскизами. Опционально настраивается угол вращения, направление, предоставляется возможность создать тонкостенный элемент. В последнем случае необходимо будет указать толщину стенки (либо наружную, либо внутреннюю по отношению к вращаемому эскизу).

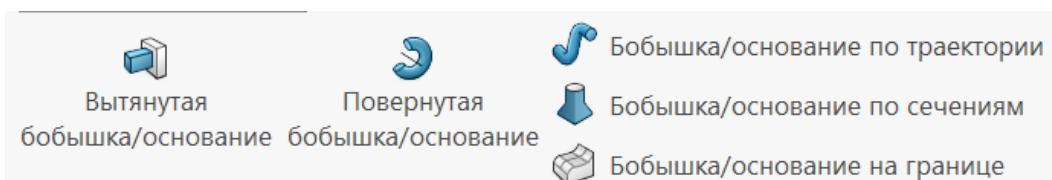


Рис. 51

Операция «Бобышка/основание по траектории» (рис. 52) позволяет получать тела перемещением замкнутого эскиза вдоль некоторой направляющей. Инструмент полезен при создании пружин, спиралей, змеевиков и подобных им деталей. Параметры направляющей достаточно гибко настраиваются в интуитивном режиме, но для детального понимания процесса настройки рекомендуется ознакомиться с подробным описанием в документации SolidWorks. Так же как в случае «Повернутая бобышка/основание», возможно получение тонкостенных элементов.

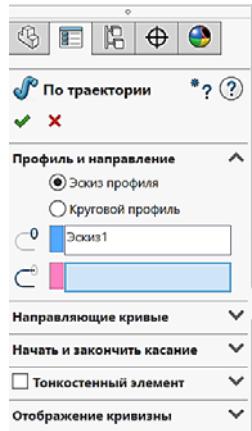


Рис. 52

Операция «Бобышка/основание по сечениям» (рис. 53) дает возможность создать трехмерный объект по набору его поперечных сечений. Предварительно создаваемые сечения не обязательно должны быть компланарны. Инструмент полезен в случаях, когда деталь имеет сложную трехмерную геометрию и остальные операции выдавливания не применимы. В качестве примера можно привести лопатки турбин. Как правило, сечения этих деталей строго регламентированы, поэтому процесс создания трехмерной модели наиболее логично проводить с помощью операции «Бобышка/основание по сечениям». Необходимо помнить, что при одинаковом наборе поперечных сечений можно получить несколько разных трехмерных моделей в зависимости от способа, с помощью которого строятся соединяющие их поверхности. В SolidWorks используются поверхности, построенные с помощью сплайнов, степень кривизны которых можно регулировать.

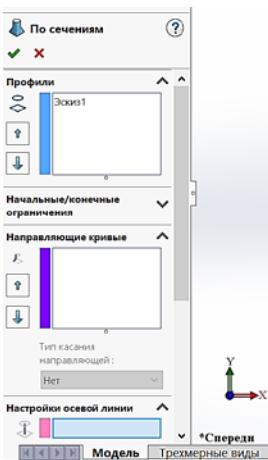


Рис. 53

Операция «Бобышка/основание на границе» (рис. 54) позволяет создать трехмерное тело, объем которого ограничен указываемыми поверхностями. Самой распространенной операцией формирования является операция «Вы-

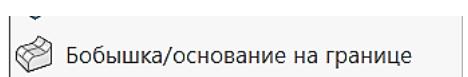


Рис. 54

тянутая бобышка/основание». Применим ее для формирования основания проектируемой опоры. Результат операции приведен на рис. 55.

Операция может быть применена в обоих направлениях, ее можно проводить на заданные расстояния или до объектов, созданных ранее, возможно задавать уклоны при выдавливании, а также создавать тонкостенные элементы.

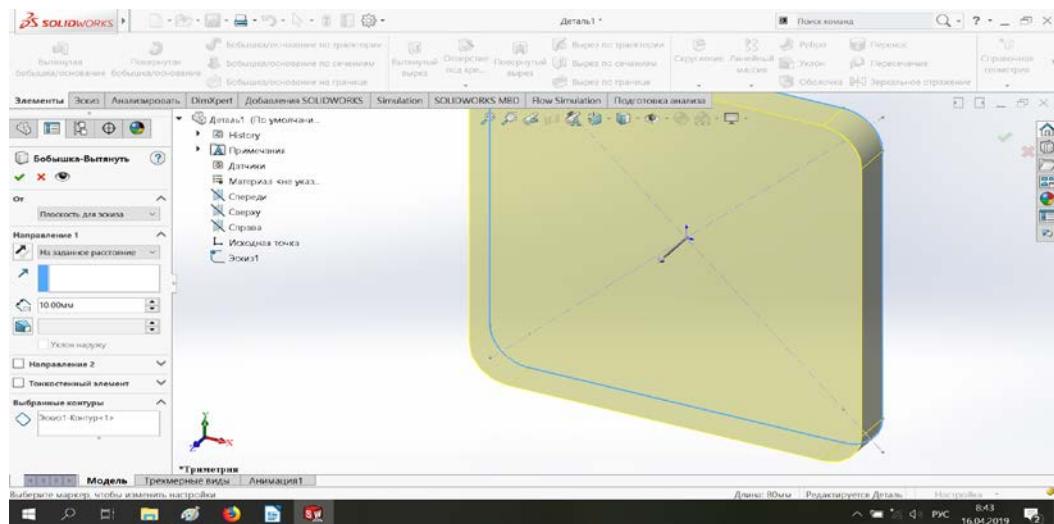


Рис. 55

Меню вырезов имеет функционал, аналогичный функционалу меню формирования. Естественно, все операции в этом случае приводят не к созданию, а к удалению некоторого объема из ранее созданных объектов (рис. 56).

Для примера создадим отверстие в материале плиты. Для этого, выделив торцевую поверхность (левая кнопка мыши и  $Ctrl + 8$ ), создадим на ней эскиз отверстия с указанием его размера и положения (рис. 57).

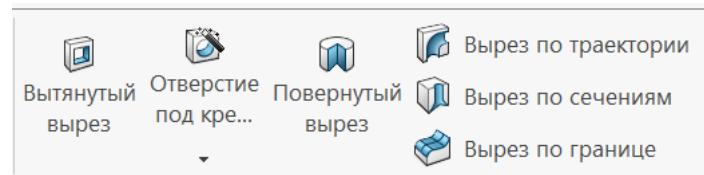


Рис. 56

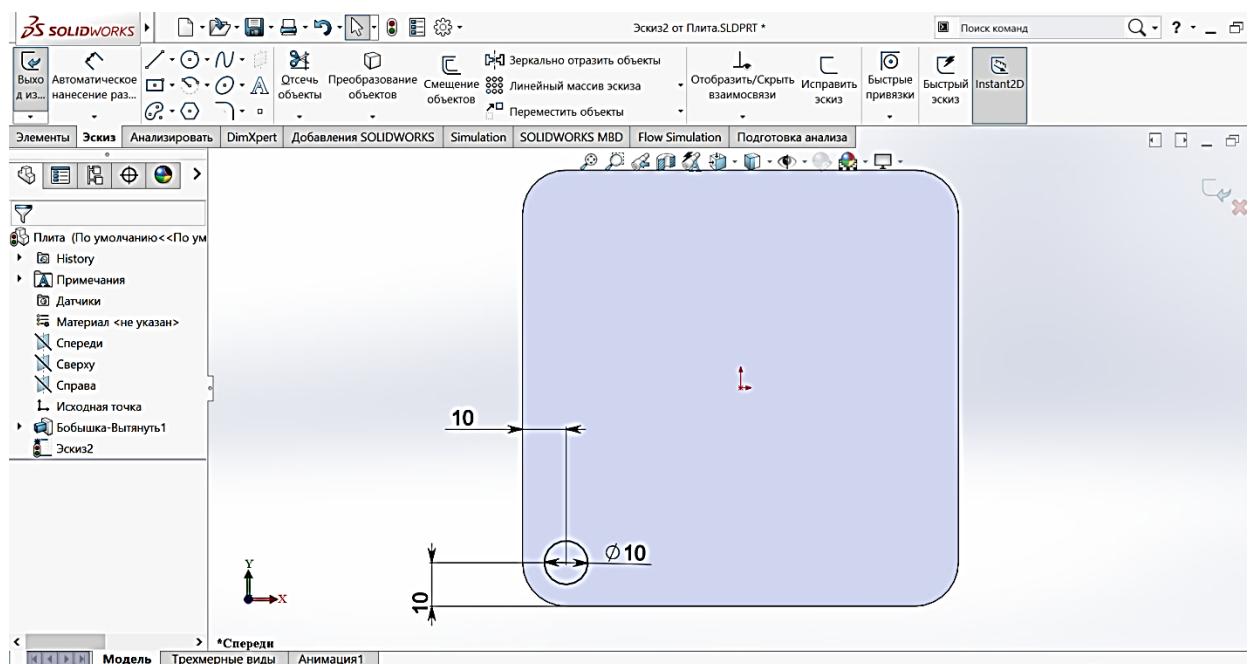


Рис. 57

Непосредственно для создания отверстия применим операцию «Вытянутый вырез». Меню операции приведено на рис. 58. Функционал аналогичен операции выдавливания: можно создавать вырезы на заданное расстояние (при этом возможно указать направление, в котором будет проводиться операция), выполнять сквозной вырез, проводить операцию до следующей поверхности, тела или вершины. Возможно выполнение операции с заданием расстояния до последующей поверхности (удобный инструмент при создании несквозных отверстий) и с заданием угла наклона.

Полученное отверстие может быть размножено с помощью операции «Массив» (рис. 59). По умолчанию предполагается создание линейного массива (наиболее часто используемая операция), но на самом деле SolidWorks дает богатый инструментарий для работы с массивами. Использование массивов предпочтительнее непосредственного создания объектов, так как позволяет значительно снизить время создания многокомпонентных деталей, уменьшить размер файла SLDprt, а в некоторых случаях избежать проблемы конвертации при экспорте в другие форматы. В нашем случае последовательное применение операции «Линейный массив» позволяет достичь желаемого результата (рис. 60 и 61).

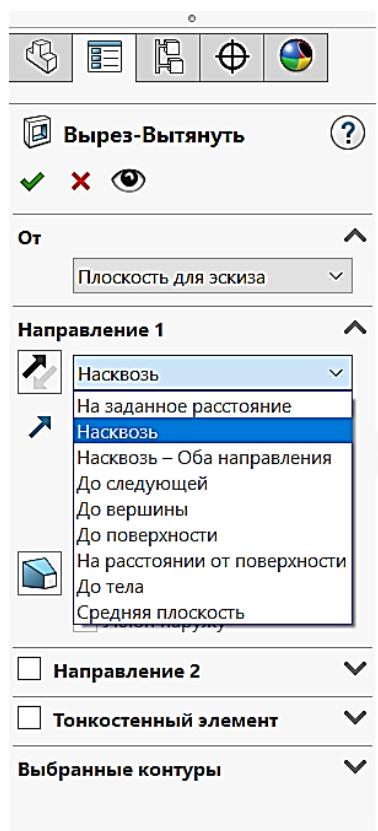


Рис. 58

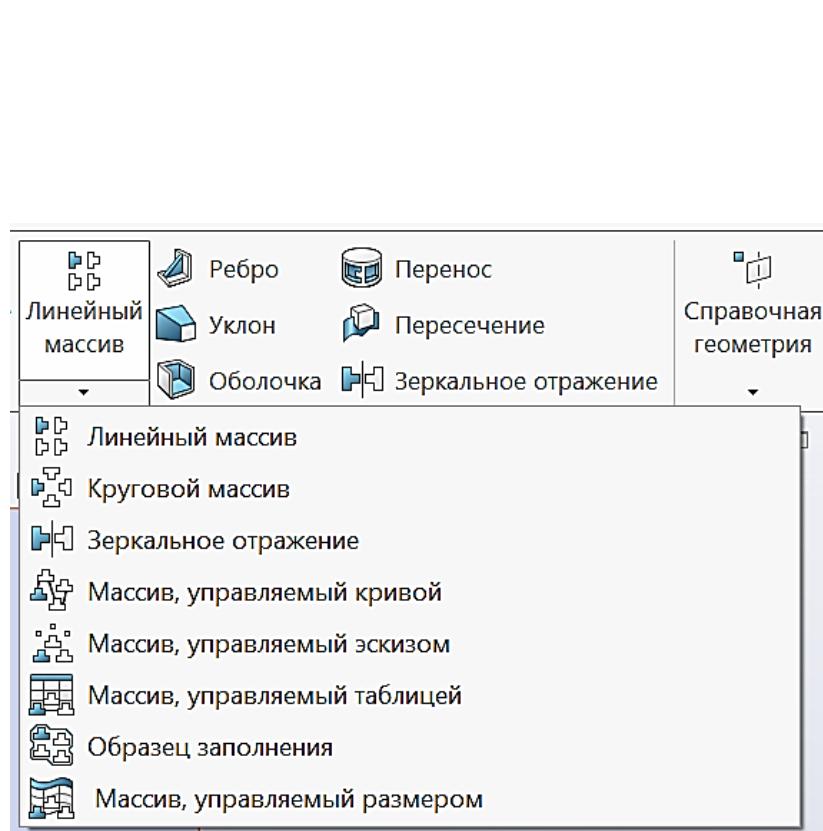


Рис. 59

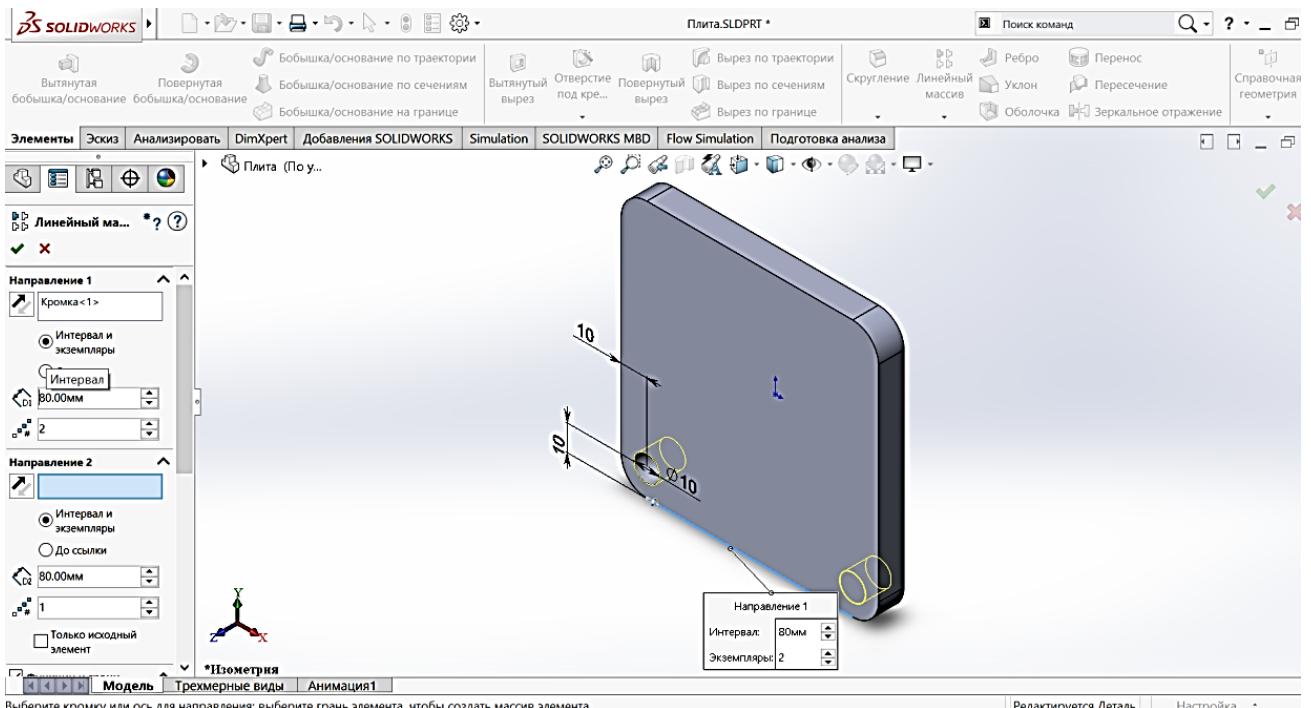


Рис. 60

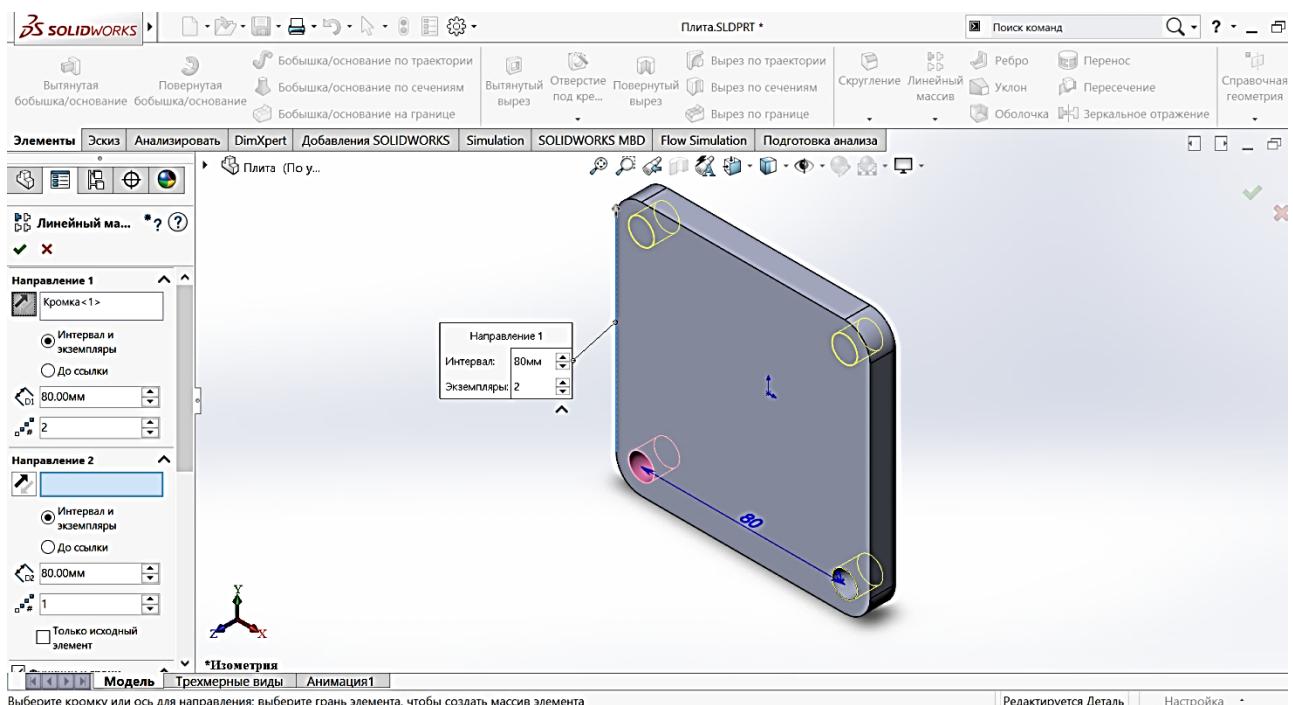


Рис. 61

Выделив торцевую поверхность, создадим на ней эскиз прямоугольника (рис. 62), а затем, применив операцию «Вытянутая бобышка/основание», сформируем центральную часть опоры (рис. 63).

Для усиления конструкции создадим два ребра жесткости. Для этого первоначально создадим в рамках 3D-эскиза отрезок (рис. 64) на основе цен-

тров двух граней, а затем применим операцию создания ребра жесткости Ребро (рис. 65). Второе ребро жесткости можно получить, используя операцию зеркального отражения (рис. 66).

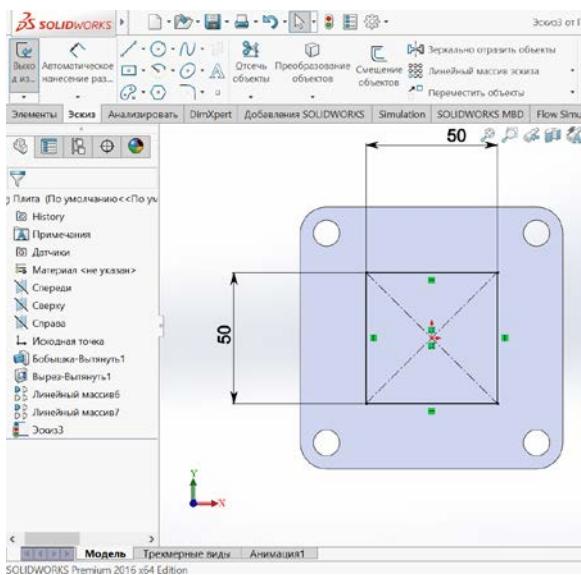


Рис. 62

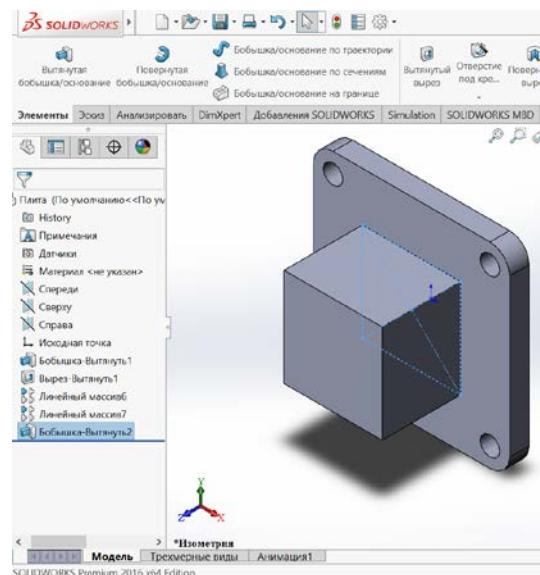


Рис. 63

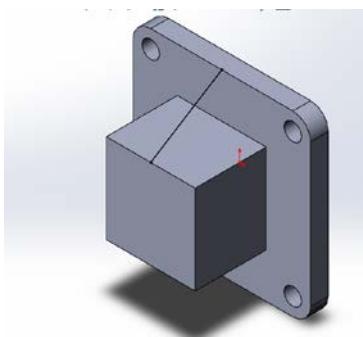


Рис. 64

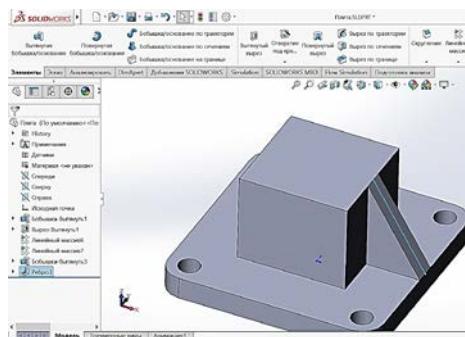


Рис. 65

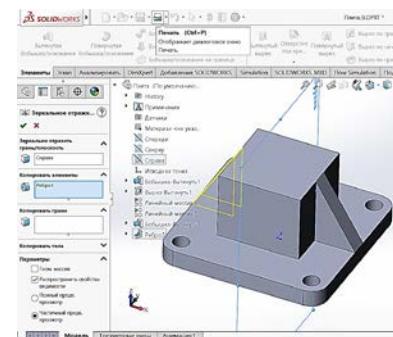


Рис. 66

При создании детали «Опора» преследовалась цель показать набор средств, предоставляемых SolidWorks для создания трехмерных моделей. Разумеется, предложенный алгоритм не является единственным возможным, каждый проектировщик самостоятельно выбирает последовательность операций, необходимых для создания деталей. Следует предупредить о том, что план создания деталей или узлов должен быть предельно конкретизирован, иначе впоследствии придется исправлять многочисленные ошибки и перестраивать созданные модели. Приведенный список операций работы с трехмерными моделями тоже носит неполный характер. Перечень всех доступных операций можно посмотреть в главном меню SolidWorks (рис. 67).

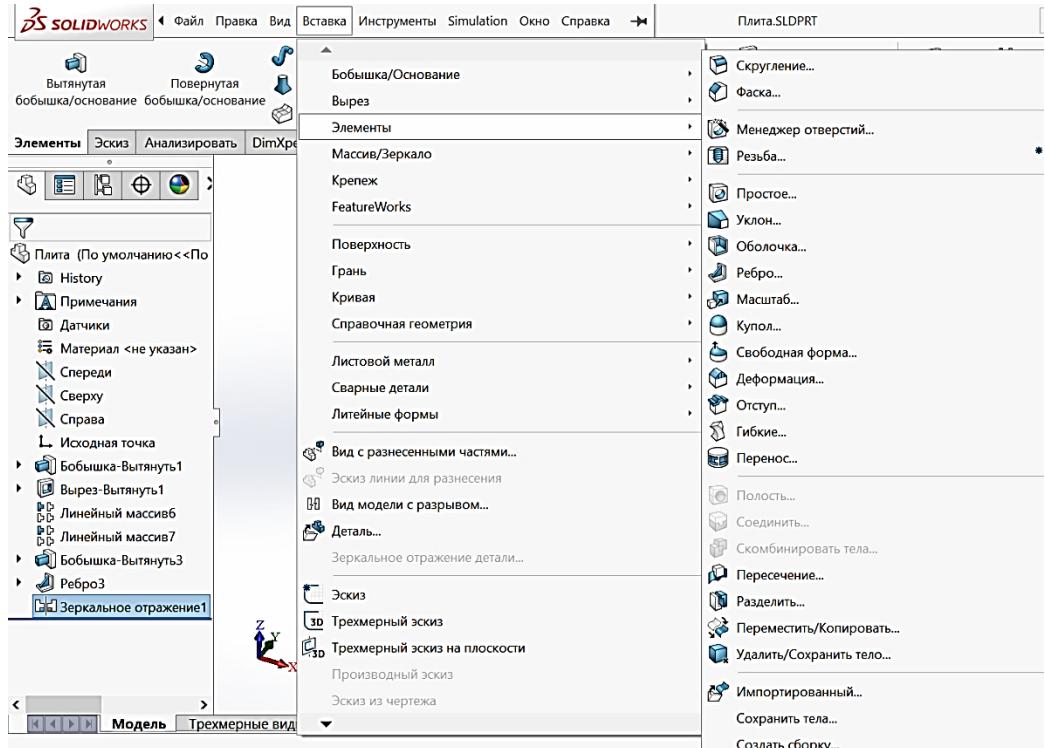


Рис. 67

## 5.5. Основы работы со сборками в SOLIDWORKS

Под термином «сборка» в SolidWorks мы будем подразумевать одновременно некую трехмерную модель, содержащую в себе в качестве компонентов трехмерные модели ее составляющих и одновременно сам процесс создания такой модели. Следует понимать, что сборка не просто содержит в себе компоненты, но включает в себя также и связи между ними.

Для начала сборки выберем ее пиктограмму при создании нового документа SolidWorks. Генерируемый файл в этом случае будет иметь расширение .SLDASM (в случае отдельной детали расширение файла .SLDPRT).

Глобально существует два метода построения сборки: в первом случае отдельно созданные модели компонентов объединяются (или присоединяются) в общую конструкцию. Такой подход получил название «сборка снизу-вверх». Во втором случае изначально создается модель всего изделия, в которой последовательно создаются детали содержащихся в ней компонентов с учетом связей, наложенных на них. Оба варианта представлены в диалоговом окне, появляющемся автоматически при создании сборки: конструктору предлагается создать компоновочный эскиз или добавить отдельные детали в сборку (рис. 68).



Быстрое расположение деталей и других сборок.

Согласно руководству SolidWorks принцип «проектирование снизу-вверх» является предпочтительным для заранее сконструированных, готовых деталей или стандартных компонентов, таких как крепежные детали, шкивы, двигатели и т. д. Такие детали не меняют свою форму и размер в зависимости от вашего проекта. Иными словами, сборка снизу-вверх рекомендована для стандартных деталей, размер которых в дальнейшем не будет изменяться.

В качестве примера рассмотрим сборку резца, состоящего из трех деталей: режущей пластины (рис. 69), держателя (рис. 70) и хвостовика (рис. 71).

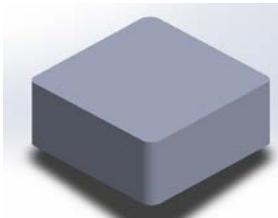


Рис. 69

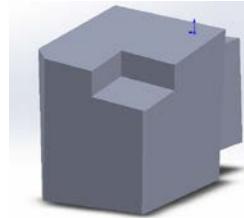


Рис. 70

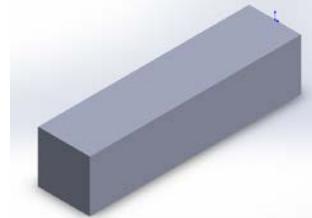


Рис. 71

Добавим в сборку хвостовик детали, нажав клавишу «Обзор». Общий вид импортированной детали приведен на рис. 72.

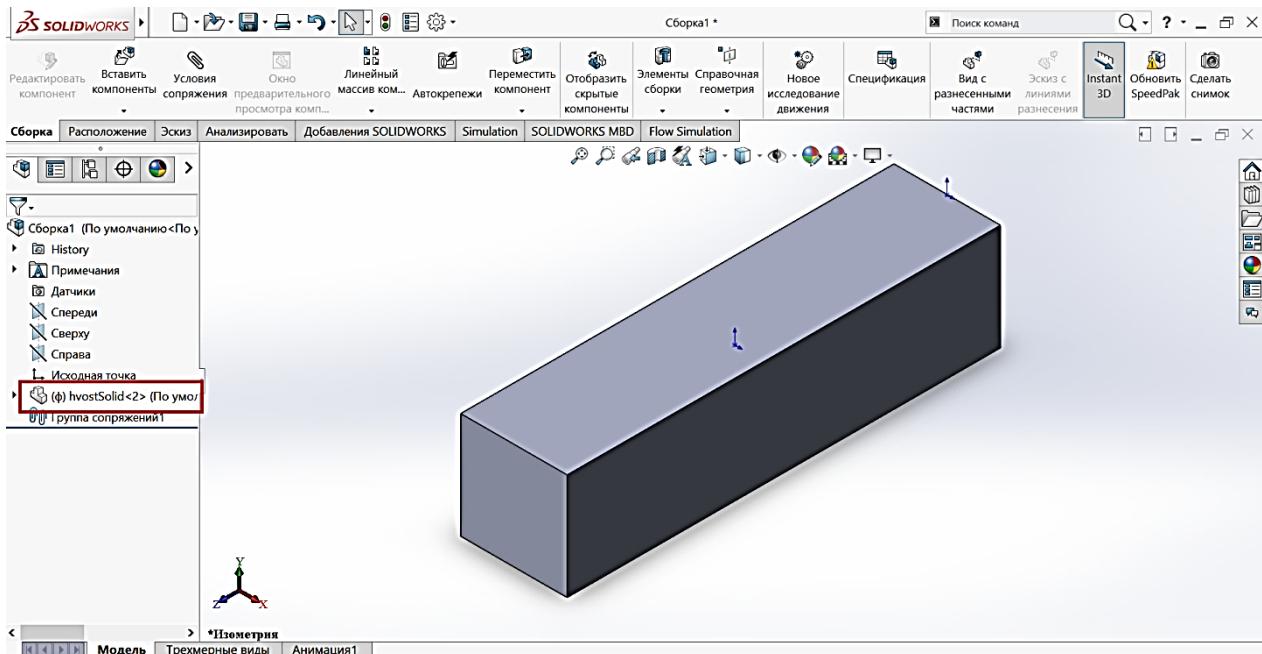


Рис. 72

Следует обратить внимание на то, что по умолчанию первая из импортируемых деталей будет жестко привязана к общей системе координат (индикатором этого служит буква «Ф» в части дерева построения соответствующей детали). Если есть необходимость ее перемещения, то предварительно в контекстном меню необходимо выбрать «Освободить».

Добавим в сборку держатель и режущую пластину. Для этого можно либо нажать клавишу «Вставить компоненты» на основной рабочей панели, либо использовать пункт меню «Вставка» в командной панели (рис. 73).

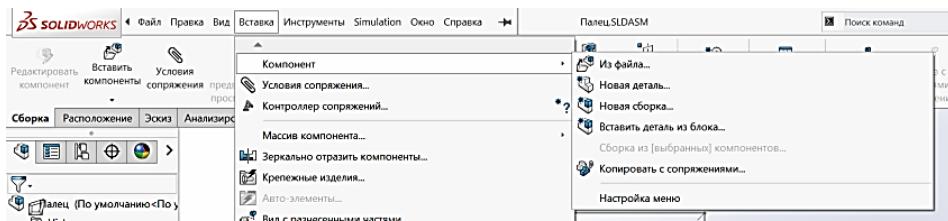


Рис. 73

Импортируемые детали появятся в дереве конструирования. По умолчанию последующие компоненты являются свободными и могут перемещаться в пространстве сборки (рис. 74).

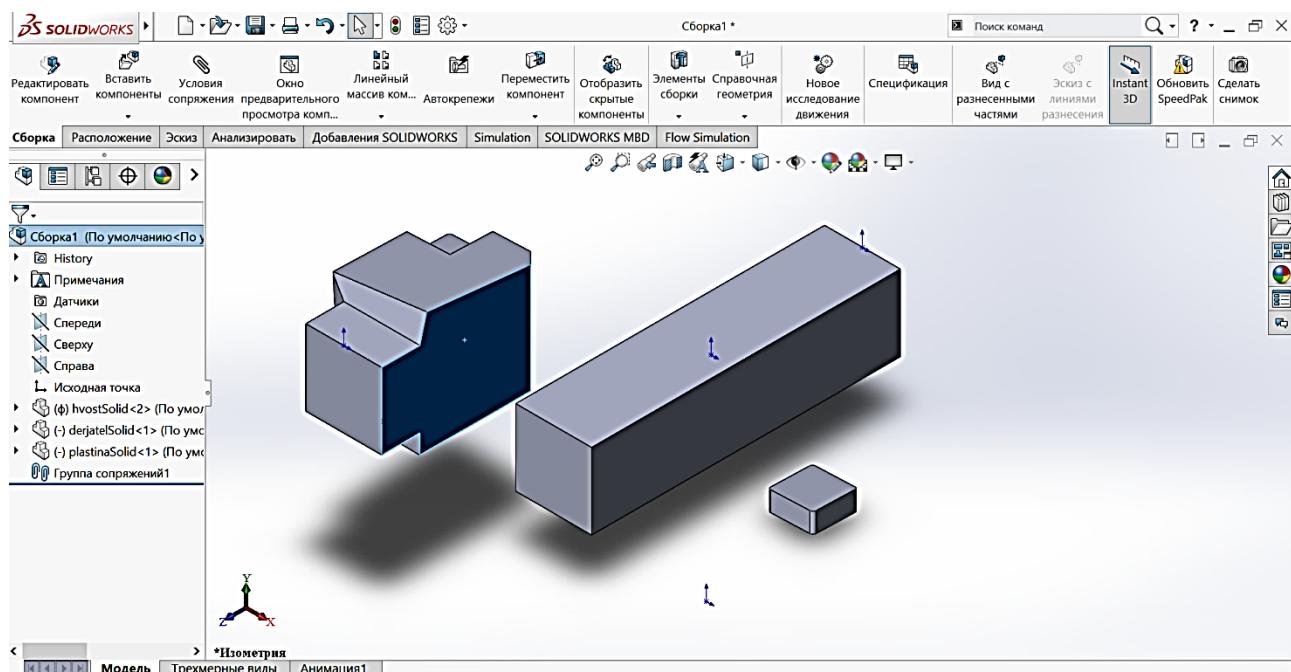


Рис. 74

Дальнейшее определение сборки состоит в указании взаимного расположения ее компонентов (рис. 75). Фактически это сводится к тому, что накладываются различные условия сопряжения, которые также будут отоб-

ражены в дереве построения. Произведем сопряжение держателя и хвостовика. Для этого выделим их торцевые поверхности, наложим условие совпадения плоскостей. Рекомендуется предварительно ориентировать детали необходимым образом.

Как видно из приведенного рис. 75, данное условие не является достаточным, поэтому дополнительно наложим условия совпадения четырех кромок (рис. 76).

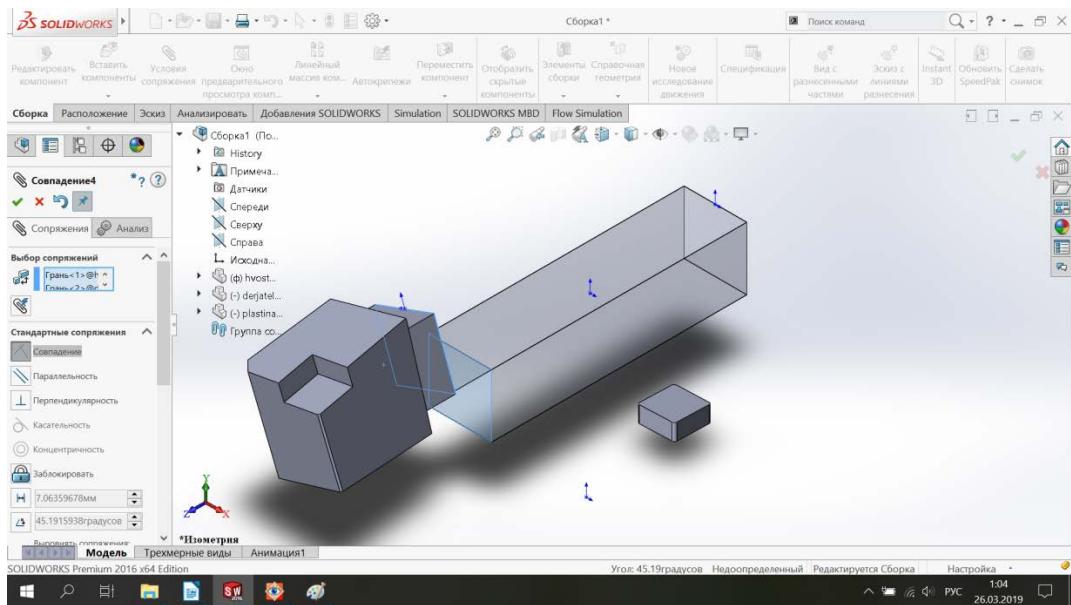


Рис. 75

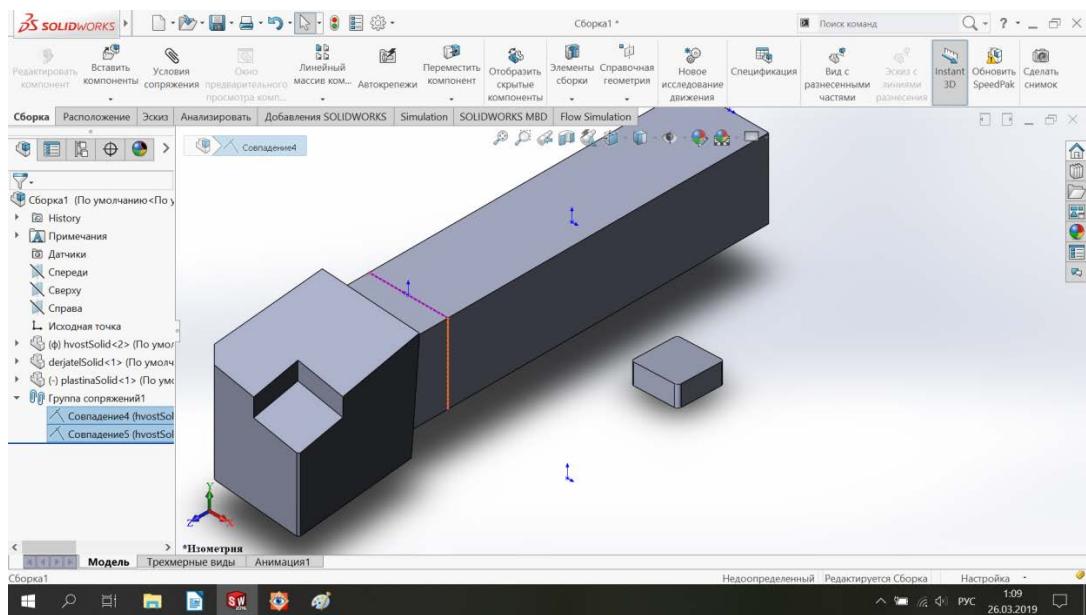


Рис. 76

При наложении условий сопряжения желательно добиваться однозначного определения всей сборки.

Обеспечим сопряжение режущей пластины и держателя, наложив три условия совпадения плоскостей. Полученный результат приведен на рис. 77.

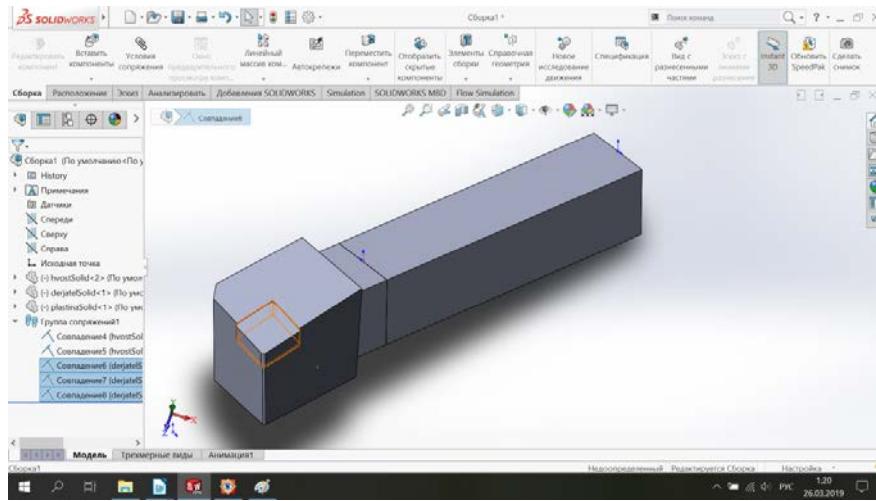


Рис. 77

Недостатком такого подхода является трудоемкость процесса взаимного позиционирования деталей. В рамках подхода проектирования снизу-вверх этого можно избежать на этапе проектирования отдельных деталей с помощью использования справочной геометрии. Рассмотрим отдельно сопряжение держателя и режущей пластины.

Для этого вызовем по отдельности каждую деталь на редактирование и в разделе «Справочная геометрия» выберем «Ссылка на сопряжение» (рис. 78).

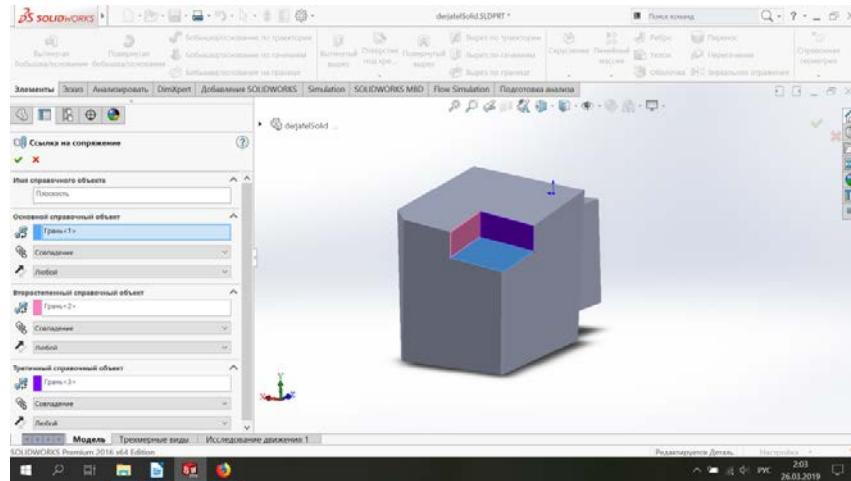


Рис. 78

Для корректного последующего сопряжения имена и типы сопрягаемых объектов на разных деталях должны быть одинаковыми. В нашем случае создадим сопряжение по трем плоскостям (рис. 79, 80).

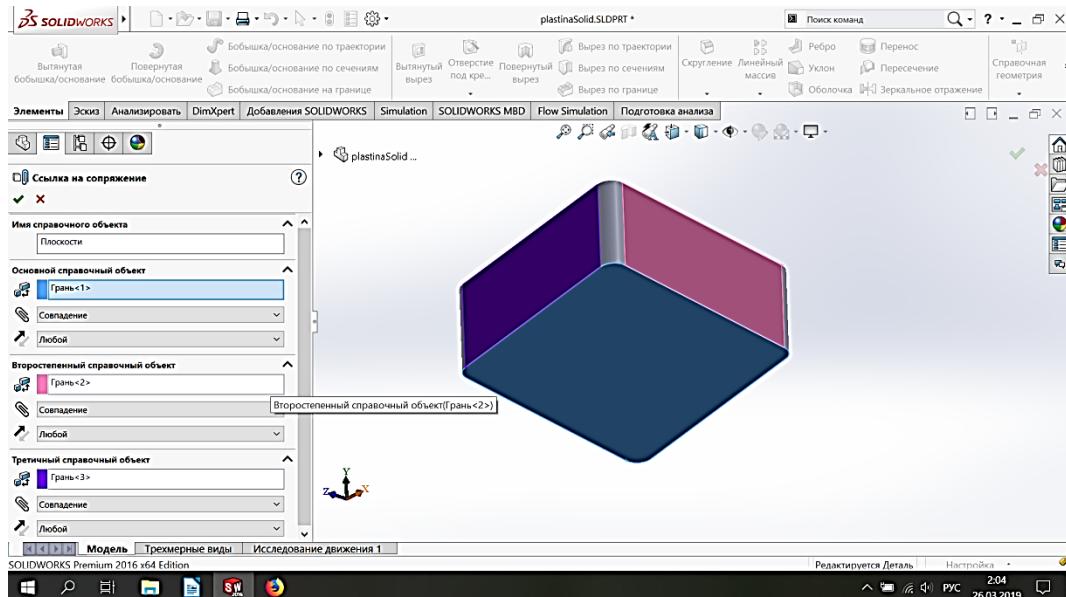


Рис. 79

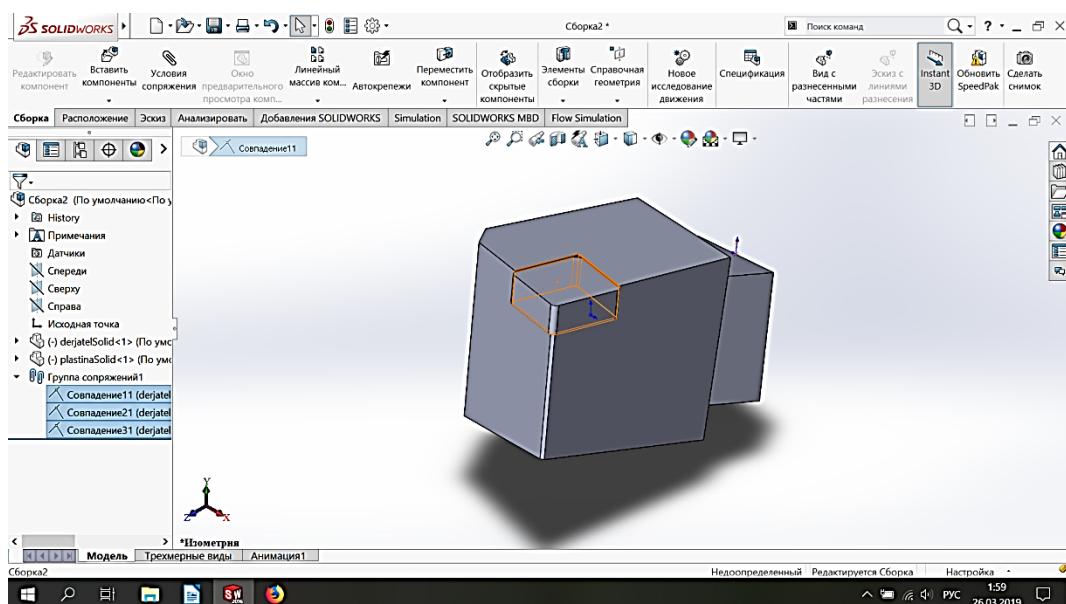


Рис. 80

В этом случае при добавлении деталей в сборку автоматически произойдет их сопряжение (вторая деталь должна войти в пространство первой) (рис. 80).

Подход к организации сборки – это подход «сверху-вниз». При проектировании сверху-вниз входящие в нее детали определяются элементом сборки, например компоновочным эскизом или геометрией другой детали. При данном подходе размеры элементов, их положение в пространстве являются вторичными характеристиками, определяемыми в основном не в самой детали, а в сборке (на верхнем уровне), что и дало название «сверху-вниз».

Существует три основных метода организации сборки сверху-вниз:

- отдельные элементы могут быть спроектированы сверху-вниз путем ссылок на другие детали в сборке. Несмотря на то, что в момент создания детали она строится в отдельном окне, доступной является геометрия всех объектов, имеющихся в сборке к данному моменту времени. Данное свойство SolidWorks дает возможность создавать объекты, размеры которых не фиксированы, а привязаны к положению других объектов, например выдавливанием можно получить трехмерные объекты, соединяющие различные детали в сборке;
- детали, создаваемые в контексте сборки, могут быть сопряжены с уже имеющимися в сборке объектами. Например, грань первого объекта сборки может быть использована как плоскость эскиза последующих объектов. Первичные объекты в этом случае выступают базами для последующих объектов;
- сборка полностью может быть спроектирована сверху-вниз путем создания компоновочного эскиза, который определяет размещение компонентов, ключевые размеры и т. д. Трехмерные детали создаются в последующем на основе компоновки, что позволяет корректировкой эскиза вносить изменения в трехмерные объекты, не нарушая согласованности между ними.

Перечисленные методы могут быть скомбинированы между собой для достижения оптимального результата. Рассмотрим в качестве примера создание двух деталей – пальца и отверстия в контексте сборки. При создании сборки выберите «Создать расположение», при этом появится плоскость компоновочного эскиза (рис. 81).

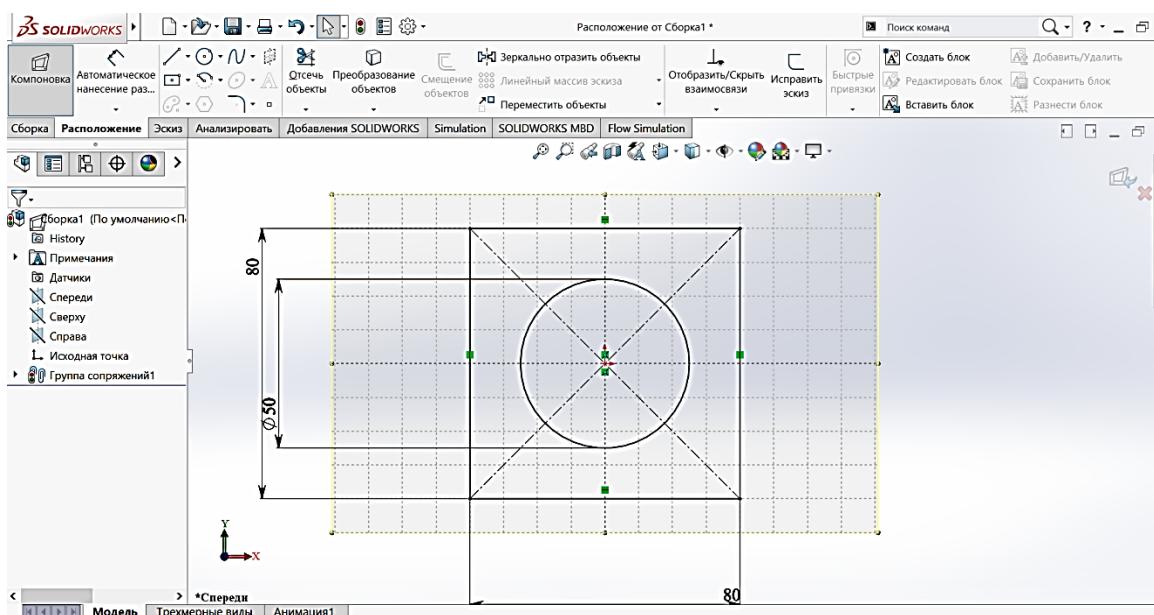


Рис. 81

Создадим компоновочный эскиз, содержащий образмеренные эскизы будущих деталей. Пример такого эскиза приведен на рис. 82.

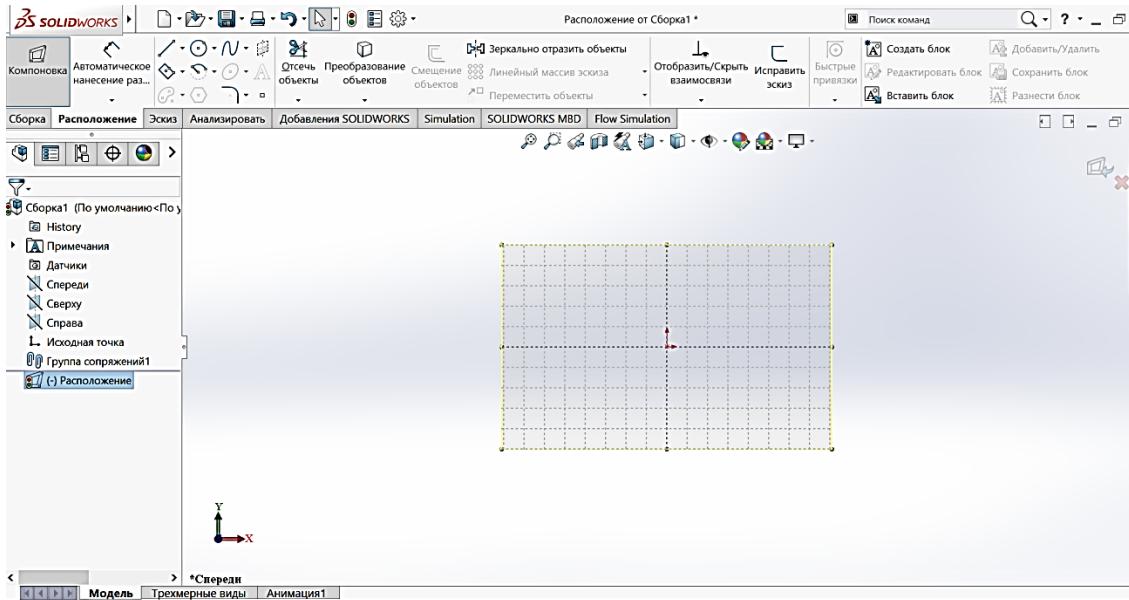


Рис. 82

Закончить редактирование эскиза можно, нажав соответствующую кнопку в правом верхнем углу рабочего окна. Создадим в контексте сборки новую деталь, для этого выберем команду «Создать» в диалоге «Вставить компоненты» (рис. 83). Выполнение команды приведет к созданию в дереве построения отдельной ветки, описывающей новую деталь. При создании по умолчанию данная ветка будет пуста, сама деталь будет жестко зафиксирована, информация о создаваемой детали будет интегрирована в файл сборки. Для создания детали вызовем контекстное меню и выберем в нем редактирование детали . Ветка соответствующей детали изменит цвет на синий (рис. 84), в верхнем правом углу рабочего окна появится знак, показывающий, что процесс работы с деталью идет в контексте сборки.

Дальнейший процесс создания трехмерной модели ничем не отличается от создания одиночной детали. Первоначально создадим эскиз будущей детали, импортировав его из компоновочного эскиза, для этого выделим интересующие контурные линии и выполним операцию «Преобразовать объект». На основании образованного эскиза модели, применив операцию выдавливания, сформируем первую из деталей сборки. Применив аналогичную после-

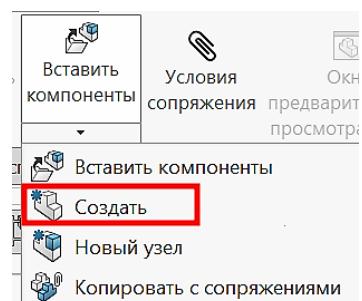


Рис. 83

довательность действий, получим вторую из проектируемых деталей – палец. Вид первой детали и общий вид сборки приведены на рису. 85 и 86.

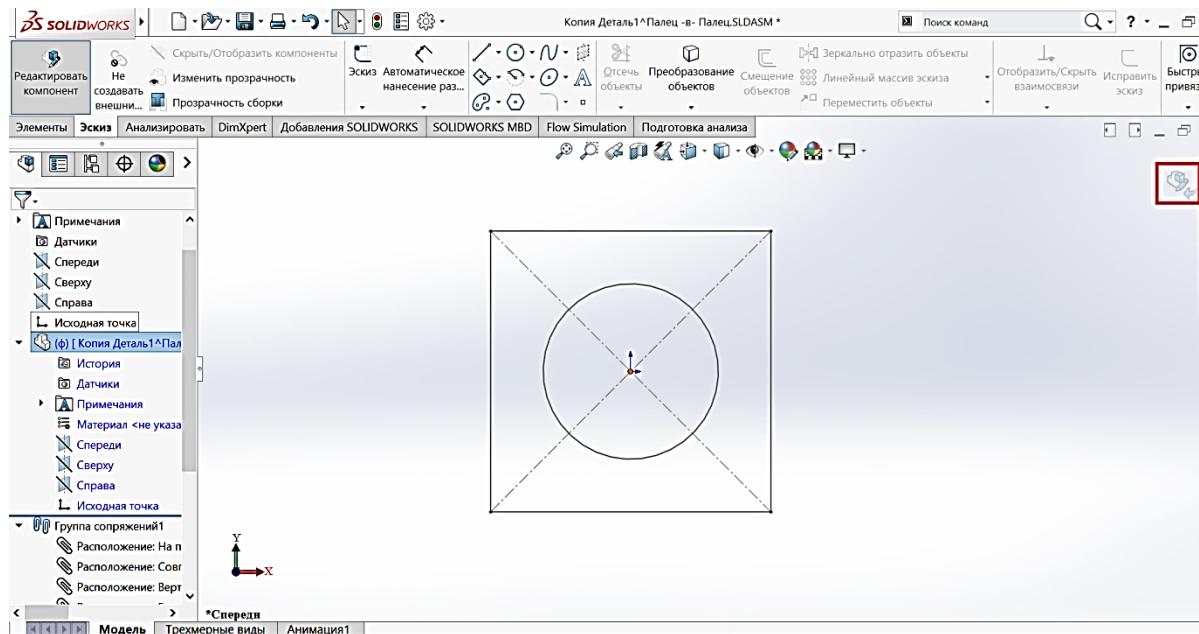


Рис. 84

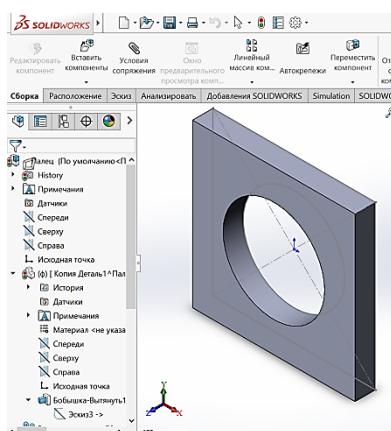


Рис. 85

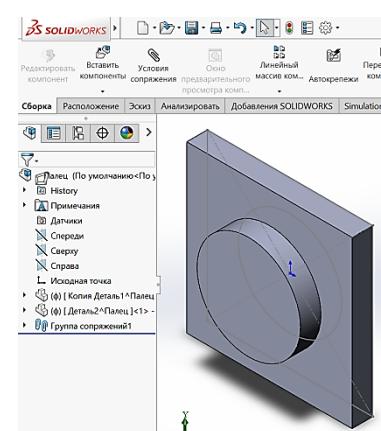


Рис. 86

Как видно из анализа дерева конструирования, первоначально обе детали являются жестко зафиксированными. Разблокировать перемещение деталей можно в контекстном меню, однако при перестроении сборки детали необходимо вернуться к исходному расположению, так как оно определено компоновочным эскизом. Информация о деталях хранится в файле сборки. Для сохранения деталей в виде отдельных файлов можно воспользоваться командой из контекстного меню либо выбрать «Сохранить как» при сохранении сборки. В последнем случае появятся диалоги, позволяющие конкретизировать способ и место сохранения (рис. 87).

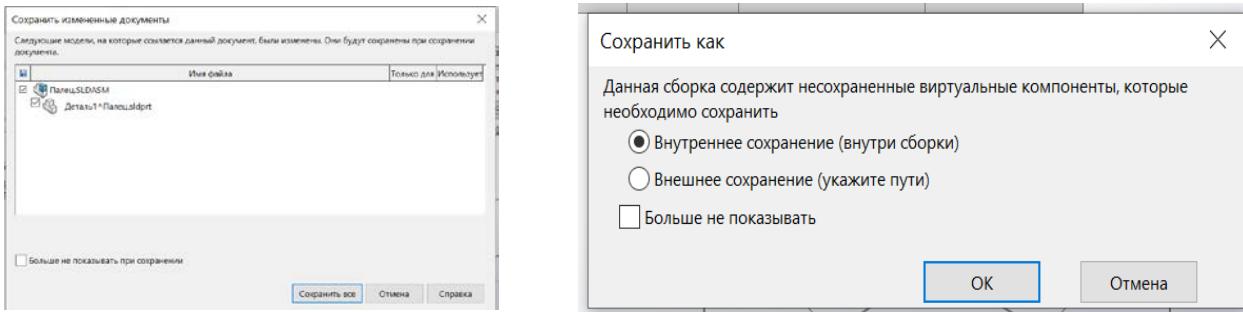


Рис. 87

## Использование библиотек SOLIDWORKS

Создание собственных трехмерных моделей – это естественная часть работы инженера-конструктора. Однако нужно помнить, что большинство используемых в работе деталей стандартизировано, и любая программа трехмерного моделирования предоставляет библиотеки с заранее создаными моделями. Использование библиотек имеет по меньшей мере два преимущества: во-первых, значительно экономит временные затраты на разработку, во-вторых, использование стандартных элементов и узлов в дальнейшем существенно снижает стоимость производства.

Доступ к стандартным библиотекам SolidWorks по умолчанию находится в правой части рабочего окна программы. С точки зрения использования готовых моделей наибольший интерес представляет библиотека Toolbox. В библиотеке первоначальная группировка осуществляется в соответствии со стандартами, используемыми в разных странах (рис. 88). Дальнейшая группировка осуществляется по типам используемых изделий.

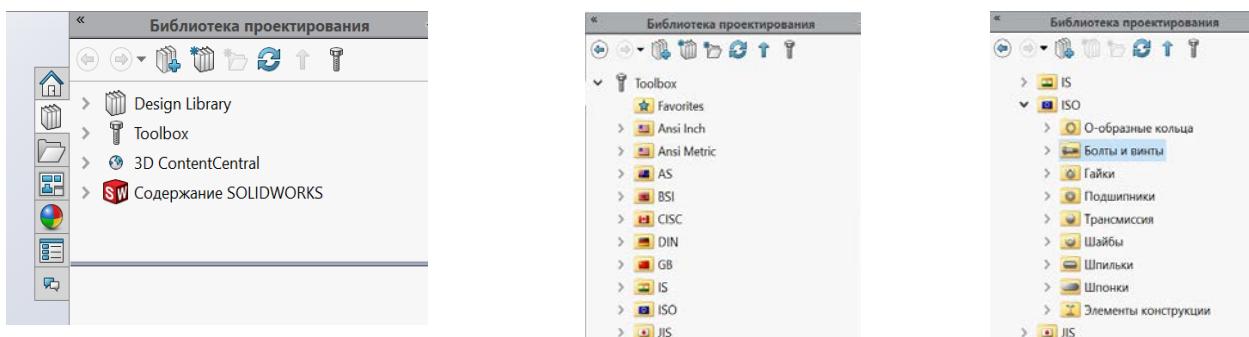


Рис. 88

В качестве примера приведена библиотека болтов и винтов с шестигранными головками (рис. 89). Импорт элемента осуществляется его перетаскиванием из библиотеки в рабочее окно программы. При этом в левой ча-

сти рабочего окна возникнет диалог, позволяющий настроить импортируемый элемент (длина, диаметр, тип резьбы). Параметры настройки зависят от вида импортируемого объекта.

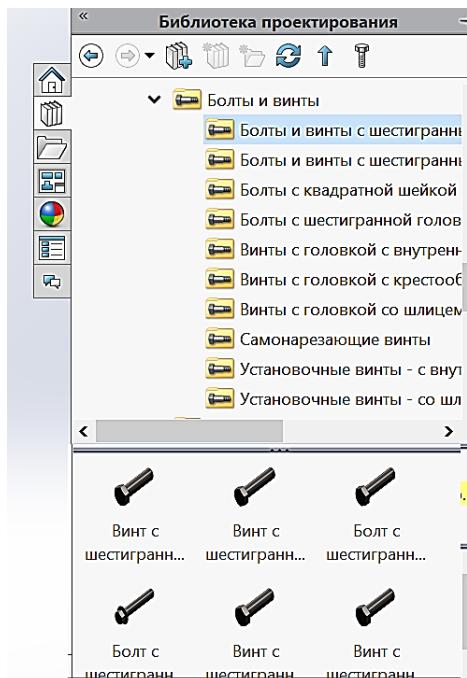


Рис. 89

Еще одним преимуществом использования библиотек является их высокая интегрируемость в сборки, так как для стандартных элементов заранее наложены условия сопряжения, что упрощает процесс взаимного позиционирования деталей.

Библиотека Toolbox не является единственной, например существуют библиотеки деталей и узлов электрической техники. Пользователь может настраивать стандартные библиотеки и дополнительно создавать свои.

Описание возможностей SolidWorks в данном пособии носит, скорее, иллюстративный характер. Наиболее полное описание работы можно найти в разделе обучающих материалов на сайте производителя <https://www.SolidWorks.com>.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящем пособии сделана попытка сформировать у студентов целостное представление о возможностях применения информационных технологий при выполнении конструкторских расчетов. Ввиду того, что само по себе понятие «информационные технологии» крайне широко, наше пособие не претендует на полноту его освещения. Тем не менее авторам хотелось бы сформировать у обучающихся понятие о некоторой последовательности и иерархии при использовании информационных технологий и выполнении практических расчетов.

На базовом уровне проводится расчет механических, физических, химических свойств материалов. Как правило, в основе таких расчетов лежит построение моделей на основе физических и химических законов. Вычисление обычно требует использования мощных математических пакетов, таких как Matlab, Octave, Mathematica, Maple. Использование данных программ продиктовано возможностью самостоятельно определять системы уравнений, описывающих модель, а также применять проработанные алгоритмы решений этих уравнений.

Получаемые на первом уровне решения могут быть переданы дальше и использованы в таких программах, как, например, Ansys и Materials Studio. На данном уровне проводится расчет эксплуатационных свойств материалов, таких как теплопроводность, сопротивление, коррозионная стойкость и т. д. Нужно понимать, что разделение программ на уровни достаточно условно – Ansys может решать системы уравнений, а Matlab содержит модули для расчета электрических свойств материалов.

Следующим шагом является использование таких сред разработки, как SolidWorks, Salome-Meca, «Компас-3D», где осуществляется переход от расчета свойств материалов к проектированию свойств изделий, что проиллюстрировано во второй части учебного пособия.

У студентов не должно остаться впечатления, что на этом процесс применения информационных технологий заканчивается – дальнейшим шагом, видимо, будет использование программ, позволяющих проектировать сам процесс изготовления, программ для логистических расчетов и т. д. В настоящее время быстрое развитие информационных технологий одновременно расширяет и сферу их применения. Коллектив авторов искренне надеется, что сфера профессиональных навыков студентов также будет непрерывно расти, как и их востребованность на производстве.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Дьяконов, В. П. MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 768 с.
2. Гилат, А. MATLAB. Теория и практика / А. Гилат. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 416 с.
3. Использование Matlab и GNU Octave в вычислительной физике : учеб. пособие / А. М. Ласица, Е. А. Рогачев ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – 93 с.
4. Гузненков, В. Н. SolidWorks 2016. Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей / В. Н. Гузненков, П. А. Журбенко, Т. П. Бондарева. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 128 с.
5. Материаловедение : учеб. для студентов вузов / В. С. Кушнер [и др.] – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 252 с.

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Задание 1. Исследовать процессы теплопереноса в конструкционных материалах.

Исходя из номера варианта (соответствует последней цифре номера зачетной книжки студента) и данных, приведенных в табл. 5, сделайте расчет времени, необходимого для плавления материала  $t_{\text{пл}}$ , и постройте график зависимости плотности теплового потока от времени. В качестве геометрической модели используйте цилиндр длиной  $L = 0.5$  м и диаметром  $D = 10$  см. Начальную температуру примите равной  $T_0 = 293$  К. Для времени, равного  $0.5t_{\text{пл}}$ , сделайте расчет распределения температуры в образце, а также постройте графики зависимости скорости нагревания от времени в трех сечениях – на расстояниях  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  длины образца. Для численных расчетов используйте одномерную модель.

Таблица 5

№ варианта	Материал	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$C_V$ , $\frac{\text{МДж}}{(\text{м}^3 \cdot \text{К})}$	$\alpha \cdot 10^{-6}$ , $\text{м}^2/\text{с}$	$\theta_{\text{пл}}$ , К	Удельная теплота плавления $L$ , КДж/кг	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\theta_C$ , К
1	Титан	16	0.532	6.31	1943	358	4540.6	2500
2	Алюминий	228	0.896	94.44	933.4	393	2700	1500
3	Сплав Al-Cu (дюралюминий 94–96 % Al; 3–5 % Cu; следы Mg)	180	0.883	66.67	873	390	2800	1200
4	Сплав Al-Mg (91–95 % Al; 5–9 % Mg)	120	0.904	48.08	863	380	2600	1000
5	Сплав Al-Si (87 % Al; 13 % Si)	174	0.871	71.67	848	370	2660	1100
6	Медь	370	0.385	112.22	1357.5	210	8950	1700
7	Алюминиевая бронза (95 % Cu; 5 % Al)	83	0.41	23.31	1333	215	8660	1900
8	Оловянная бронза (75 % Cu; 25 % Sn)	26	0.343	8.61	1023	170	8660	2000
9	Латунь (70 % Cu; 30 % Zn)	125	0.385	34.17	1223	210	8520	1600
10	Магний	168	1.013	97.22	924	370	1745	1350

## **Задание 2. Исследовать процессы теплопереноса в аэрогелях.**

Используя таблицу вариантов (табл. 6, номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки студента), промоделируйте для заданного аэрогеля процесс теплопереноса при постоянной температуре на одной из границ и постоянном тепловом потоке на одной из границ. В качестве физических констант, описывающих свойства материалов, используйте средние значения из табл. 1. Для расчета примите значение изобарной удельной теплоемкости  $c_p = 2000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , мощность источника  $P = 500 \text{ Вт}$ , начальную температуру  $T_0 = 293 \text{ К}$ . В качестве геометрической модели используйте параллелепипед длиной  $L = 1 \text{ см}$ , шириной и высотой  $B = H = 10 \text{ см}$ . Для расчетов используйте одномерную модель. Постройте графики зависимости распределения температуры по длине образца, а также графики зависимости скорости нагревания от времени в трех сечениях – на расстояниях  $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$  длины образца. Сделайте заключение о теплофизических свойствах аэрогелей.

*Таблица 6*

№ варианта	Производитель	Продукт	Температура на передней грани, К	Время воздействия, с
1	Aspen aerogels	Cryogel	670	250
2	Aspen aerogels	Spaceloft	510	300
3	Aspen aerogels	Pyrogel	410	150
4	Separex	Separex1	380	280
5	Separex	Separex2	500	230
6	Separex	Separex3	80	120
7	Marke Tech International Inc.	MTI1	550	140
8	Airglass	Airglass 1	650	260
9	NanoPore	HP-150	25	100
10	NanoPore	HT-170	50	200

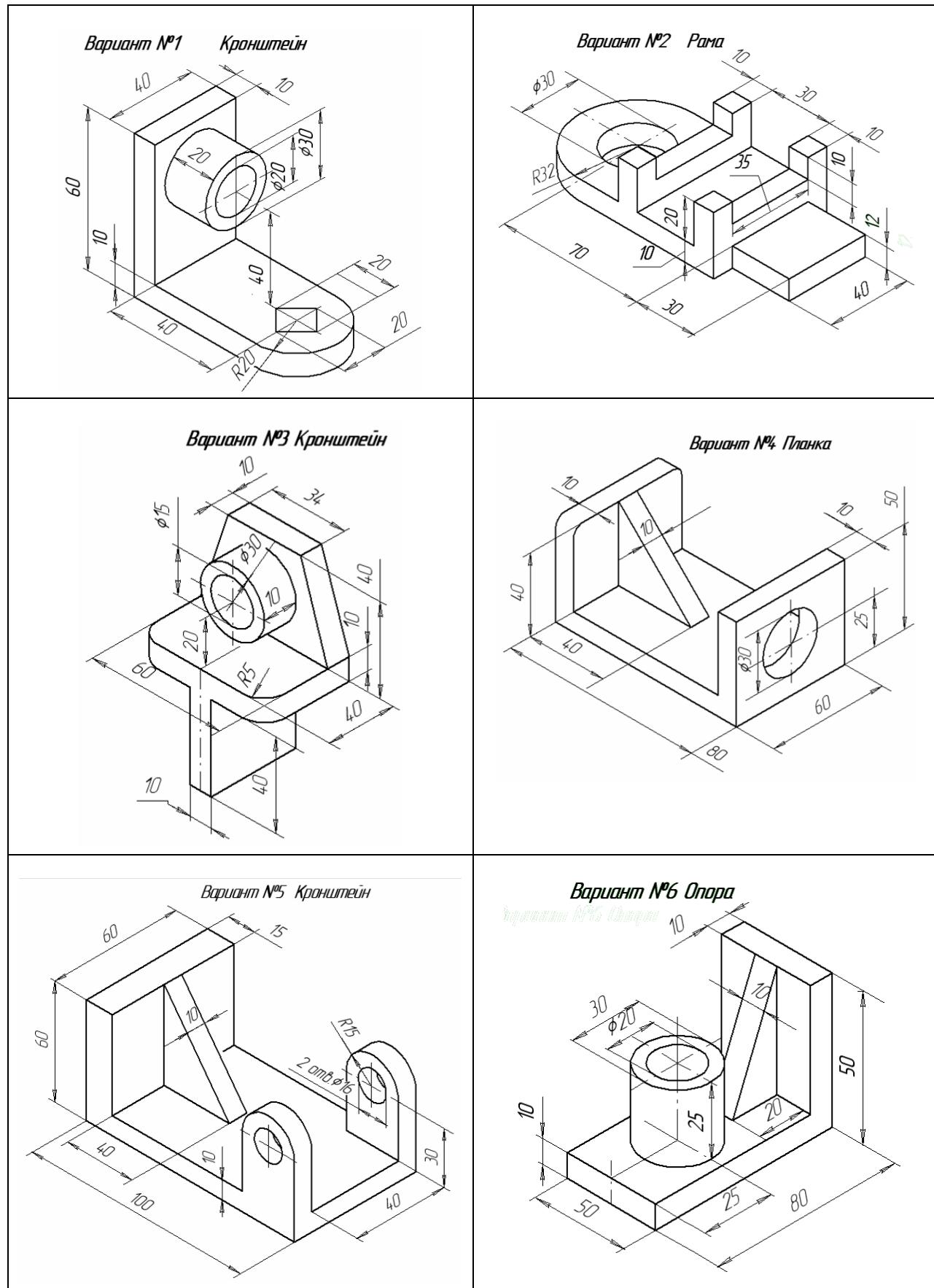
### **Задание 3. Смоделировать процессы биодеструкции.**

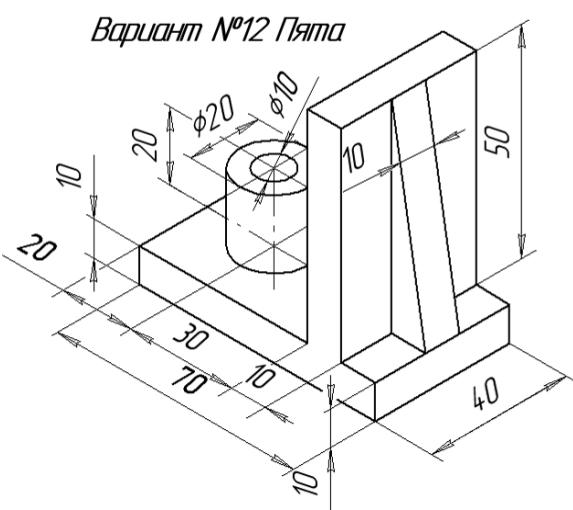
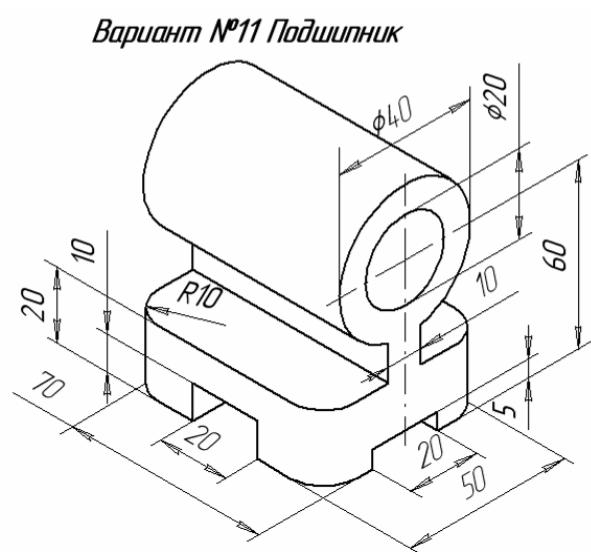
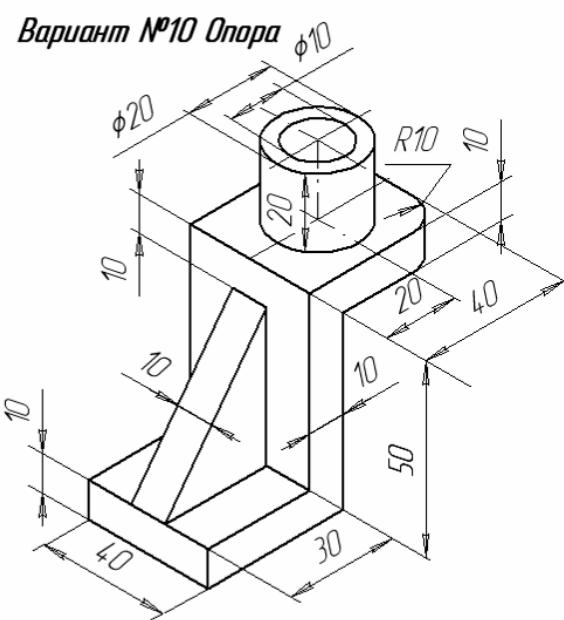
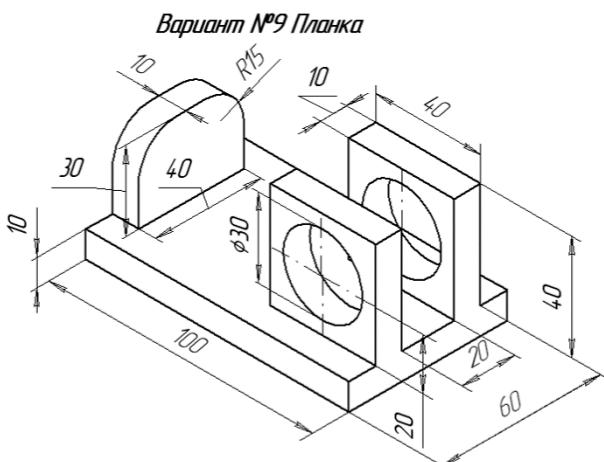
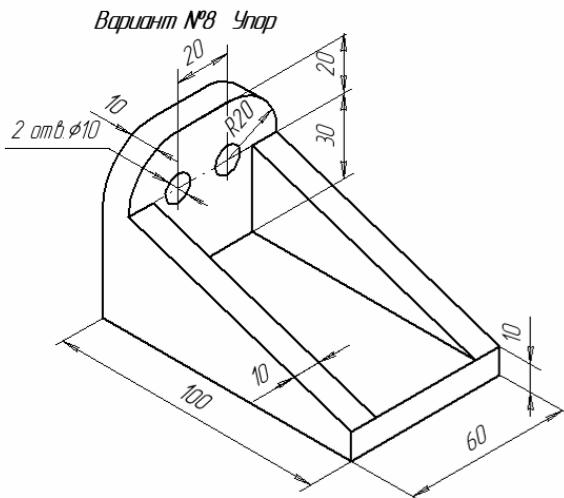
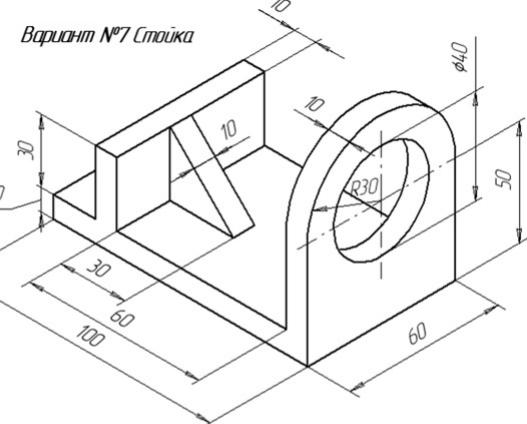
Используя табл. 2 и 3 с данными о биодеструкции субстрата листьев тополя бальзамического (опад) (*Populus balzamifera* L.) двумя штаммами грибов рода *Trichoderma* – T. *Aspirellum* (M99-9) и T. *Aspirellum* (K6-15) – и табл. 7 (номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки студента), определите для каждого из указанных веществ коэффициент  $\alpha$ , рассчитайте ожидаемые массы заданных веществ через три месяца биодеструкции. Постройте графики зависимости массы от времени.

*Таблица 7*

№ варианта	Компонент табл. 1	Компонент табл. 2
1	Лигниновые вещества	Лигниновые вещества
2	Гуминовые вещества	Гуминовые вещества
3	Вещества, экстрагируемые этиловым спиртом	Вещества, экстрагируемые горячей водой
4	Минеральные вещества	Минеральные вещества
5	Сумма полисахаридов	Трудногидролизуемые полисахариды
6	Лигниновые вещества	Трудногидролизуемые полисахариды
7	Гуминовые вещества	Минеральные вещества
8	Вещества, экстрагируемые этиловым спиртом	Минеральные вещества
9	Минеральные вещества	Вещества, экстрагируемые горячей водой
10	Сумма полисахаридов	Лигниновые вещества

**Задание 4. Построить трехмерную модель детали согласно варианту. Построить из модели 2D-чертеж, оформить его по ЕСКД.**

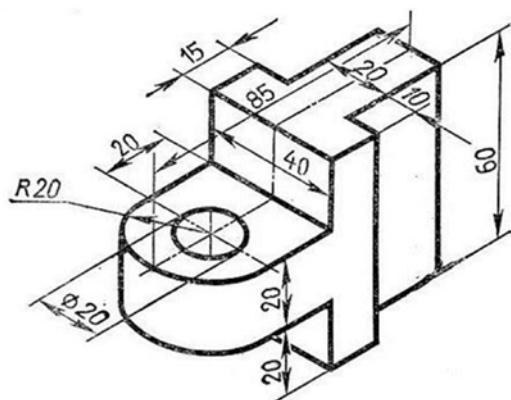




**Задание 5. Построить трехмерную модель детали согласно варианту. Построить из модели 2D-чертеж, оформить его по ЕСКД.**

<p>Вариант № 1</p> <p>Призма</p>	<p>Вариант № 2</p> <p>Вилка</p>
<p>Вариант № 3</p> <p>Корпус</p>	<p>Вариант № 4</p> <p>Ползун</p>
<p>Вариант № 5</p> <p>Кронштейн</p>	<p>Вариант № 6</p> <p>Угольник</p>

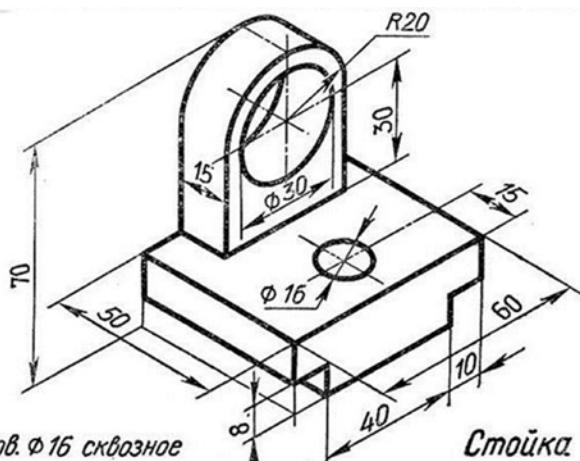
Вариант № 7



Отв.  $\phi 20$  сквозное

Вкладыш

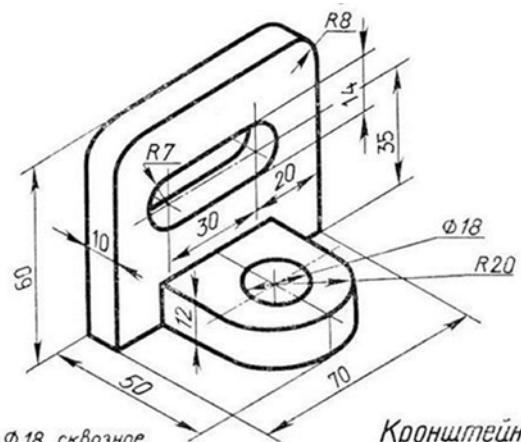
Вариант № 8



Отв.  $\phi 16$  сквозное

Стойка

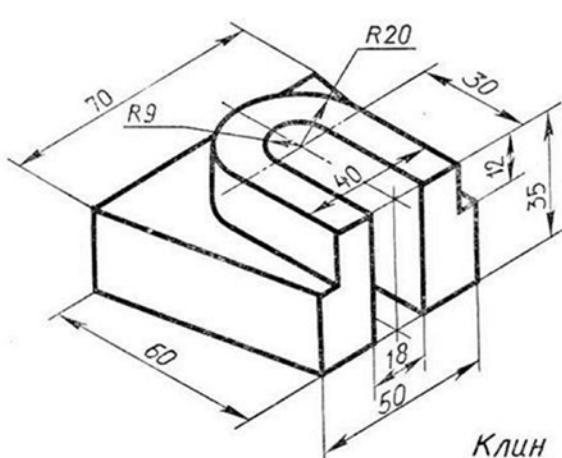
Вариант № 9



Отв.  $\phi 18$  сквозное

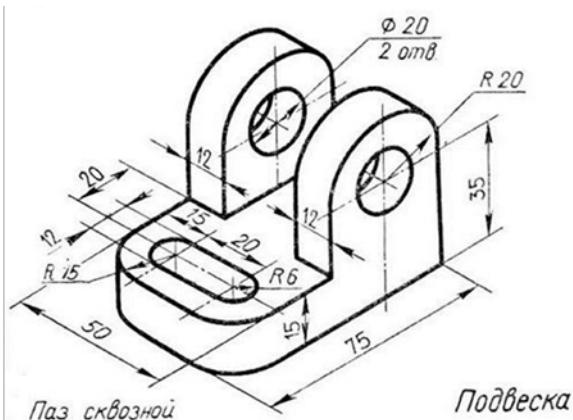
Кронштейн

Вариант № 10



Клин

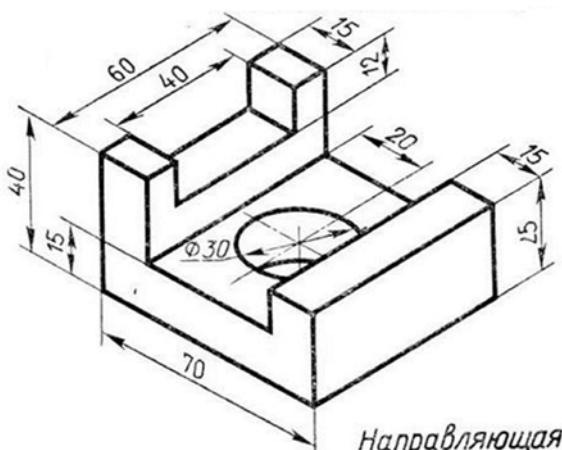
Вариант № 11



Паз сквозной

Подвеска

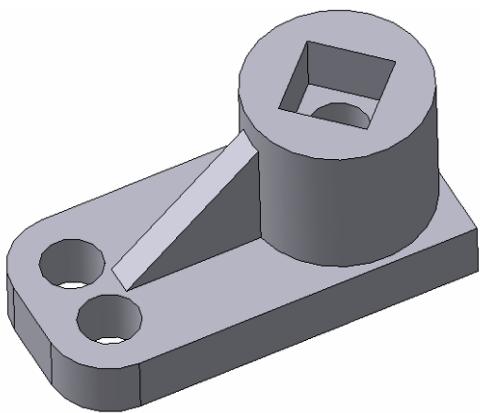
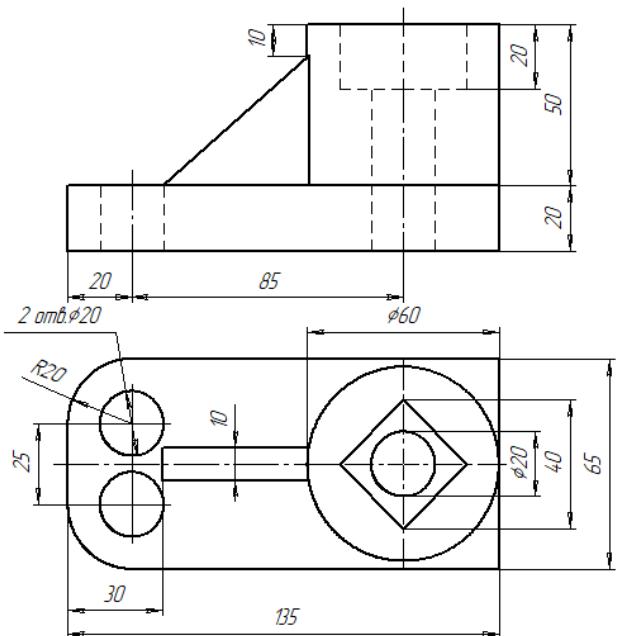
Вариант № 12



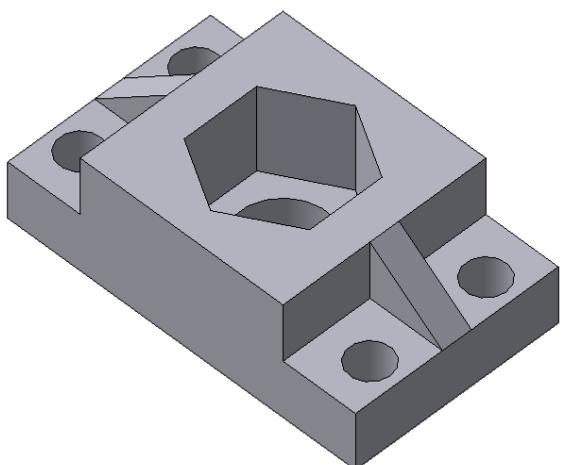
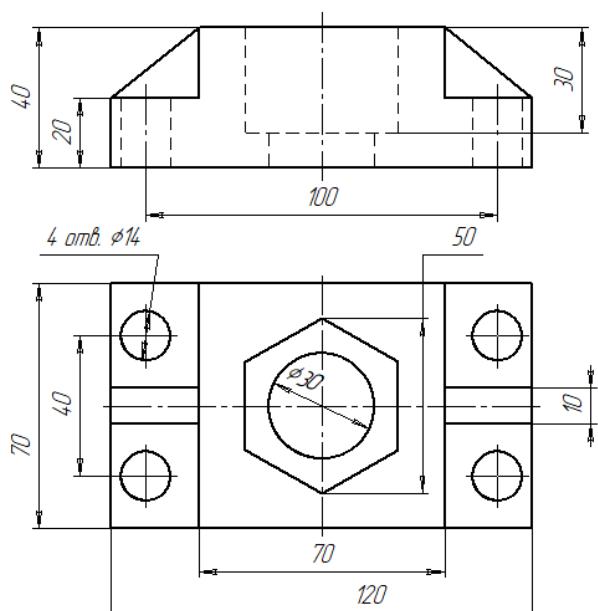
Направляющая

**Задание 6. Построить трехмерную модель детали согласно варианту. Построить из модели 2D-чертеж, оформить его по ЕСКД.**

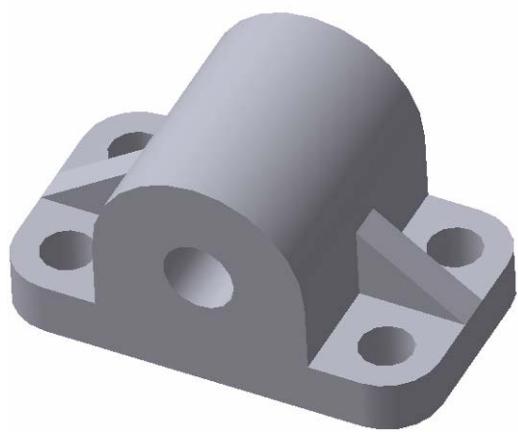
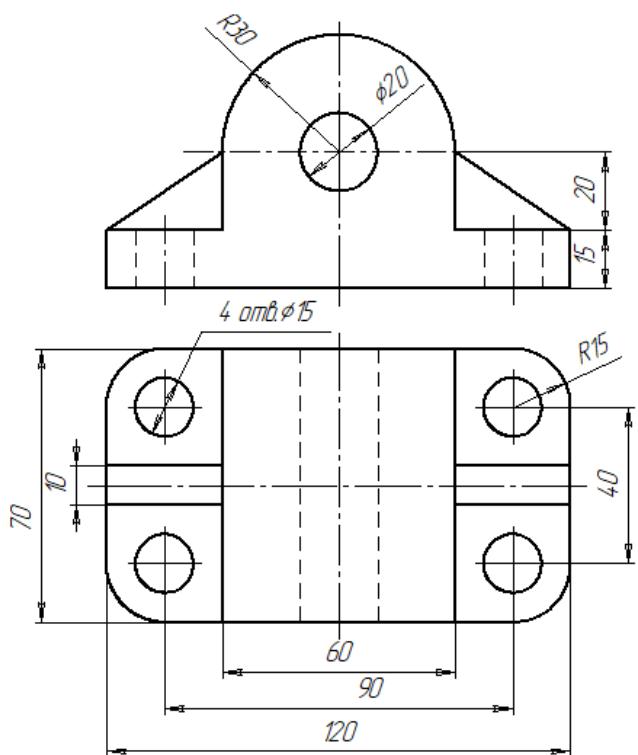
## Вариант № 1



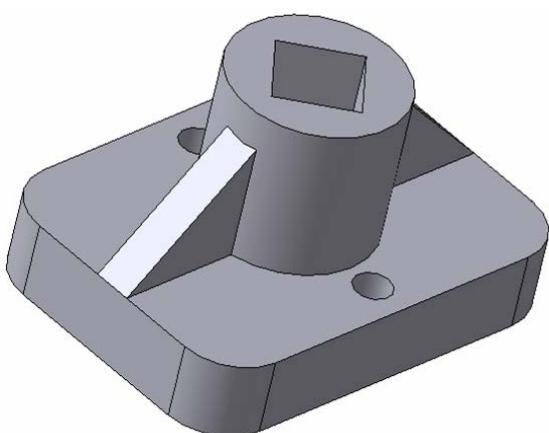
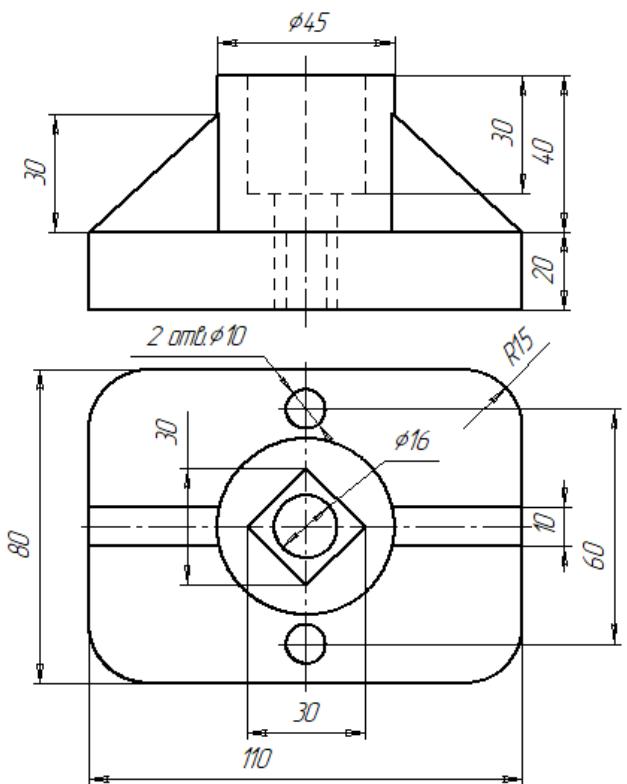
## Вариант № 2



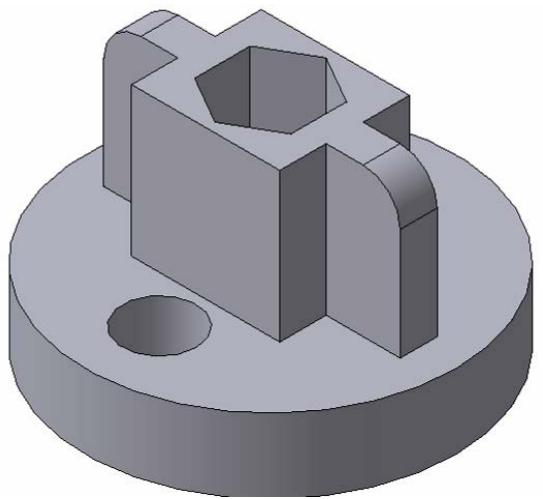
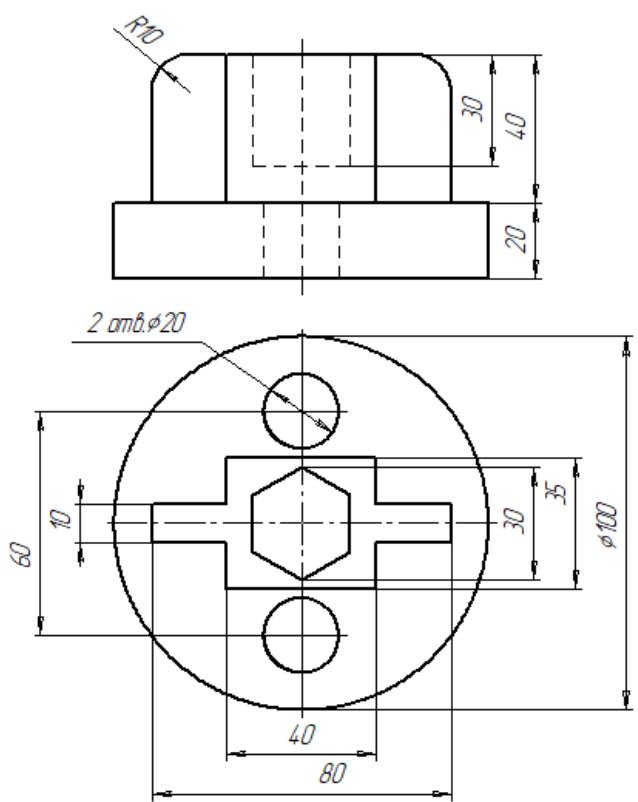
Вариант № 3



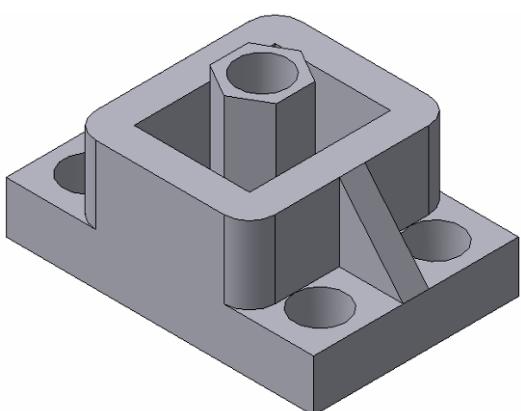
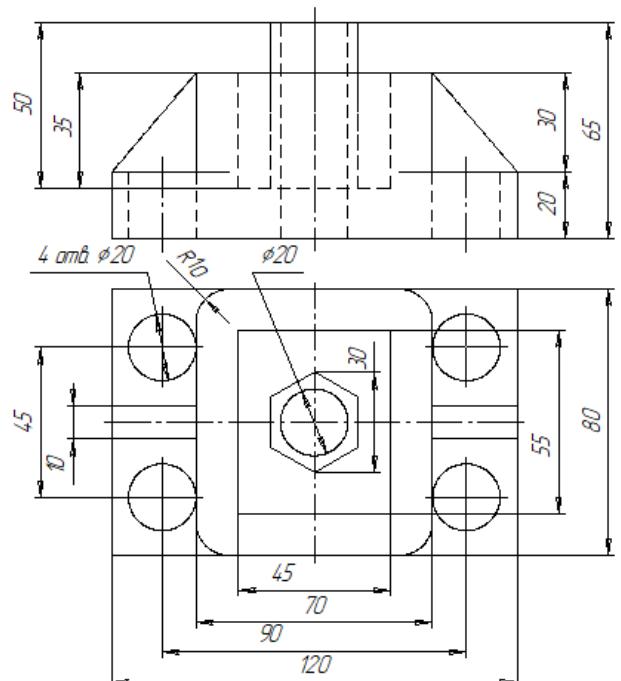
Вариант № 4



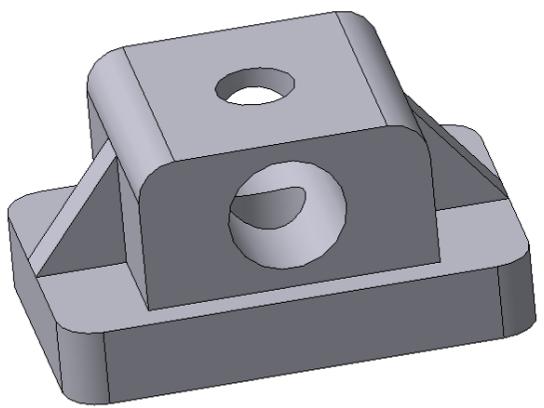
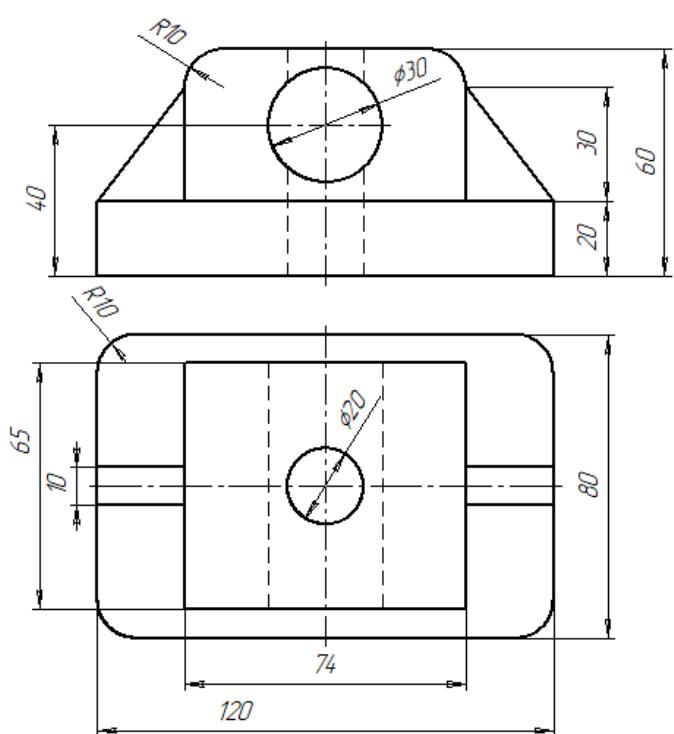
Вариант № 5



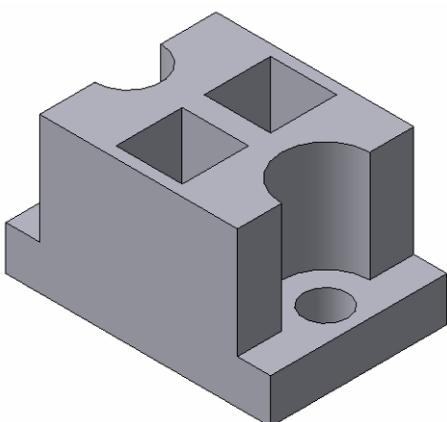
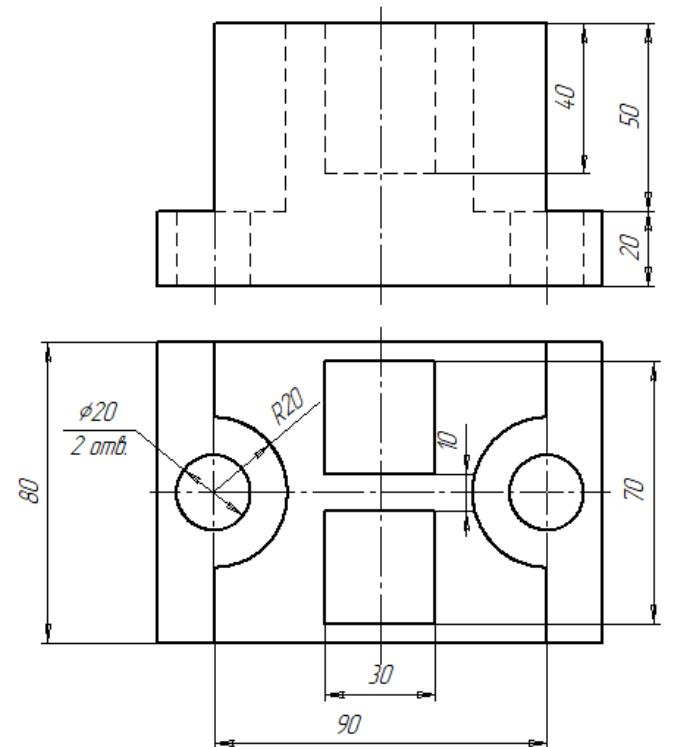
Вариант № 6



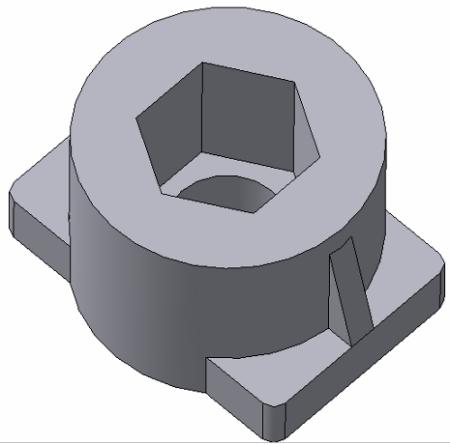
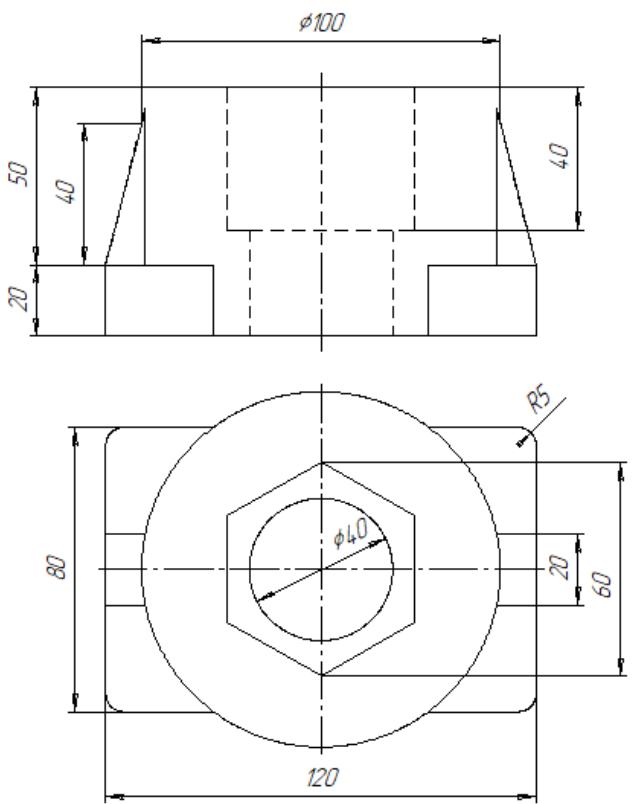
Вариант № 7



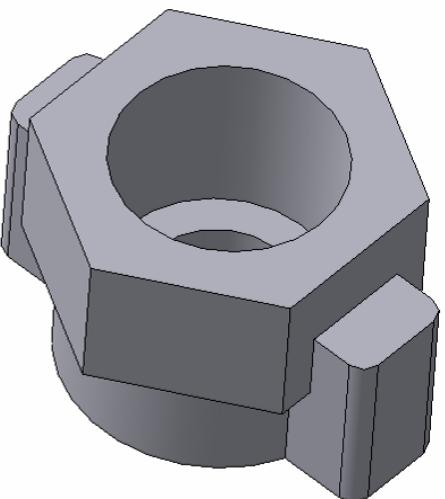
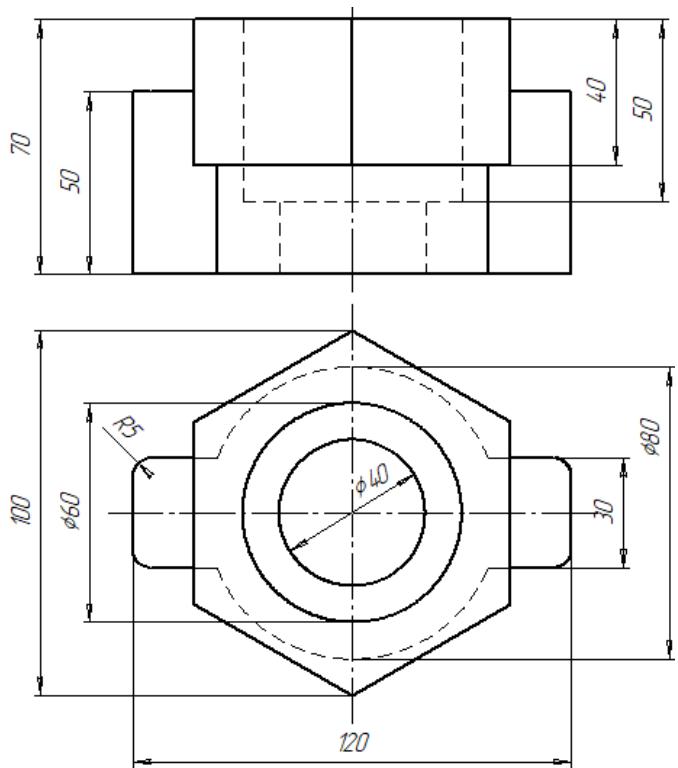
Вариант № 8



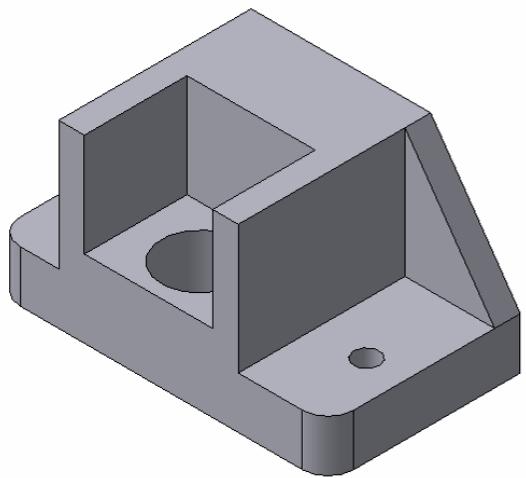
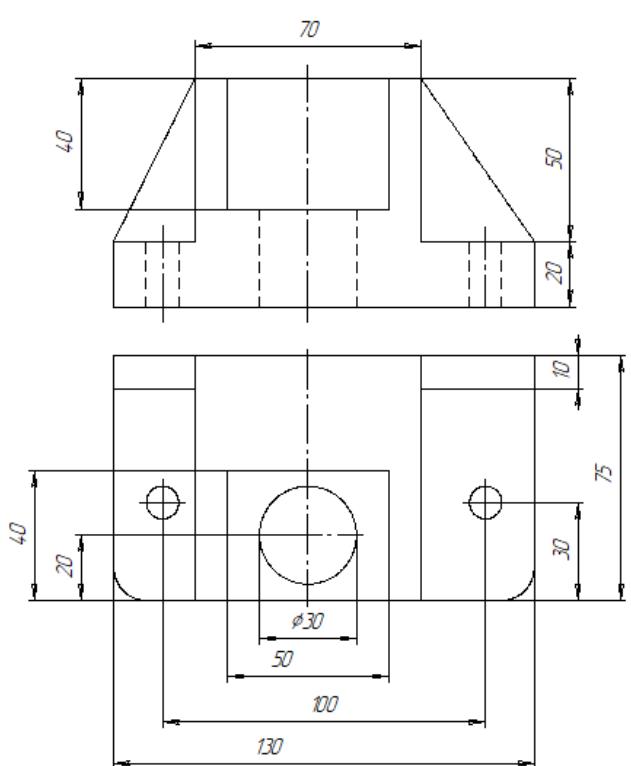
Вариант № 9



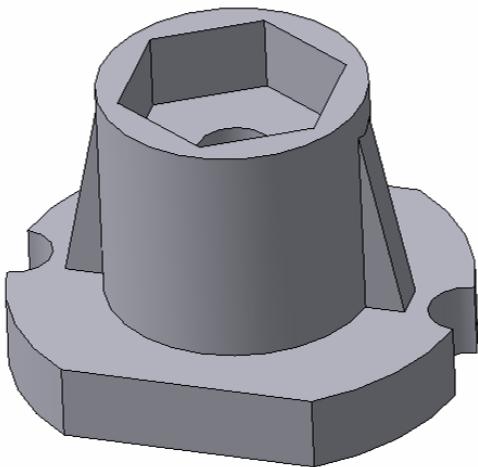
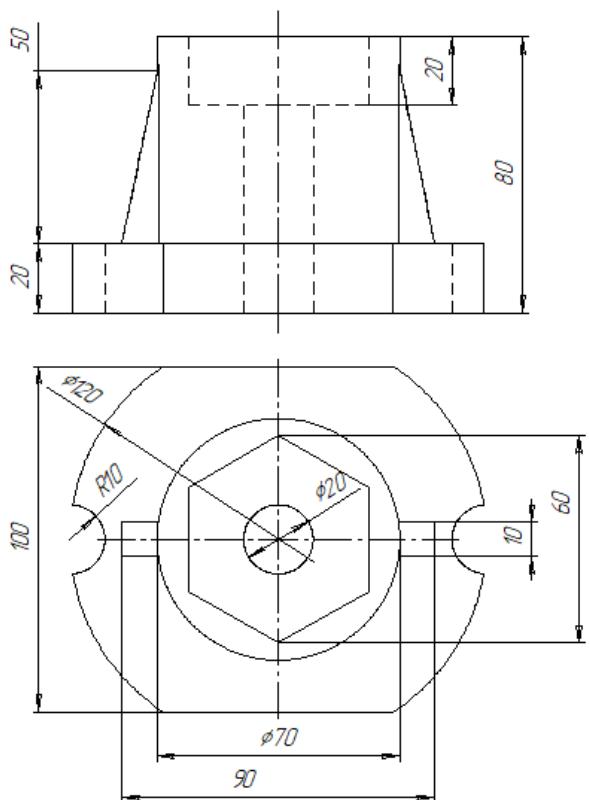
Вариант № 10



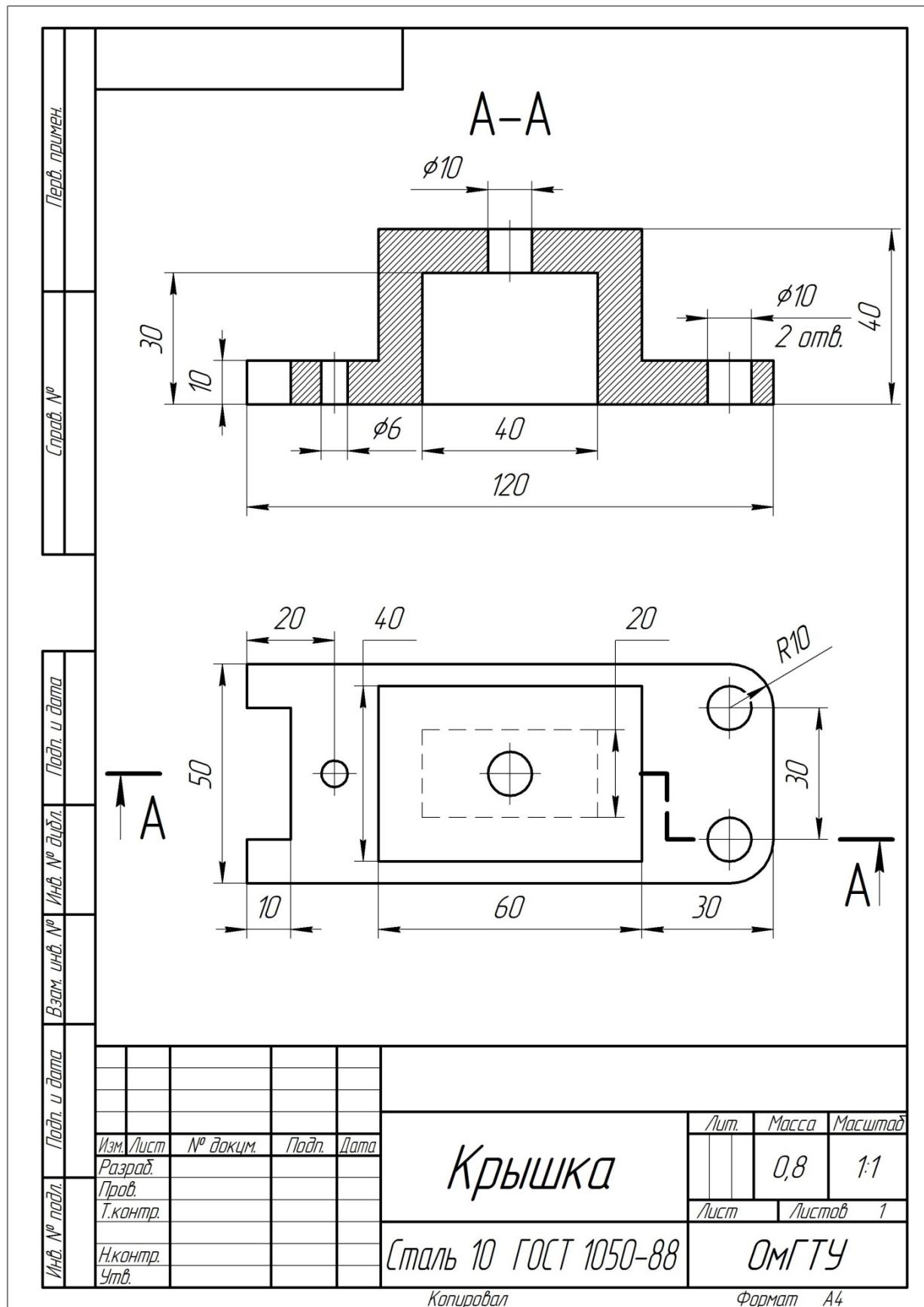
### Вариант № 11



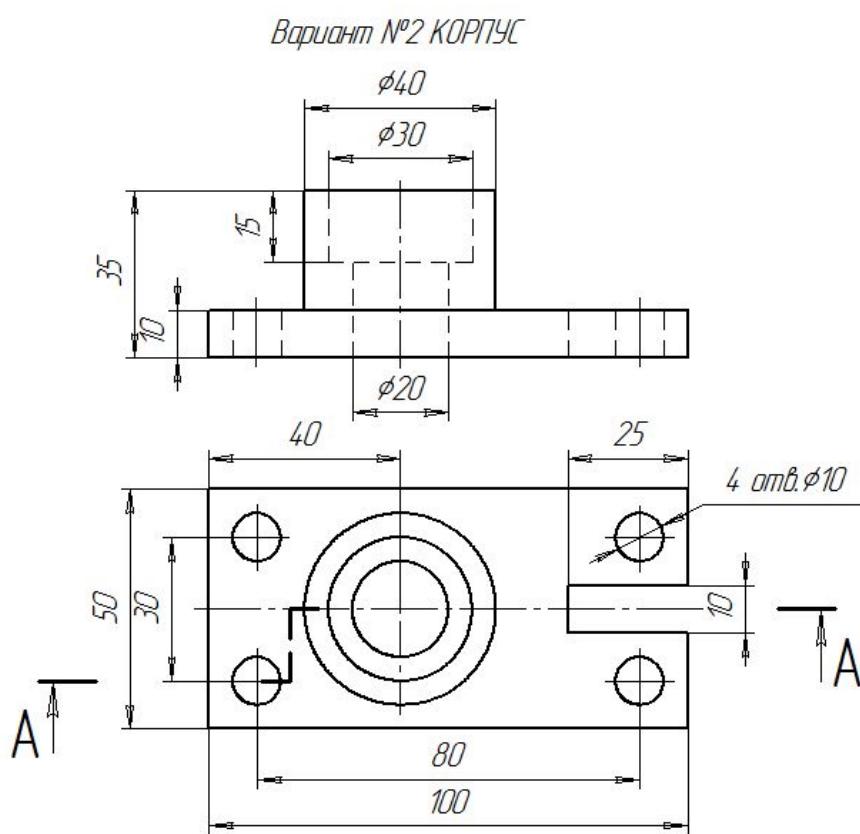
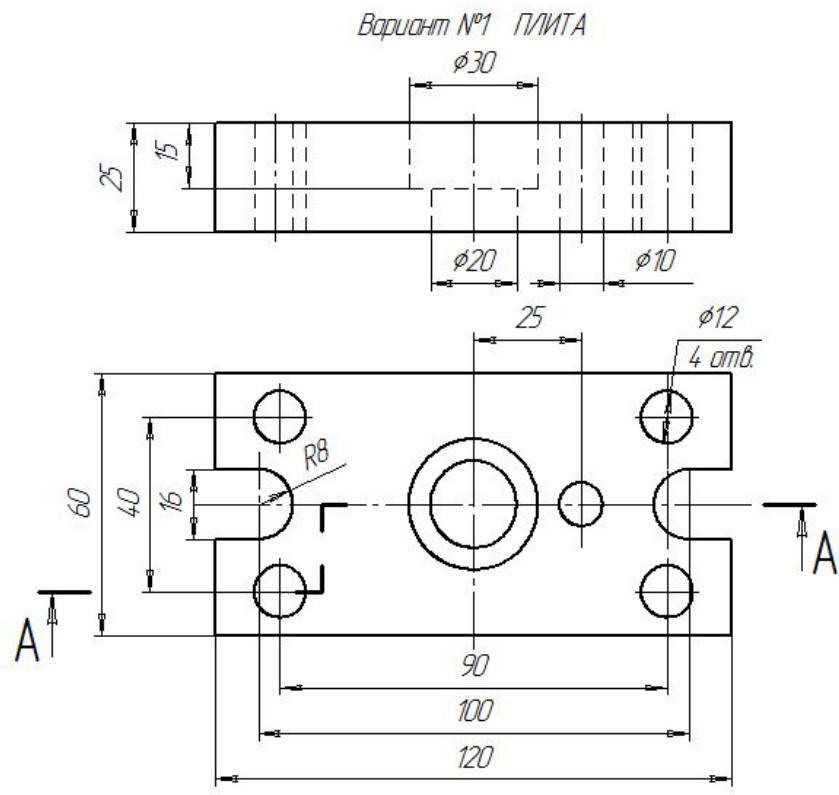
### Вариант № 12



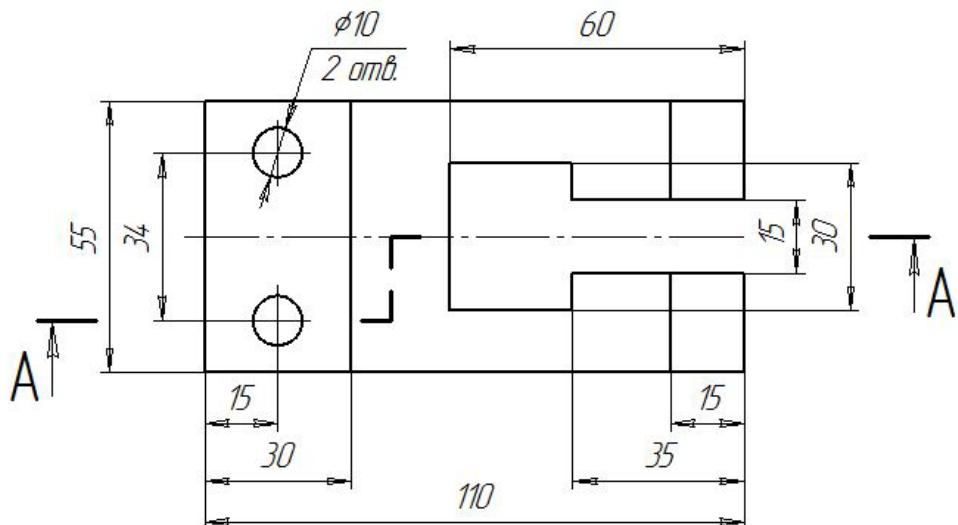
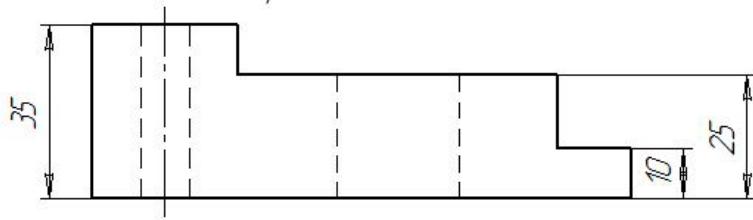
**Задание 7. Построить трехмерную модель детали. Построить 2D-чертеж детали со ступенчатым разрезом, указанным в задании.**



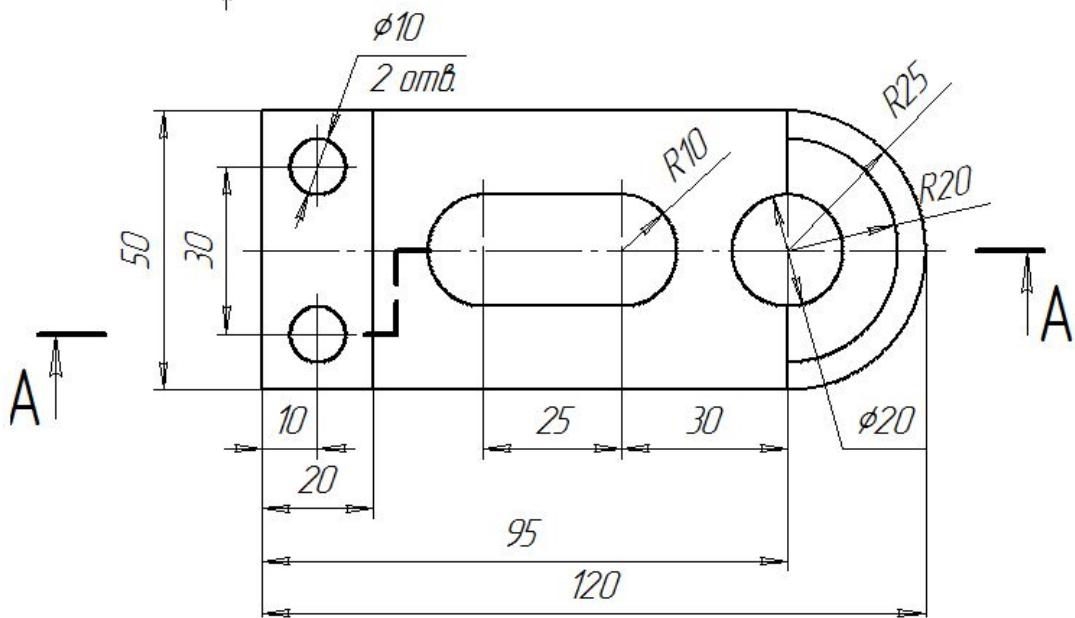
**Задание 8. Построить трехмерную модель детали согласно заданию.  
Построить 2D-чертеж детали со ступенчатым разрезом, указанным в задании.**



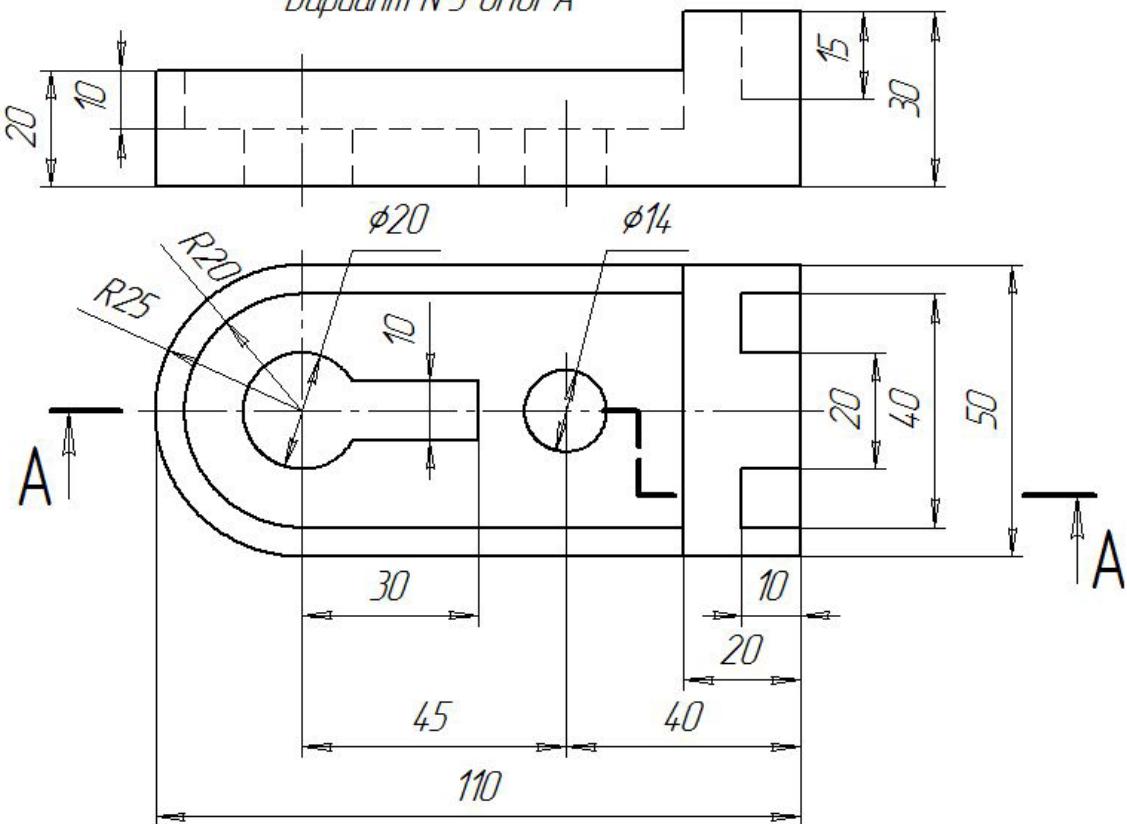
Вариант №3 ОПОРА



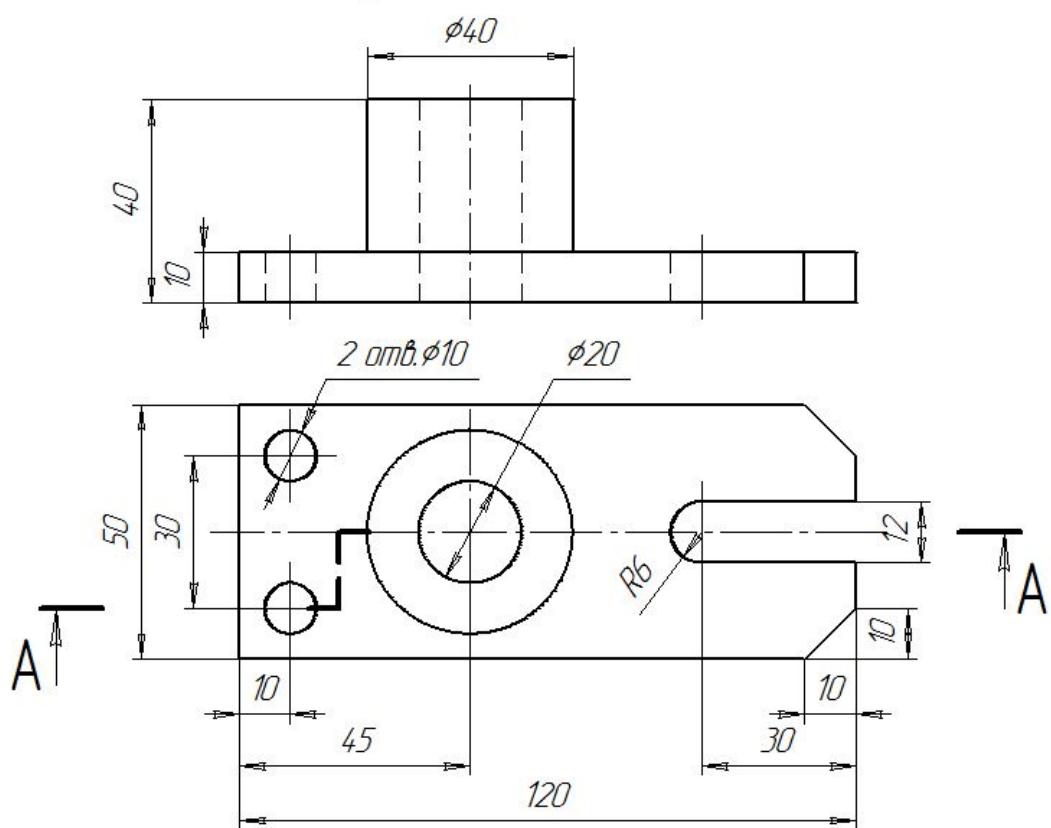
Вариант №4 УПОР



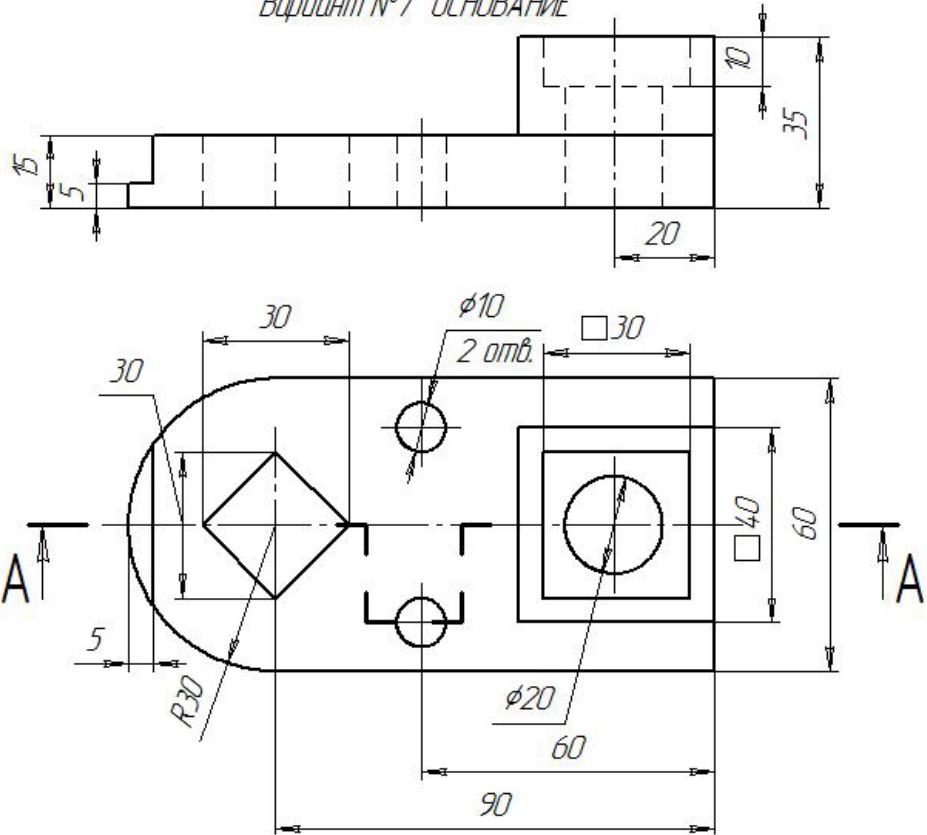
*Вариант №5 ОПОРА*



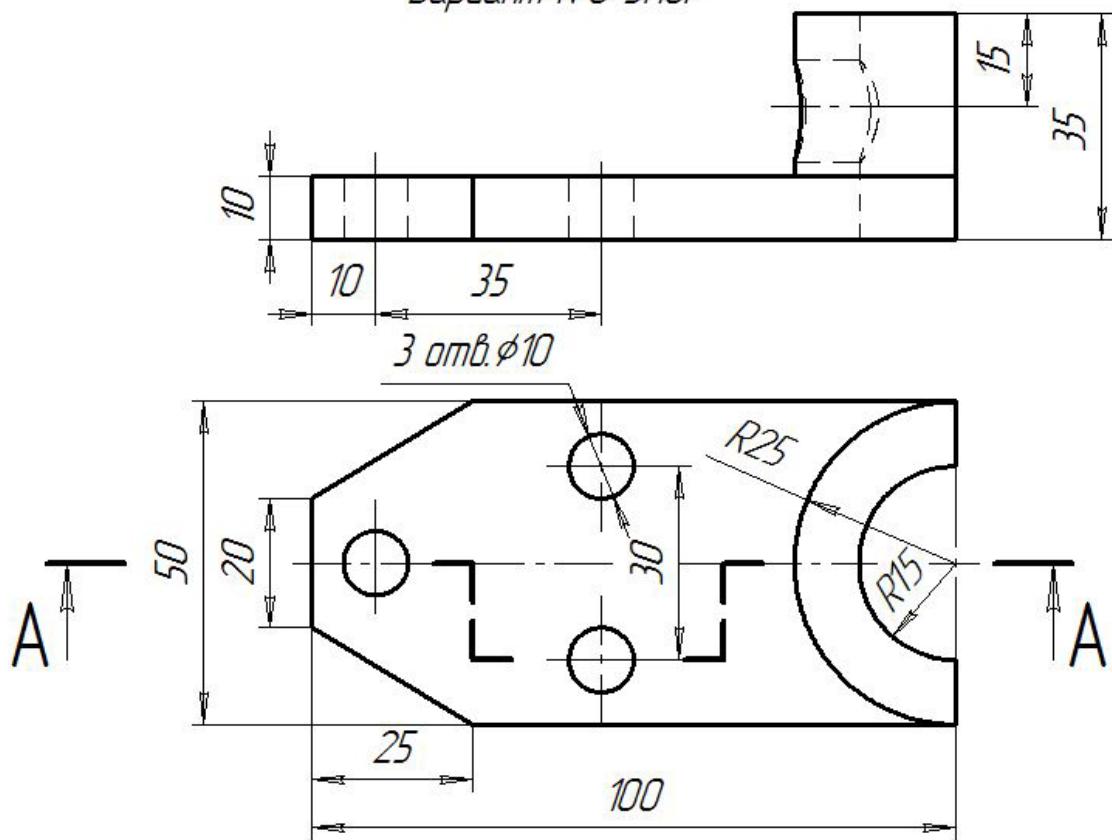
*Вариант №6 ПЛИТА*



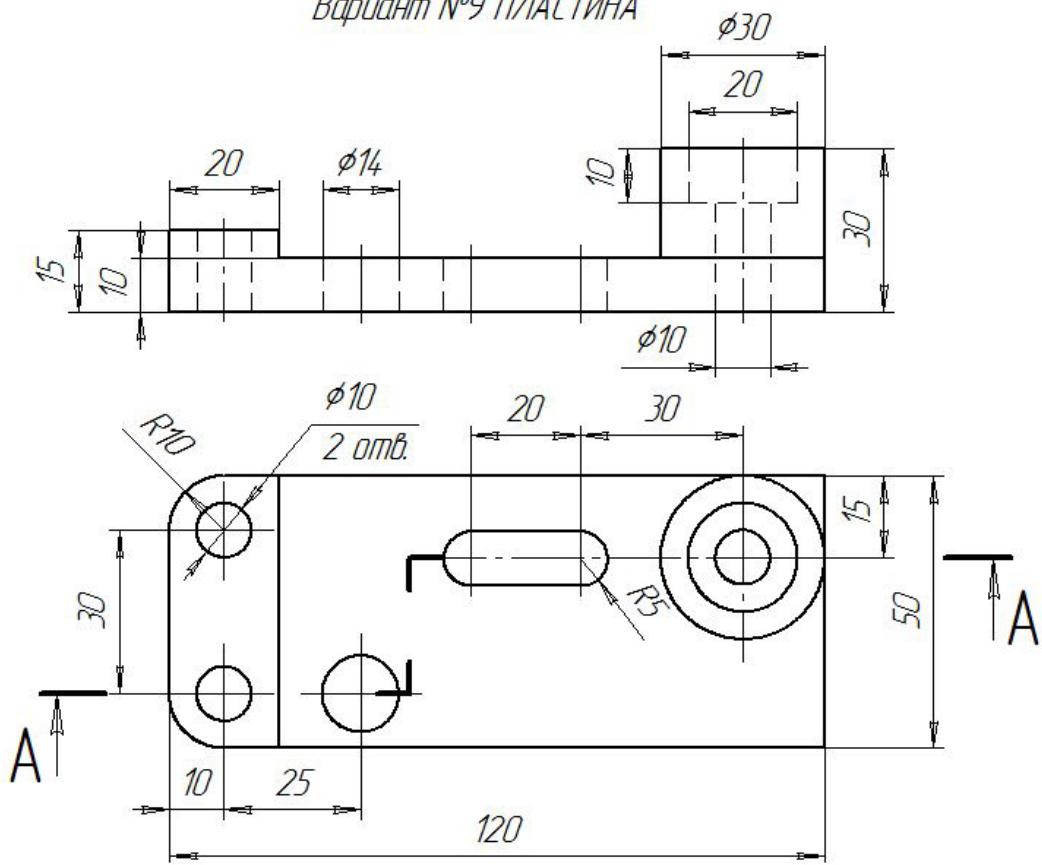
Вариант №7 ОСНОВАНИЕ



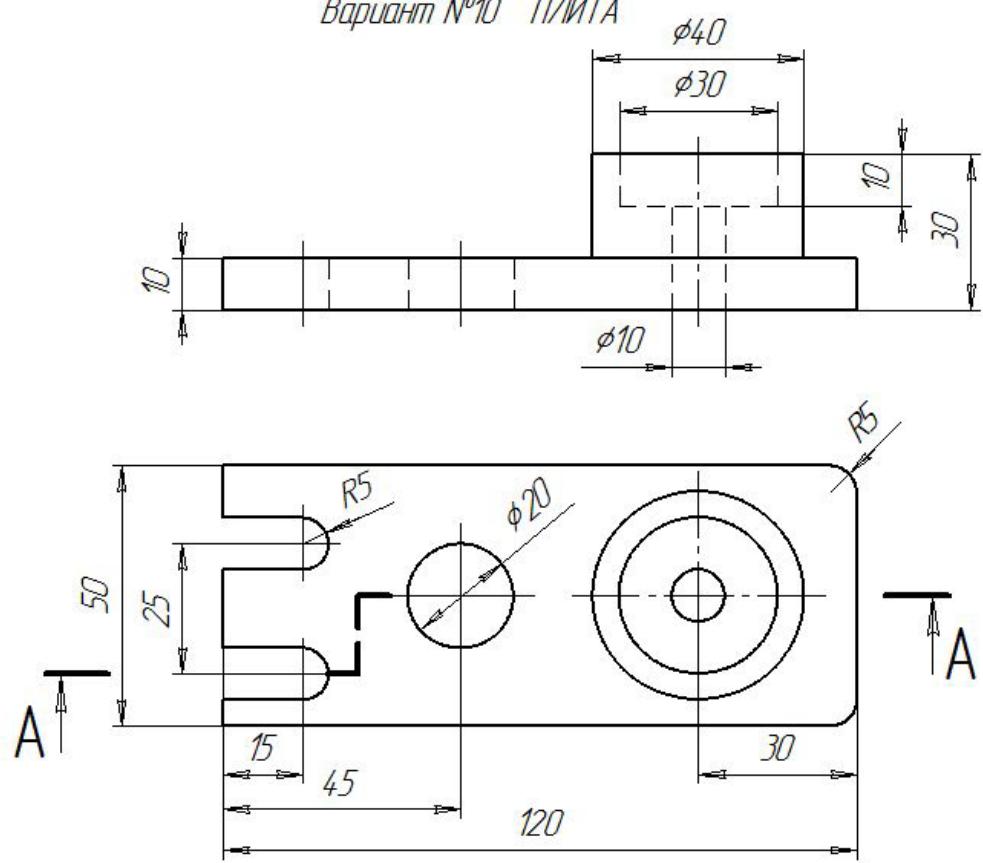
Вариант №8 УПОР



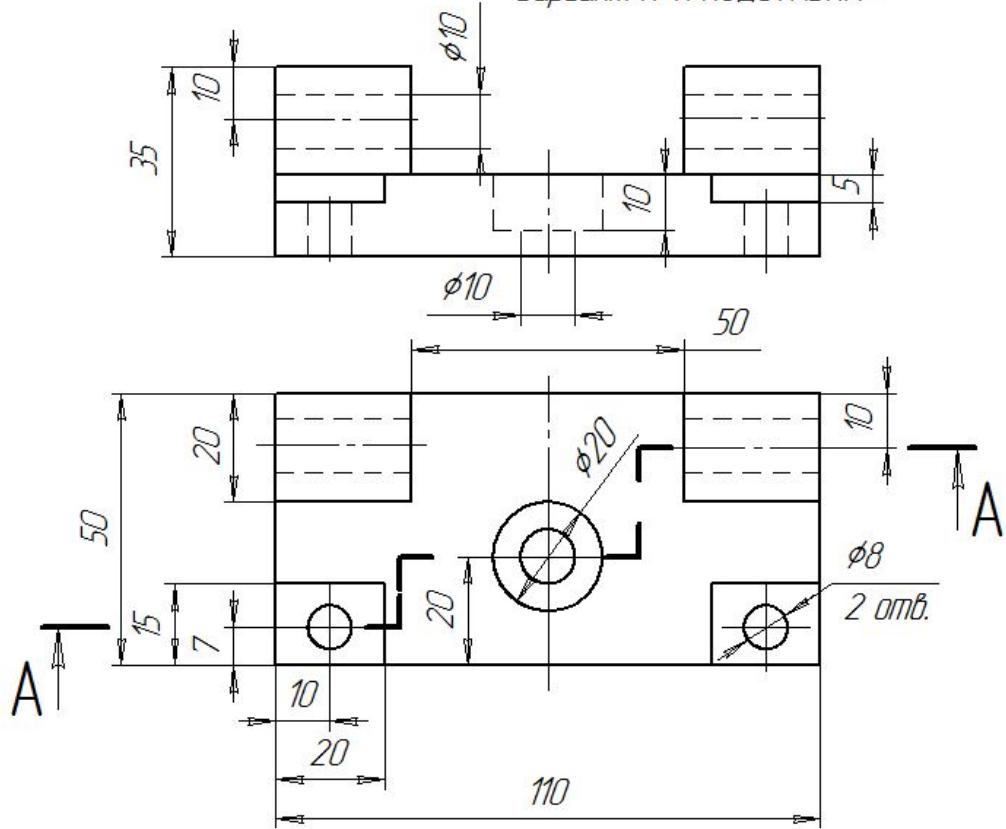
Вариант №9 ПЛАСТИНА



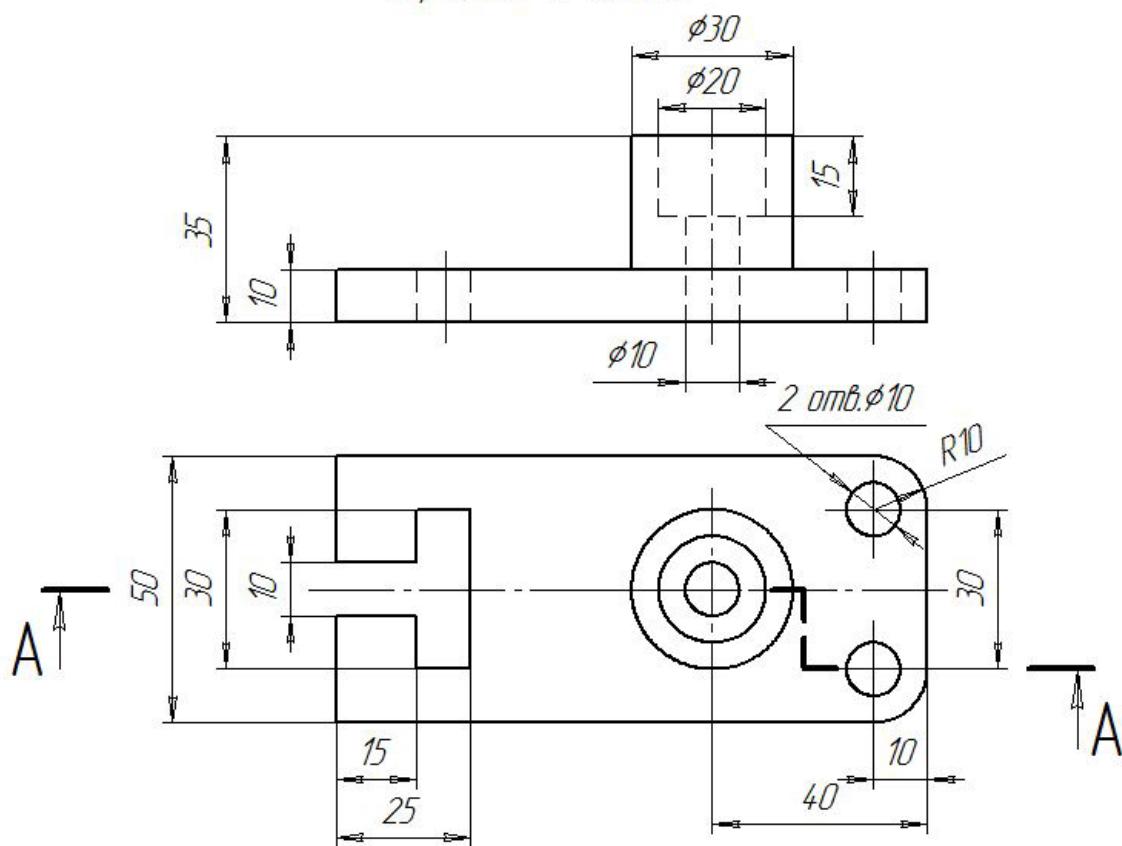
Вариант №10 ПЛИТА



Вариант №11 ПОДСТАВКА

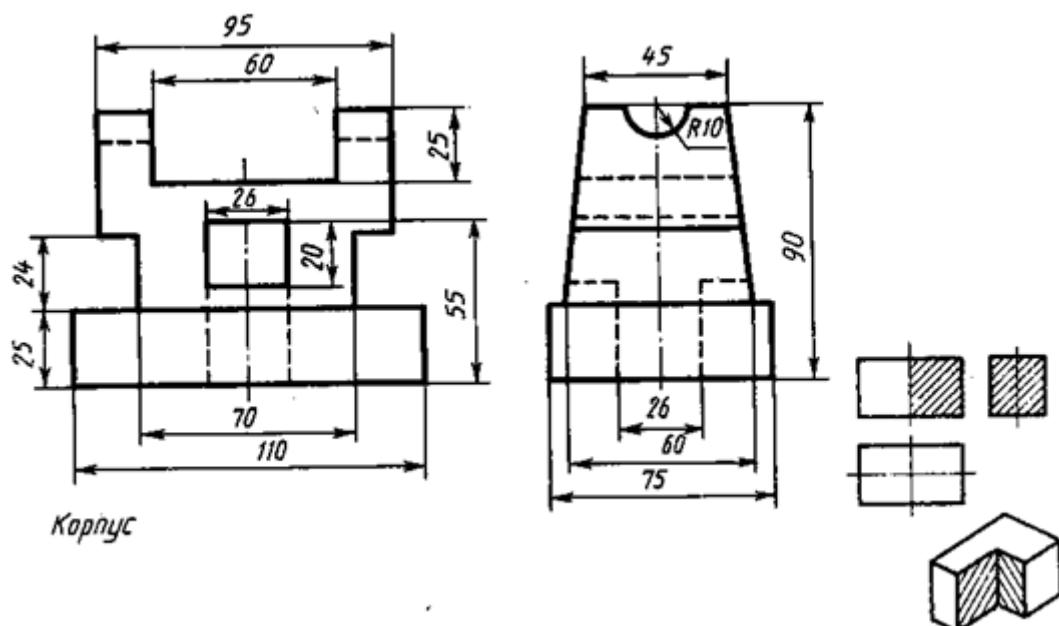


Вариант №12 КОРПУС

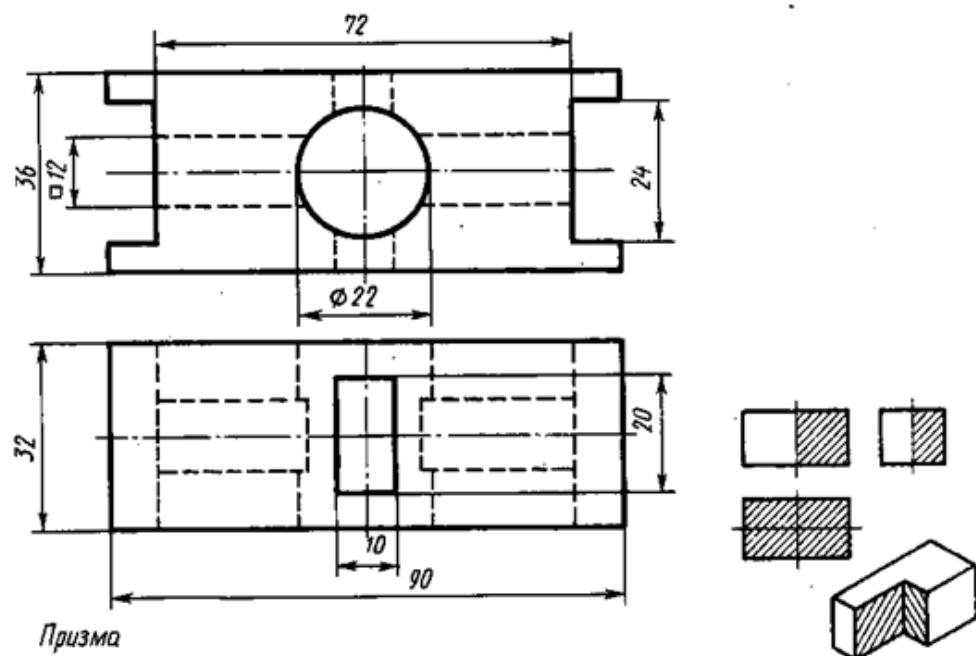


**Задание 9. Построить трехмерную модель детали согласно заданию. Построить 2D-чертеж детали с применением разрезов, указанных в схеме, изометрическую проекцию учебной модели с вырезом передней четверти. Нанести размеры.**

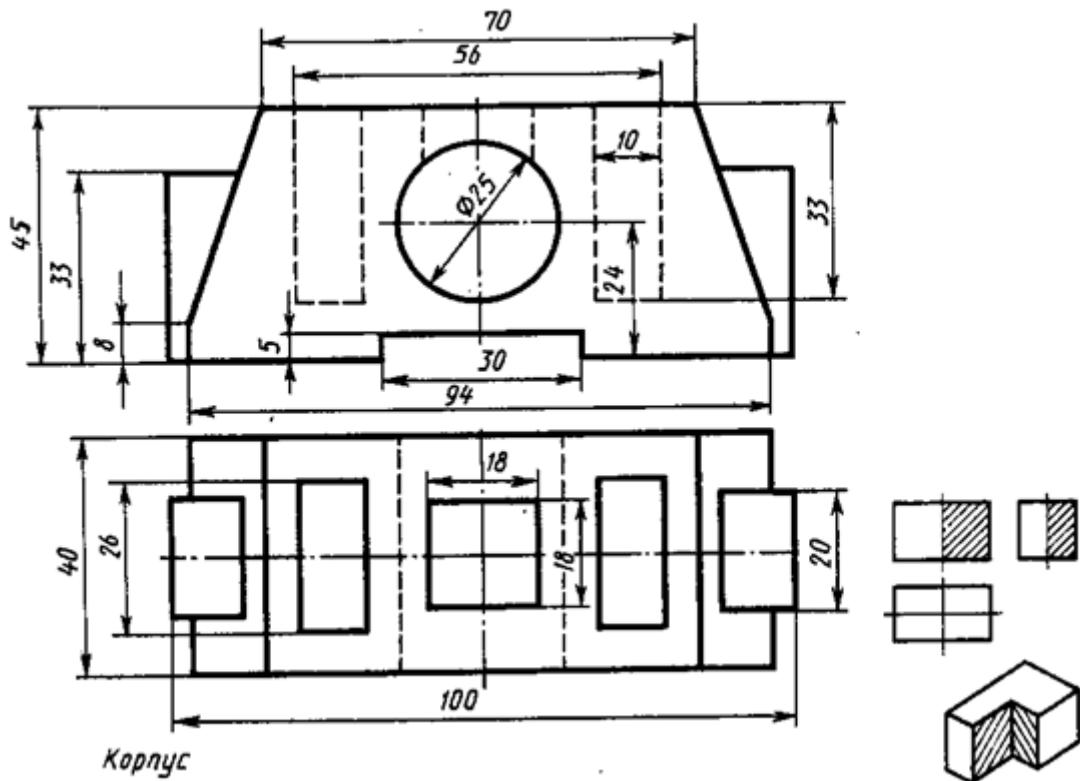
Вариант № 1



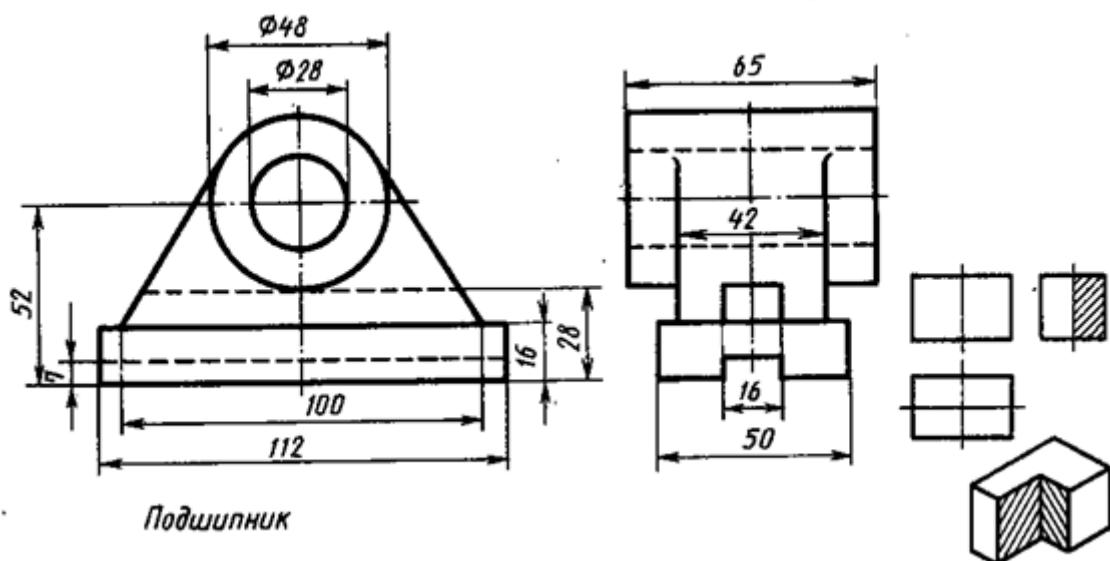
Вариант № 2



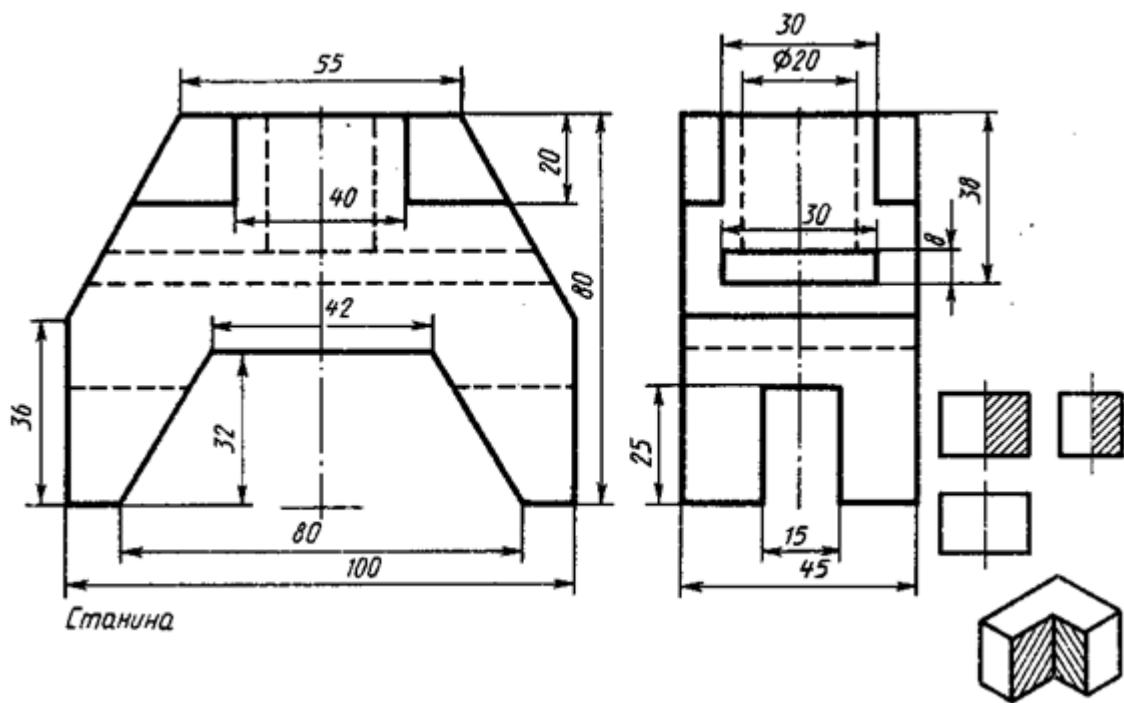
Вариант № 3



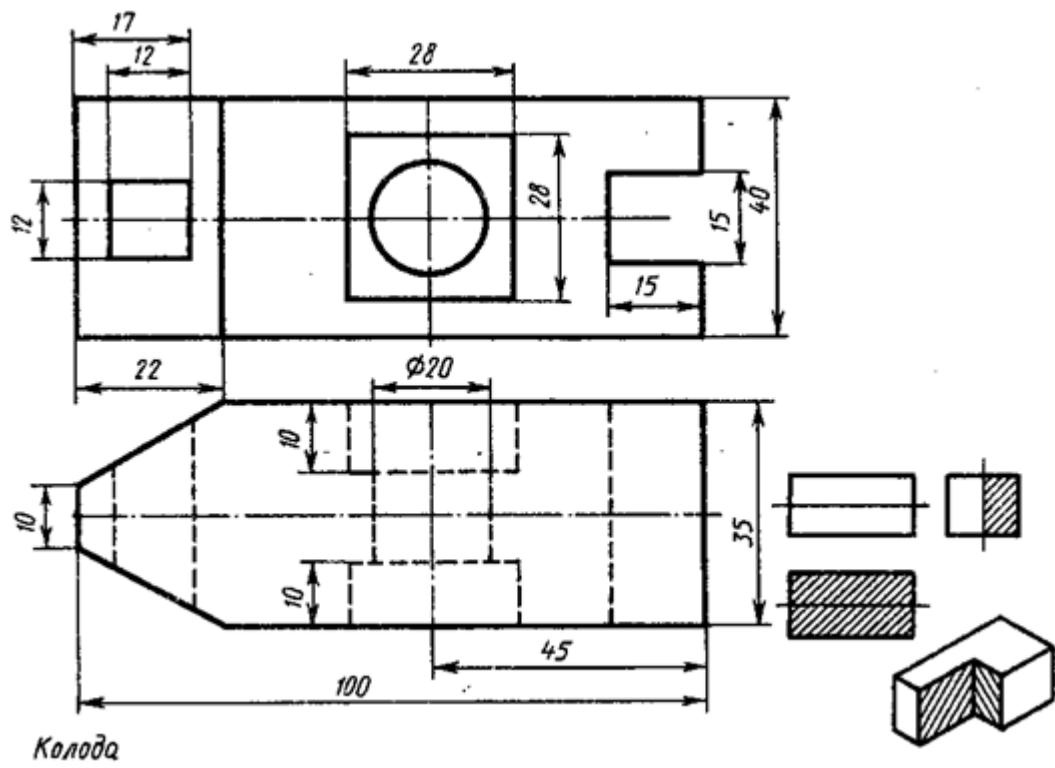
Вариант № 4



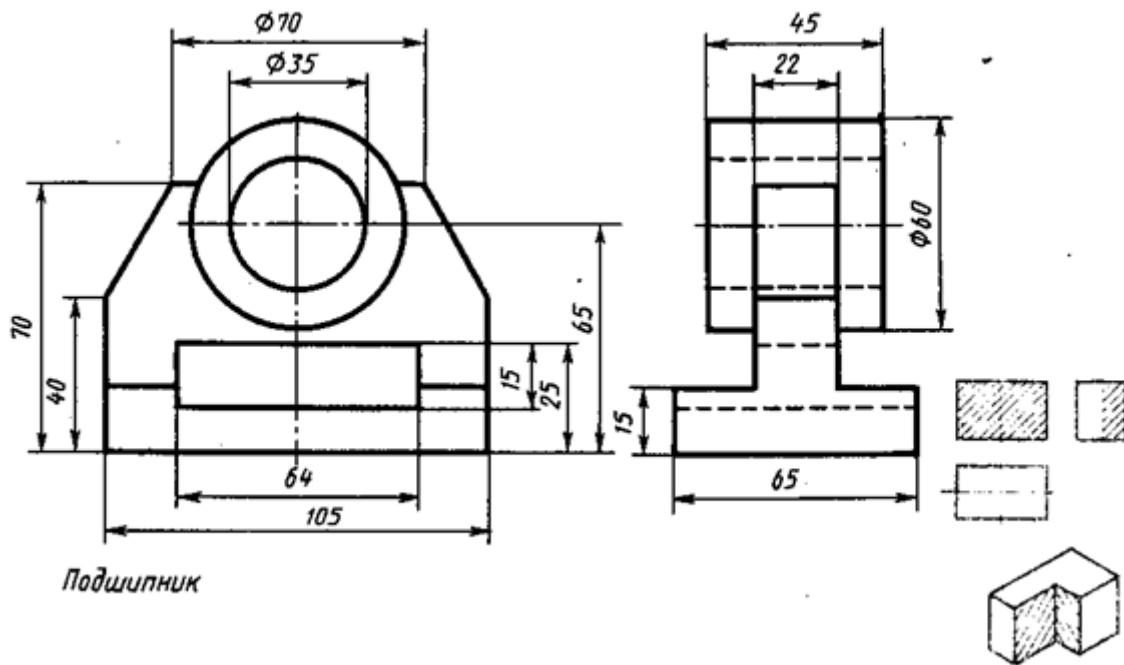
Вариант № 5



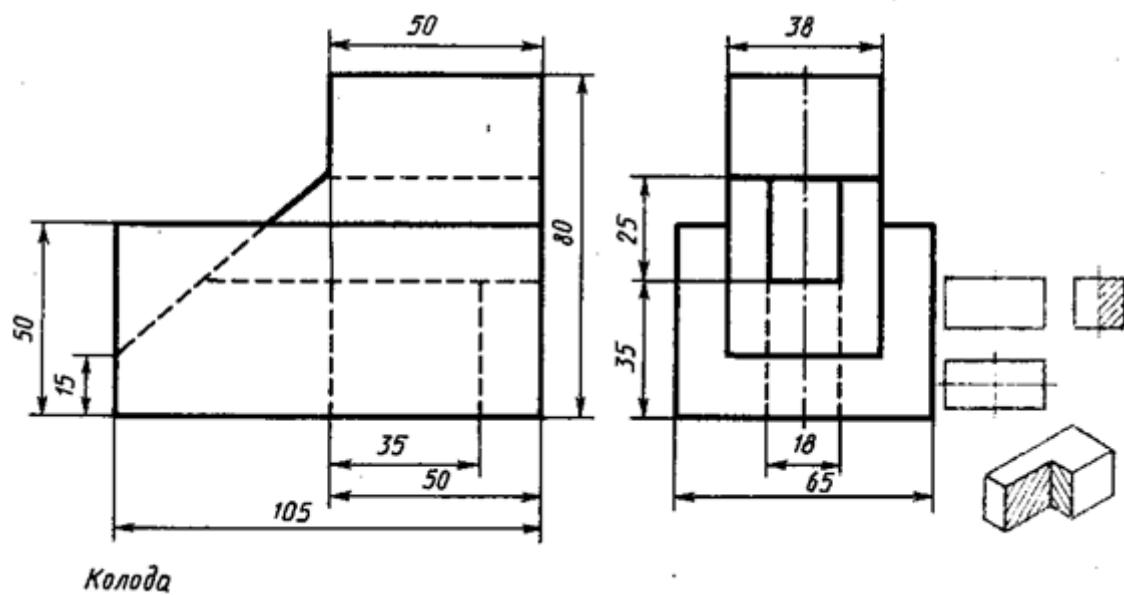
Вариант № 6



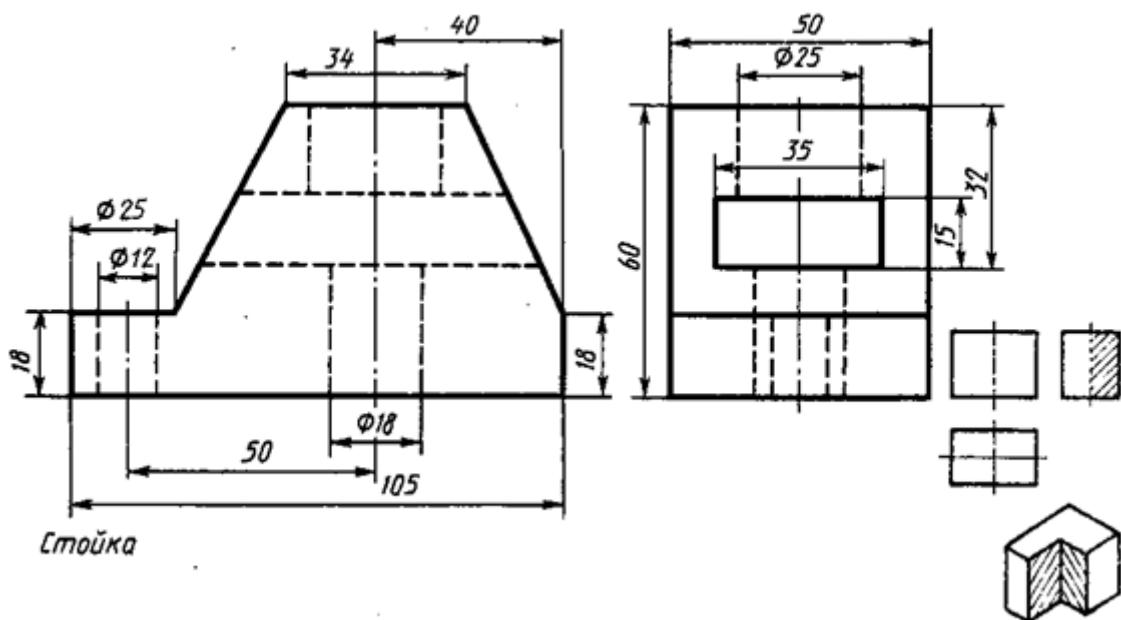
Вариант № 7



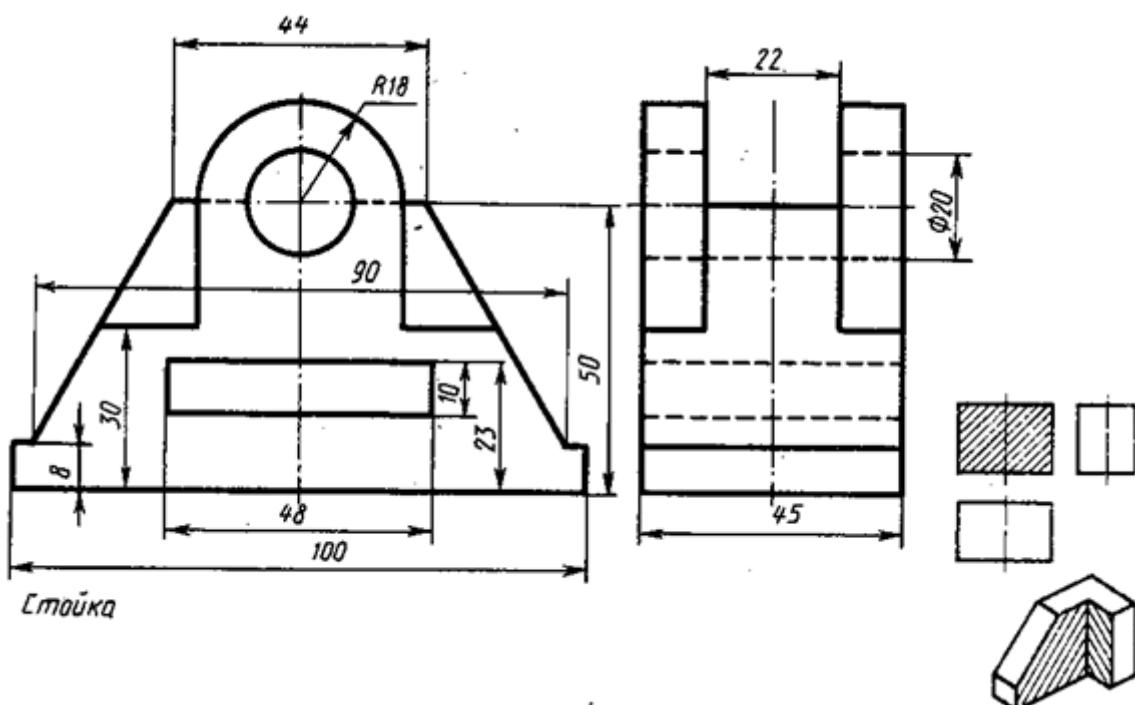
Вариант № 8



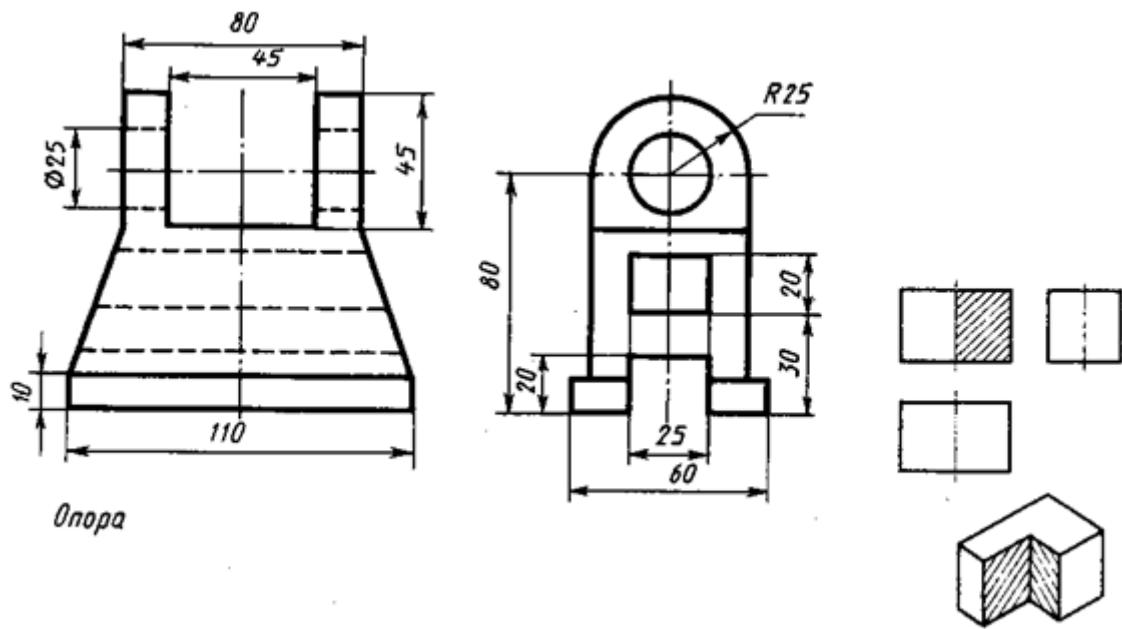
Вариант № 9



Вариант № 10



Вариант № 11



Вариант № 12

