



Сибирский государственный университет  
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

---

Д. В. Черник, В. Н. Коршун



# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В T-FLEX CAD



---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева



**Д. В. Черник, В. Н. Коршун**

## **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В T-FLEX CAD**

*Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов бакалавриата  
по направлениям подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-  
технологические комплексы», 15.02.03 «Технологические машины  
и оборудование», 35.03.02 «Технологии лесозаготовительных  
и деревообрабатывающих производств»  
всех форм обучения*

Под редакцией доктора технических наук,  
профессора В. Ф. Полетайкина



Красноярск 2022

УДК 621:004.9(075.8)  
ББК 34.42я73  
Ч-49

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент С. Н. Орловский  
(Красноярский государственный аграрный университет);  
кандидат педагогических наук, доцент С. Н. Мартыновская  
(Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева)



**Черник, Д. В.**

Ч-49 Основы проектирования элементов конструкций машин и оборудования в T-FLEX CAD : учеб. пособие / Д. В. Черник, В. Н. Коршун ; под ред. д-ра техн. наук, проф. В. Ф. Полетайкина ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2022. – 88 с.

Даны основы систем автоматизированного проектирования. Приводятся методы двухмерного и трехмерного параметрического проектирования элементов конструкций машин и оборудования в T-FLEX CAD. Учебный материал поясняется выполнением примеров конструирования деталей и сборочных единиц.

Предназначено для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 15.03.03 «Технологические машины и оборудование», 35.03.02 «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» всех форм обучения.

**УДК 621:004.9(075.8)**  
**ББК 34.42я73**

© СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2022  
© Черник Д. В., Коршун В. Н., 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	4
<b>1. Основы параметрического проектирования</b> .....	6
1.1. Основы векторной графики .....	6
1.2. Методы параметрического проектирования .....	10
1.3. Классификация методов параметрического проектирования .....	14
Контрольные вопросы и задания .....	19
<b>2. Параметрическое проектирование в системе T-FLEX CAD</b> ....	20
2.1. Общая характеристика T-FLEX CAD .....	20
2.2. Двухмерная параметризация в T-FLEX CAD .....	21
2.3. Параметрическое проектирование с помощью инструментов эскиза .....	24
2.4. Параметрическое проектирование с помощью линий построения .....	34
Контрольные вопросы и задания .....	39
<b>3. Основные принципы построения 3D-моделей</b> .....	41
3.1. Интерфейс системы создания модели .....	41
3.2. Построение эскиза при создании модели .....	45
3.3. Основные формообразующие операции .....	50
Контрольные вопросы и задания .....	54
<b>4. Построение 3D-моделей деталей автомобильного манипулятора</b> .....	55
Контрольные вопросы и задания .....	69
<b>5. Создание чертежа на основе 3D-модели</b> .....	70
Контрольные вопросы и задания .....	74
<b>6. Построение сборочных единиц автомобильного манипулятора</b> .....	75
Контрольные вопросы и задания .....	84
<b>Послесловие</b> .....	85
<b>Библиографический список</b> .....	86

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Системы автоматизированного проектирования (САПР) стали развиваться вместе с развитием компьютерных технологий. На первых этапах развития САПР автоматизировались процессы черчения, а компьютер использовался как электронный кульман для создания конструкторской документации, удовлетворяющей стандартам ЕСКД. Эффект достигался за счет автоматического копирования, редактирования и отрисовки элементов чертежа, при этом сохранялось большое количество ручного труда. Конечно, никакого автоматизированного проектирования здесь не было. Программное обеспечение САПР использует векторную графику с целью точного описания графических объектов.

В настоящее время системы САПР классифицируются по целевому назначению [4].

MCAD (англ. *mechanical computer-aided design*) – системы автоматизированного проектирования изделий машиностроения. Применяются во многих отраслях машиностроения, включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий плоского, поверхностного и объемного моделирования (SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA, T-FLEX CAD).

EDA (англ. *electronic design automation*) или ECAD (англ. *electronic computer-aided design*) – САПР электронных устройств, радиоэлектронных средств, интегральных схем, печатных плат и т. п. (Altium Designer, OrCAD).

AEC CAD (англ. *architecture, engineering and construction computer-aided design*) – САПР в области архитектуры и строительства. Используются для проектирования зданий, промышленных объектов, дорог, мостов и пр. (Autodesk Architectural Desktop, AutoCAD Revit Architecture Suite, Bentley MicroStation, Bentley AECOsим Building Designer, Piranesi, ArchiCAD, Renga).

По уровням решаемых задач системы САПР разделяются следующим образом:

CAD (англ. *computer-aided design*) – средства, предназначенные для автоматизации двумерного и (или) трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и (или) технологической документации, соответствующей ЕСКД и ЕСТД.

CAE (англ. *computer-aided engineering*) – средства автоматизации инженерных расчетов, кинематического и динамического моде-

---

лирования физических процессов, оптимизации проектных параметров изделий.

CAM (англ. *computer-aided manufacturing*) – средства технологической подготовки производства, обеспечивающие автоматизацию программирования и управления оборудованием для изготовления изделий.

PLM (англ. *Product Lifecycle Management*) – концепция, направленная на управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах, на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. Включает в себя CAD-, CFE- и CAM-системы.

На базе вышеуказанных систем формируется совершенно новая концепция подхода к конструированию, которая требует современных методик обучения конструкторов и проектировщиков.

Пособие предназначено для студентов, знакомых с основными положениями графической системы проектирования T-FLEX CAD – российской системой автоматизированного проектирования, объединяющей в себе параметрические возможности 2D- и 3D-моделирования со средствами создания и оформления чертежей и конструкторской документации в соответствии с ЕСКД. Разработчик системы – российская компания «Топ Системы».

Пособие состоит из шести частей.

В первой и второй частях даются основы параметрического проектирования двумерных изображений, описываются методы двумерного и трехмерного параметрического проектирования элементов конструкций машин и оборудования в T-FLEX CAD. В третьей части излагаются основные принципы построения 3D-моделей. В частях с четвертой по шестую учебный материал рассматривается на примере конструирования сборочной единицы поворотного устройства манипуляторов лесозаготовительной машины.

Изложенный материал снабжается контрольными вопросами и заданиями. Библиографический список содержит необходимую литературу.

Пособие предназначено для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 15.02.03 «Технологические машины и оборудование», 35.03.02 «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» всех форм обучения.

# 1. ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

---

## 1.1. ОСНОВЫ ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКИ

Проектирование предусматривает процесс разработки описания несуществующего объекта. Наиболее наглядным является графическое описание. На этапе воплощения технического решения в конкретное конструктивное воплощение проект представляется в виде конструкторской документации, которая создается при помощи конструкторского языка. Требования к конструкторской документации изложены в системе государственных стандартов, образующих единую систему конструкторской документации (ЕСКД). Графические документы могут создаваться конструктором вручную с использованием инструментов для черчения (линейки, циркуля, транспортира, рейшины и т. д.). При автоматизированном проектировании конструкторская документация разрабатывается с помощью ЭВМ с применением САПР. Основным конструкторским документом является *чертеж*, содержащий изображения технического объекта (например, детали, сборочной единицы, здания, сооружения, процесса и т. п.), а также данные, необходимые для его изготовления, сборки, контроля, монтажа, упаковывания, строительства и др.

Проектирование – это творческий процесс, а не простое черчение. В настоящее время даже из основной надписи чертежа убрали чертежника и заменили копировальщиком. Поэтому система САПР сама по себе не проектирует изделия, а является лишь эффективным инструментом современного конструктора.

Изображения изделия на чертеже формируются на основе графических объектов, таких как точка; линия; отрезок; окружность; дуга; текст; штриховка; размеры; специальные знаки и т. п. Эти объекты имеют свои параметры и атрибуты, а также координаты расположения их в поле чертежа. В системах компьютерной графики формируются не сами объекты, а модели графических объектов.

Визуализация изображений графических объектов на экране монитора или при печати на твердых носителях всегда выполняется средствами *растровой* (точечной) графики. Растровое изображение представляет собой матрицу цветных пикселей, обычно прямоугольной формы. Размер изображения определяется разрешением монитора. Качество и четкость изображения оценивается количеством

---

пикселей на 1 квадратный дюйм. Все изображения, созданные при помощи технических устройств (сканеров, принтеров, копиров, фотоаппаратов, видеокамер, скриншотов экрана и т. д.), являются растровыми. В системах компьютерной графики растровые изображения моделируются и хранятся в памяти компьютера в виде массивов координат точек. В растровом файле может содержаться атрибутивная информация. Средства растровой графики не могут применяться для разработки конструкторской документации, потому что в растровом изображении отсутствуют параметры, необходимые для описания объекта проектирования (размеры, масштаб, взаимосвязи и т. п.). К программным средствам компьютерной растровой графики относятся растровые графические редакторы: Adobe Photoshop, Adobe Fireworks, Corel Photo-Paint, Corel Paint Shop Pro, Corel Painter, Microsoft Paint и др.

В *векторной* компьютерной графике представление объектов чертежа основывается на их математическом описании, а сами объекты состоят из простейших геометрических *примитивов*: точка, линия, дуга, окружность, сплайн, шрифт, кривая Безье, кривая Nurbs и т. д. На основе базисных примитивов составляются любые геометрические построения и фигуры. Заметим, что широко используемые текстовые редакторы, формирующие различные шрифты, относятся к средствам векторной графики. При визуализации изображения, реализуемые на основе векторных моделей, занимают только часть пространства монитора. Поэтому изображение на экране или на бумаге при печати получается «чистым», линии четкими без различных посторонних точек и пятен. При визуализации изображений, полученных при помощи различных видов графики, всегда можно различить векторную и растровую графику. Основное преимущество векторных моделей данных заключается в том, что им требуется на порядки меньшая память для хранения и меньшие затраты времени на обработку и визуализацию. Отметим, что в любом случае, при визуализации графических объектов на матричном экране компьютера или при печати на бумаге, используются растровые изображения. Векторная графика обладает абсолютной точностью. Например, если конец одной линии совпадает с началом другой линии, то это означает, что имеется всего одна точка с координатами. И сколько бы мы ни увеличивали изображение на экране, никакого разрыва между линиями не будет. Точки привязаны абсолютно. На данном принципе основан мощнейший инструмент векторной графики – объектная привязка. При данном методе точки привязки берутся не с экрана,

---

а с описания графического примитива в файле чертежа, содержащего координаты точки совпадения линий.

Преобразование в растровое изображение и вывод на устройство векторного описания модели, хранящегося в памяти компьютера, осуществляется программным или аппаратным способом. При первом способе визуализации применяется набор программ, математически рассчитывающих массив точек изображения для вывода на экран. Набор данных программ образует геометрическое (математическое) ядро программы, представляющее наибольшую ценность САПР. Большинство программ САПР используют международную систему для расчета изображений Parasolid (Siemens PLM Software, США). Данное геометрическое ядро поставляется по лицензии. Некоторые системы используют собственные разработки (КОМПАС-АСКОН®). При аппаратном способе визуализации изображения на экране рассчитываются и формируются средствами графических карт устройств. Для вывода информации с САПР на принтер часто используют язык программирования GL/2, который поддерживает толщину линий, назначаемую графическим редактором.

Как же функционирует векторная система? Поясним это на примере. Пусть нам необходимо построить на экране или на бумаге окружность диаметром 100 мм, с расположением центра с координатами 50; 50, тип линии сплошная, цвет черный, толщина линии 0,8 мм. Если вы берете в руки карандаш и пытаетесь нарисовать окружность, это растровая графика. А если берете в руки циркуль – то это векторная графика. Пользователь векторной компьютерной графики не строит окружность – он ее программирует. Запись на языке программирования представляет собой строку или список, читаемую слева направо. На первом месте указывается тип объекта – окружность, затем приводится способ построения окружности – по радиусу и центру. Потом указываются параметры окружности: диаметр (радиус) и координаты центра окружности в поле чертежа. Параметры объекта представляют собой точные числа или соотношения, вводимые только с клавиатуры или указанием объектов на имеющемся изображении (объектная привязка параметров). Приводятся также и атрибутивная (не числовая) информация для отрисовки графического объекта (тип линии, толщина линии, цвет и т. д.). В файле чертежа хранятся только параметры для построения окружности. Чтение информации из файла чертежа графическим строителем выполняется с начального элемента в направлении слева направо. Получается вектор. Отсюда пошло название данного типа графики – векторная. Поясним на схеме функционирование системы векторной графике на примере (рис. 1.1).

Векторный графический редактор считывает информацию из файла чертежа, начиная с ключевого слова (окружность). Идет обращение к геометрическому ядру системы и по ключевому слову находится программа для расчета массива координат точек окружности при заданном радиусе. Заметим, что в системах САПР окружность можно строить десятками способов. Известно, что уравнение окружности в двумерной системе координат представляется уравнением  $X^2 + Y^2 = R^2$ , где  $R$  – радиус окружности. Расчетчик системы САПР заполняет массив координат уравнения окружности, причем точное значение радиуса окружности считывается непосредственно из файла чертежа. Графическая видеокарта выводит фантом окружности на поле чертежа и помещает его на чертеж с координатами центра, указанными в файле чертежа. При завершении команды нажатием клавиши «Enter» окружность прорисовывается линией, атрибуты которой приведены в файле чертежа.

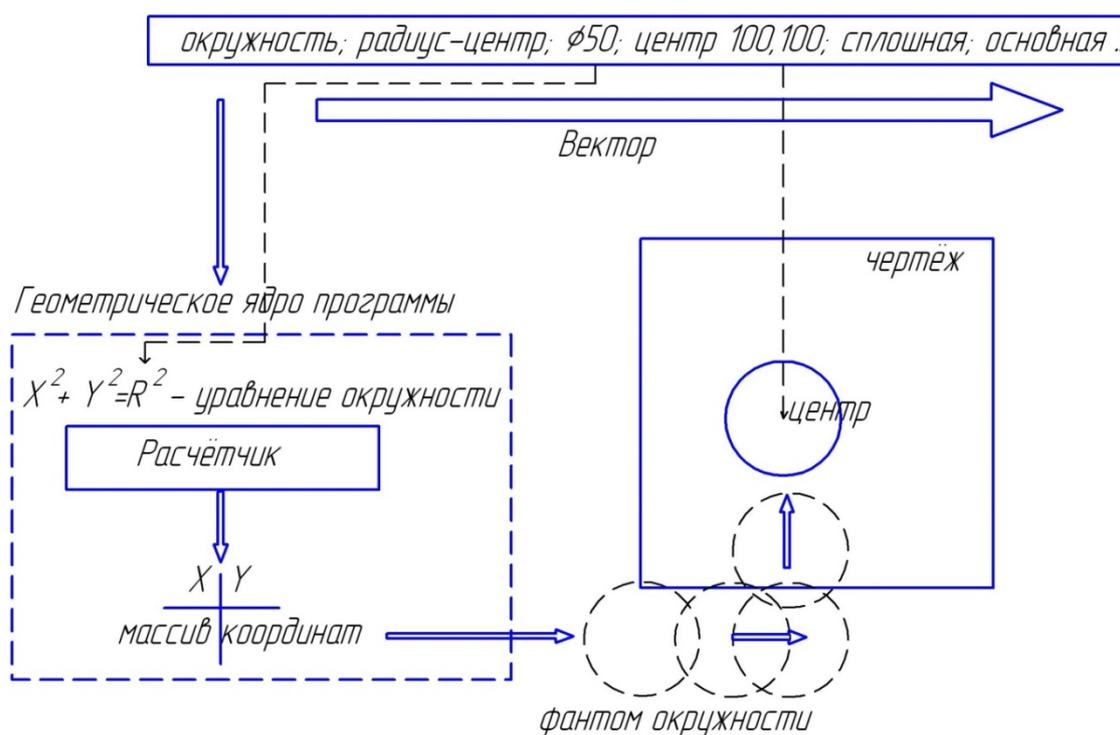


Рис. 1.1. Схема функционирования систем векторной графики

Основные достоинства векторной графики по сравнению с растровой:

- требуется существенно меньший объем памяти компьютера, поскольку файл чертежа содержит только параметры опорных точек и способы отображения линий между ними;

– векторные объекты легко редактируются, копируются, делятся на части и масштабируются;

– достигается максимально возможная точность построения, изображения, выводимые на экран или на принтер, являются четкими с необходимой толщиной линий;

– векторные изображения легко переводятся в растровый формат, однако растровое изображение векторизуется, как правило, только с потерей качества;

– поскольку задаются действительные параметры объектов, то информация из векторного чертежа легко передается в другие системы, например в программы управлениями станками с ЧПУ.

Хотя векторная графика, при которой описание геометрического объекта в файле чертежа хранится в виде имени объекта и его конкретных числовых параметров, что позволяет точно строить на экране или на принтере, тем не менее она не дает в полной мере раскрыть все возможности процесса проектирования. В данном случае конструктор реализуется как чертежник, а черчение – это не творческий процесс. Например, если необходимо в процессе проектирования изменить или уточнить какой-нибудь размер, то в этом случае чертеж следует полностью переделывать.

Ниже будет рассмотрен метод создания параметрических графических объектов, который действительно превращает проектирование в творческий процесс.

## 1.2. МЕТОДЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Метод параметрического проектирования (*parametric model*, *PM*) практически во всех современных САПР применяется для двухмерного черчения и трехмерного моделирования. Параметрическое проектирование отличается от традиционного конструирования. При традиционном проектировании конструктор создает в своем сознании модель графического объекта, отработывает различные ее варианты, а затем реализует графическое изображение. При параметрическом проектировании средствами САПР создается математическая модель объекта с переменными параметрами, которые затем варьируются с целью достижения оптимального результата. При этом изменяются не только значения размеров, но и конфигурация изображения, взаимные соотношения, расположение деталей в сборке, и т. д. Метод позволяет минимизировать ошибки, возникающие при проектировании.

---

Идея параметрического проектирования возникла в середине 80-х гг. прошлого века. Реализация параметрического проектирования сдерживалась недостаточной производительностью компьютеров. Впервые метод параметрического проектирования был реализован в системах САПР Pro/ENGINEER (трехмерное твердотельное параметрическое моделирование) фирмы Parametric Technology Corporation, а также T-FLEX CAD (двухмерное параметрическое моделирование) компании «Топ Системы». В настоящее время система двухмерного параметрического проектирования применяется редко, хотя ее возможности реализованы практически во всех САПР. Идеи трехмерной параметризации заложены в идеологию всех современных САПР и являются базой для всего процесса проектирования. При параметрическом проектировании в описании объекта конструирования присутствуют не конкретные числовые значения параметров, а имена переменных.

При визуализации объекта на экране пользователь задает конкретные числовые значения параметров.

*Непараметрический объект* содержит информацию о расположении и характеристиках элементов изображения. Параметры объектов задаются однозначно и могут редактироваться пользователем. Например, на рис. 1.1 приведена информация для построения окружности. Связи между различными объектами на чертеже нет, их редактируют по одному.

*Параметрический объект* хранит информацию не только о расположении и характерных точках изображения, но и взаимосвязи между объектами и наложенных ограничениях.

*Взаимосвязь* – зависимость между параметрами нескольких объектов. При редактировании одного из взаимосвязанных параметров изменяются другие. Редактирование параметров одного объекта, не связанных с параметрами других объектов, не влияет ни на какие параметры. При удалении одного или нескольких объектов взаимосвязь исчезает.

Самой простой связью является равенство параметров. В качестве примеров связей, наложенных на объекты, можно привести параллельность и перпендикулярность отрезков, прямых, стрелок взгляда, сегментов линии ступенчатого разреза, равенство длин отрезков или радиусов окружностей, и т. д. Взаимозависимыми параметрами параллельных отрезков являются углы их наклона, так как параллельность отрезков тождественна равенству углов их наклона. Если по-

---

вернуть один из связанных таким образом отрезков, т. е. изменить угол его наклона, повернется и другой отрезок. Если сдвинуть или отмасштабировать один из отрезков, т. е. не изменять его угол наклона, второй отрезок не изменится. Если удалить один из отрезков, то угол наклона другого станет независимым.

Связи между параметрами объектов можно задавать функцией, определяющей зависимость или соотношение между параметрами различных объектов.

Другой тип параметрических связей – ассоциативность объектов.

*Ассоциативный объект* – это объект, который при визуализации привязывается к другим объектам. Часто такими свойствами обладают элементы чертежа: размеры, технологические обозначения, штриховки. Такие объекты привязываются к базовому графическому объекту (отрезку, окружности и т. д.) или к нескольким объектам. При редактировании базовых объектов (например, их сдвиге или повороте) ассоциативные объекты перестраиваются соответствующим образом. В результате сохраняется взаимное расположение базового и ассоциированного с ним объекта.

*Ограничение* – зависимость между параметрами отдельного объекта, равенство параметра объекта константе или принадлежность параметра определенному числовому диапазону. Допускается только такое редактирование объекта, в результате которого не будут нарушены установленные зависимости, равенства и неравенства.

В качестве примеров ограничений, наложенных на геометрические объекты, можно привести вертикальность и горизонтальность отрезков, прямых, стрелок взгляда, линий разреза/сечения. Вертикальность отрезка тождественна равенству  $X$ -координат его концов друг другу или равенству угла его наклона  $90^\circ$ . Отрезок, на который наложено такое ограничение, можно перемещать, но нельзя поворачивать, т. е. изменять угол его наклона.

При редактировании параметризованных и ассоциативных объектов перестроение изображения происходит таким образом, что соблюдаются все наложенные на объекты ограничения и сохраняются связи между объектами.

Параметрические изображения могут использоваться как самостоятельно (например, чертеж, содержащий параметрические виды детали), так и для вставки в другие документы (чертежи или фрагменты).

Параметрические изображения хранятся во внешнем файле и имеют внешние переменные.

---

При создании параметрического изображения, как правило, одни переменные являются независимыми и их значения задаются непосредственно пользователем.

При использовании метода параметрического проектирования обычно выделяется главный документ, в который вставляются параметрические изображения. Параметры параметризованных объектов можно выполнять при их вставке, так и при редактировании. Вставка в документы параметризованных объектов позволяет существенно экономить время при проектировании.

*Внешняя переменная* – переменная, значение которой можно задавать при вставке параметризованного объекта в главный документ. Любые переменные графического объекта могут быть внешними. Внешние переменные предназначены для управления параметрами вставляемого в документ объекта без редактирования самого исходного объекта.

Режим параметрического проектирования не накладывает никаких ограничений в случае создания непараметрических чертежей. Можно сочетать параметрическое и непараметрическое проектирование.

При параметрическом проектировании будут полезными следующие методические рекомендации.

Оправданна параметризация чертежей деталей, при проектировании которых изменяются только размеры и не меняется топология. Таким образом, однажды созданное параметрическое изображение детали может быть быстро перестроено простым изменением значений размеров. Этот метод дает максимальную эффективность при разработке типовых и стандартных деталей.

Эффективен метод при разработке изделий на базе прототипа. В данном случае при вставке параметрического изображения в документ задается значение основного конструктивного параметра, а необходимая редакция вставленного фрагмента выполняется в основном документе.

Не оправданна полная параметризация сложных сборочных чертежей, так как в этом случае велик объем работы по вводу ограничений и управляющих размеров.

Попробуйте оценить на конкретных примерах чертежей: какие преимущества дает применение параметризации? В дальнейшем учитывайте полученные результаты при новом проектировании или переработке имеющейся чертежной документации.

### 1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Существует несколько методов параметрического проектирования: иерархическая, вариационная, геометрическая, табличная параметризация.

**Иерархическая параметризация.** Иерархическая параметризация основывается на истории повторении действий пользователя. При данном методе наибольшее значение приобретает порядок построения и подчиненность друг другу. При создании графического объекта сохраняется протокол действий пользователя, который сохраняется в виде дерева построения, имеющего иерархическую структуру. Наиболее наглядно данный метод проявляется при твердотельном моделировании. В дереве построений присутствует не только порядок действий и значения параметров, но и атрибутивная информация, например марка материала или цвет модели. В дереве построений отражается не только порядок образования модели, но и иерархия ее соподчиненности, например: сборки → под сборки → детали → элементы детали. На любой стадии проектирования можно обратиться к дереву построения и отредактировать параметры. В некоторых САПР элементы соподчиненности объектов называются «родителями» или «предками», а производные объекты – «потомками» (КОМПАС-АСКОН®). В дереве модели отображается иерархия и соподчиненность наложенных связей (рис. 1.2).

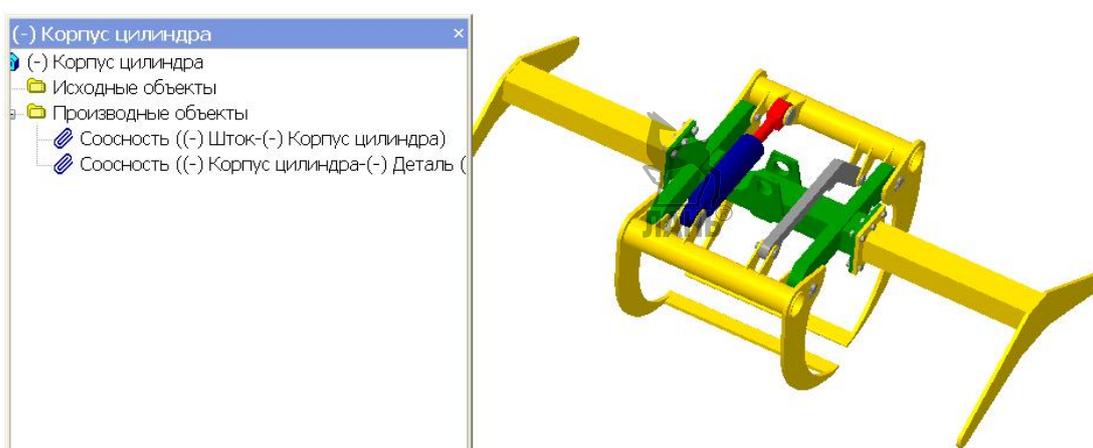


Рис. 1.2. Иерархическая схема связей объектов модели (КОМПАС-АСКОН®)

Иерархическая параметризация присутствует во всех САПР, основанных на твердотельном параметрическом моделировании.

**Вариационная (размерная) параметризация.** Вариационная параметризация базируется на создании эскиза. Порядок создания вариационной объемной модели следующий (рис. 1.3).

1. На начальном этапе строится эскиз с произвольными размерами.

2. На эскиз накладываются необходимые связи: соосность, параллельность, перпендикулярность и т. д. Эскиз перерисовывается в зависимости от наложенных связей.

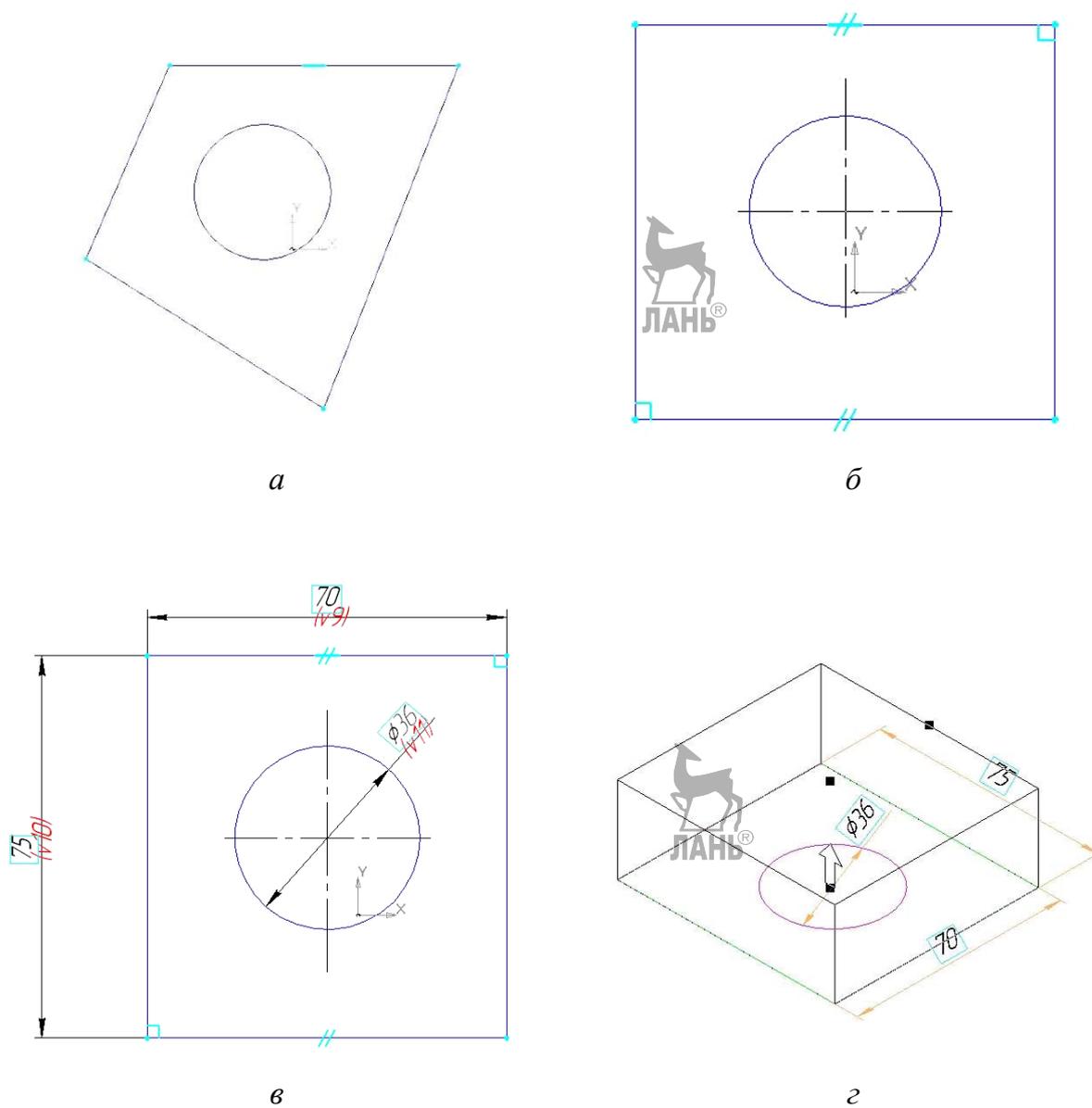


Рис. 1.3. Этапы эскизирования элемента модели:  
*a* – исходный эскиз с произвольными размерами; *б* – эскиз с наложенными связями (параллельность и перпендикулярность); *в* – эскиз с проставленными размерами (запрограммированный размер обведен рамкой, рядом с ним указано имя переменной);  
*г* – трехмерная модель, построенная на базе эскиза

3. На эскизе проставляются размеры, обоснованные на первом этапе проектирования. Каждому проставленному размеру присваивается имя переменной программирования. Изображение перерисовывается в соответствии с проставленными размерами.

4. Модель первоначального (базового) эскиза помещается в дерево построения модели. Ему присваивается имя.

5. На основании базового эскиза может формироваться трехмерная модель объекта инструментами объемного моделирования.

6. Последующие эскизы могут программироваться на основе базового эскиза, при этом базовый эскиз не редактируются, так как это может привести к нарушению взаимосвязей элементов модели.

Размеры задаются в окне создания эскиза. Такие размеры редактируются. При эскизировании размер можно задать в явном виде с клавиатуры, в дальнейшем такой размер нельзя редактировать. Вариационная модель позволяет легко менять форму эскиза и редактировать размеры. При использовании вариационного эскиза в объемной модели редактируется вся трехмерная модель объекта.

**Геометрическая параметризация.** При геометрическом параметрическом проектировании геометрия объекта формируется в зависимости от геометрии родительского объекта, значений его параметров и переменных программирования. Параметрическая геометрическая модель разбивается на два компонента: модель для построения и задания параметров; модель визуализации и отображения. В модели построения определяются параметрические связи, которые часто задаются в виде конструкторских линий. В модели визуализации содержатся линии визуализации, которыми обводятся конструкторские линии построения, а также элементы оформления чертежа (размеры, штриховка, основная надпись и т. д.). Модель построения может содержать и варьируемые параметры, например размеры. Элементы построения могут быть взаимозависимыми и подчиняться иерархической схеме. При изменении одного элемента модели построения все связанные с ним элементы могут перестраиваться в зависимости от заданных связей и параметров. Соответственно перестраивается и зависящая от нее модель отображения. Данный метод проектирования является развитием ручного способа конструирования, при котором построение изображения начиналось с задания исходного контура и прорисовывания проекционных линий.

Алгоритм создания параметрической геометрической модели следующий.

1. На начальном этапе конструктор при помощи проекционных линий формирует профиль линиями контура, задает опорные точки и узлы.

2. На втором этапе проставляются размеры между линиями контура, налагаются связи и задается функциональная зависимость размеров друг от друга. Линии и узлы являются основными элементами, формирующими модель чертежа. По аналогии с черчением их можно сравнить с тонкими карандашными линиями, которые затем обводятся тушью. К линиям построения относятся бесконечные прямые, окружности, эллипсы, сплайны, эквидистанты, функции, пути.

3. На заключительном этапе обводятся линии контура и формируется реальное изображение объекта. Полученный контур может использоваться для формирования объемной модели. Исходные линии построения сохраняются. Над изображением контура могут осуществляться те же процедуры, что и в случае вариационной параметризации (рис. 1.4).

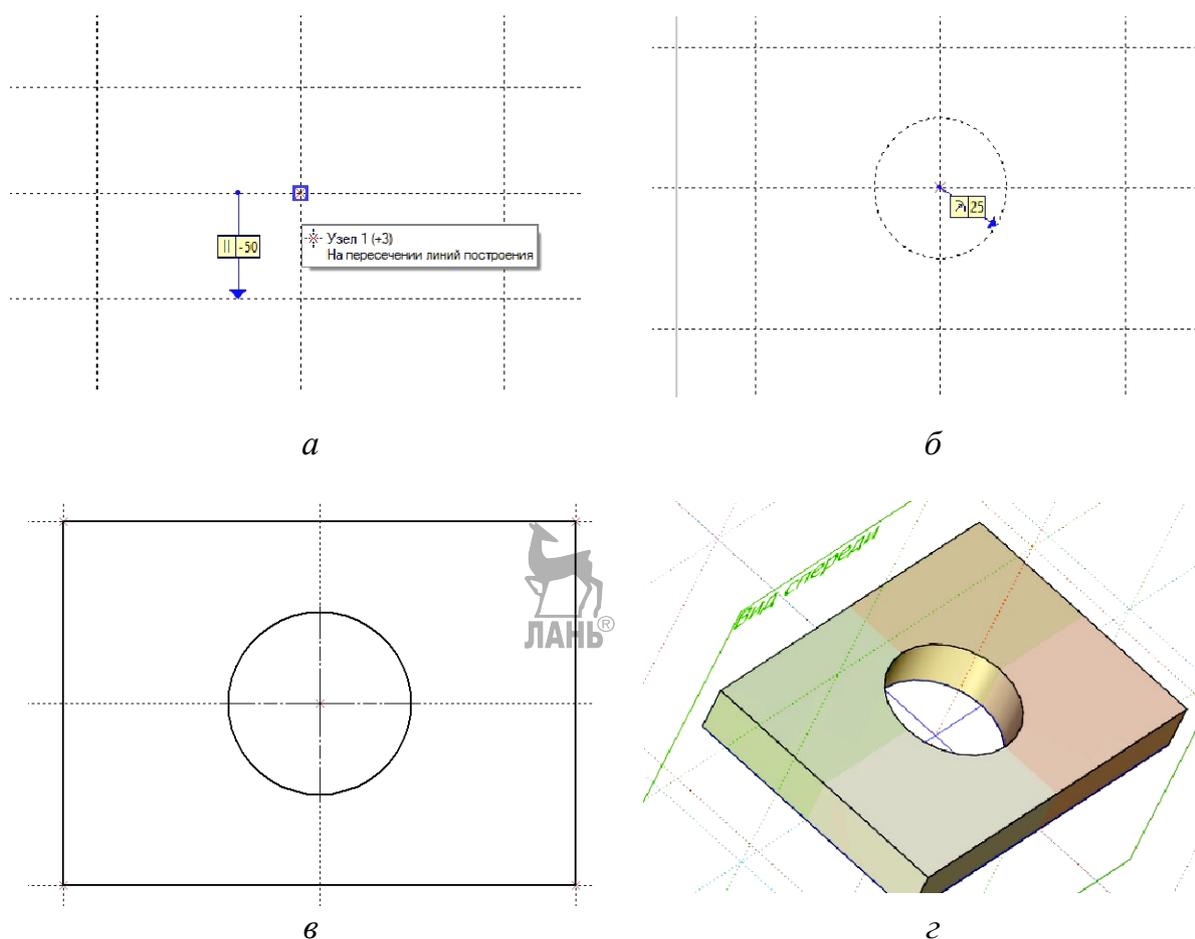


Рис. 1.4. Схема геометрической параметризации:  
*а* – разметка чертежа (задание узла и линий связи); *б* – построение контура детали;  
*в* – обведение контура линиями изображения; *г* – построение объемной детали

Линии построения, связи, размеры и другие элементы модели построения не выводятся на принтер и не экспортируются в другие форматы файлов, но на экране видимы. Параметрическое изображение может использоваться в библиотеке элементов.

Модель, полученная методом геометрической параметризации, может редактироваться на любом этапе проектирования. В приведенном примере основным элементом модели является узел с заданными координатами, а все необходимые геометрические построения привязаны к нему.

Информация о геометрическом объекте находится в дереве построения (рис. 1.5). Элементы, расположенные выше в дереве построения, являются родителями, по отношению к нижерасположенным, которые являются потомками. При редактировании параметров родителя изменяются свойства потомков, но не наоборот.

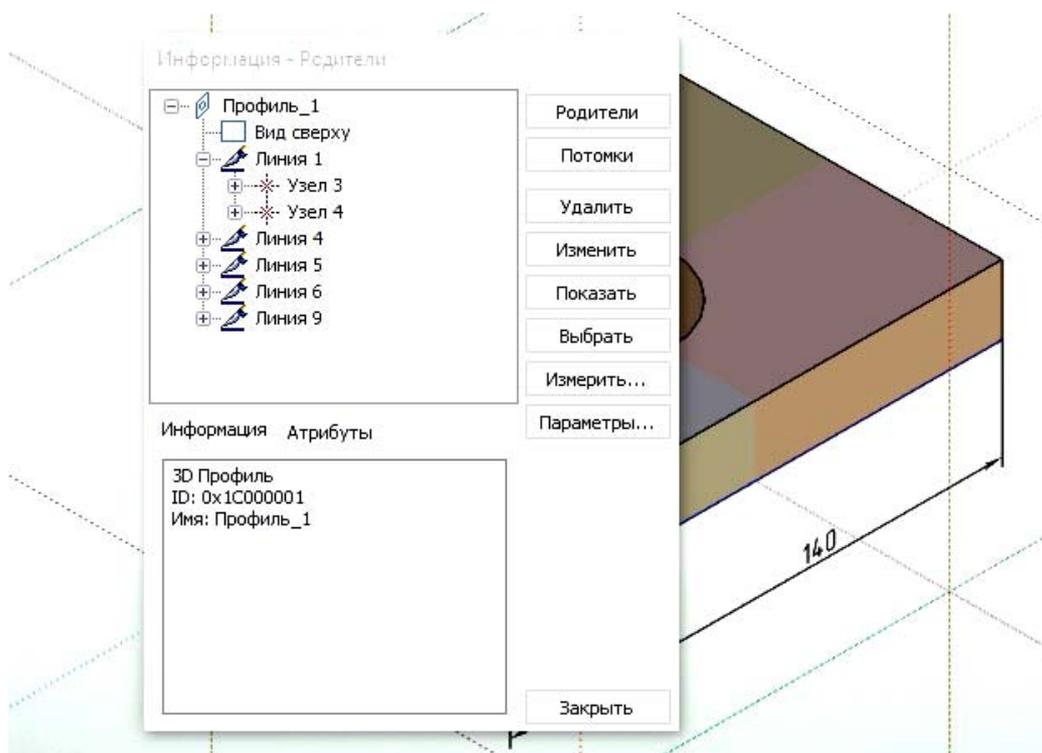


Рис. 1.5. Информация о построенном объекте в дереве построения (T-FLEX CAD)

На первоначальном этапе построения изображения в дереве построения присутствуют заданные конкретные параметры, например для узла 1 это его координаты. Для редактирования параметров следует войти в дерево построения и изменить их числовые значения. Другим методом является способ задания параметров не в явном ви-

---

де, а в виде переменных программирования. После этого можно изменить значения переменных и чертеж будет видоизменяться.

**Табличная параметризация.** Табличная параметризация применяется при проектировании типовых деталей. Она заключается в разработке таблицы параметров. Конструирование и отрисовка нового изделия осуществляется заданием параметров из таблицы. Возможности табличной параметризации ограничены, поскольку не могут быть созданы новые значения параметров. Табличная параметризация имеется во всех системах САПР и используется при конструировании стандартных и типовых изделий и элементов. Используя данный метод, конструкторы разрабатывают пользовательские библиотеки деталей и их конструктивных элементов.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Чем отличается векторная графика от растровой?
2. Назовите методы параметрического проектирования.
3. Какие компьютерные системы основываются на методах векторной графики?
4. В чем преимущество параметрического проектирования?
5. Какие задачи проектирования решаются методом табличной параметризации?
6. Какая информация отображается в дереве построения модели?
7. На каких принципах базируются методы вариационной параметризации?
8. Опишите алгоритм геометрической параметризации.
9. Чем отличается модель построения объекта от модели изображения?
10. Отображаются ли элементы модели построения на чертеже или на принтере?
11. Какие элементы дерева построения модели являются родительскими?
12. Каким образом можно редактировать модель, созданную методом вариационной параметризации?
13. Каким образом можно редактировать модель, созданную методом геометрической параметризации?
14. Каким образом формируется изображение на основе модели изображения?
15. Какую функцию выполняет в САПР расчетчик?

---

## 2. ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ T-FLEX CAD

---

### 2.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА T-FLEX CAD

Наиболее эффективно принципы параметрического проектирования реализованы в САПР T-FLEX CAD. Система T-FLEX CAD разработана на базе коммерческого геометрического ядра Parasolid (Siemens PLM Software). Система T-FLEX создана российскими разработчиками и по возможностям не уступает зарубежным САПР. Последняя версия T-FLEX CAD позволяет управлять гигантскими сборочными единицами, состоящими из тысяч деталей, причем без особых требований к вычислительным возможностям компьютеров. Принципы параметрического проектирования были изначально заложены в концепцию создания данной САПР. От пользователя T-FLEX CAD не требуется специальных знаний языков программирования. Программирование графических объектов осуществляется естественным способом в процессе черчения. Параметрам чертежа назначаются переменные, которые связываются между собой математическими зависимостями. Назначать переменные можно на любом этапе создания или редактирования чертежа.

По данным разработчиков (URL: <https://www.tflex.ru/>), средства системы T-FLEX CAD позволяют использовать ее для широкого ряда задач проектирования. САПР используется в конструировании (проектирование различного оборудования, инструмента; разработка конструкций штампов и пресс-форм; проектирование готовых изделий и т. д.), для решения технологических задач (оформление технологических карт, спецификаций; подготовка данных для разработки технологических процессов; подготовка информации для систем программирования оборудования с ЧПУ), в задачах строительства и архитектуры, при разработке различных типов схем, при динамическом графическом моделировании процессов и механизмов, в задачах художественного оформления и дизайна. Наиболее эффективно T-FLEX CAD применяется в тех областях, где наиболее полно реализуется идея параметрического проектирования, а также где необходимо охватить все этапы конструирования (эскизный проект, черновой чертеж, рабочий чертеж). T-FLEX CAD позволяет значительно ускорить процесс проектирования и подготовки графической документации [5].

T-FLEX CAD предлагает полный набор средств оформления технических чертежей: нанесение линий различных типов, штриховок, размеров, текстов, шероховатостей, специальных символов и т. д. Важно отметить, что все элементы оформления могут быть связаны с параметрами чертежа. Это означает, что изменение параметров чертежа автоматически приводит к изменению соответствующих элементов оформления. Чертежи могут создаваться в соответствии с требованиями ЕСКД или международных стандартов. T-FLEX CAD позволяет быстро перевести готовый чертеж из одного стандарта в другой либо транслировать из других чертежей или баз данных.

В САПР T-FLEX CAD имеется возможность создания непараметрических чертежей при помощи метода эскизирования. Такая возможность существует в большинстве известных САПР. Чертеж строится с использованием набора функций создания различных примитивов (отрезков, дуг, окружностей, эллипсов, сплайнов и т. п.) и механизма объектных привязок. Созданные при помощи данного метода графические объекты имеют характерные точки, но не обладают параметрическими связями. При редактировании таких графических объектов с помощью «ручек» характерные точки могут перемещаться, но само изображение может непредсказуемо деформироваться. Чертежи, созданные подобным методом, не обладают преимуществами параметрических чертежей по эффективному изменению параметров (размеров). Метод является более простым, поскольку не требует разметки чертежа, и в ряде случаев может даже давать выигрыш во времени в случае когда не требуется дальнейшей существенной модернизации изображения.

## 2.2. ДВУХМЕРНАЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ В T-FLEX CAD

Как ранее отмечалось, основой любой параметрической модели изображения являются ограничения и связи, накладываемые на ее элементы, а также параметры (переменные) проектирования. В системе T-FLEX CAD параметрическая модель изображения состоит из двух частей: модели построения и модели отображения. Инструменты пользования соответствующими моделями размещены на отдельных панелях: «Построение» и «Чертеж». Вместе с ограничениями они образуют инструменты параметрического проектирования.

**Задание параметрических связей.** Инструменты построения задают параметрические связи. По умолчанию они прорисовываются штриховыми линиями. Параметрические связи видимо отображаются

в окне построения, но на печать не выводятся. Они располагаются на нулевом уровне чертежа в основном слое. Инструменты отображения задают видимые линии на чертеже и элементы оформления чертежа. Система позволяет создавать как простые взаимосвязи (параллельные прямые, концентрические окружности), так и весьма сложные параметрические объекты, такие как эквидистанты к сплайнам, полилинии или линии, заданные с помощью явных формул, использующих различные математические выражения. Элементы построения могут быть взаимозависимыми. В случае редактирования одного из элементов модели все зависящие от него геометрические элементы перестраиваются в зависимости от их параметров и способов их задания. Данный способ пересчета ассоциативной модели в зависимости от положения родительских элементов и параметров называют геометрической параметризацией. Основные преимущества данного метода параметрического проектирования [2] заключаются в следующем.

1. Разделение инструментов построения и отображения, позволяющее более гибко редактировать модель.

2. Высокая скорость пересчета параметров модели при ее редактировании. При использовании геометрической параметризации время пересчета модели при увеличении количества параметрических объектов растет линейно.

3. Возможность обращения к базам данных или прикладным модулям на основе значений переменных либо полученных с помощью измерений. Таким образом, использование геометрической параметризации позволяет строить проблемно ориентированные САПР на основе T-FLEX без использования программирования.

4. Быстрое выявление ошибок построения модели, поскольку пересчет модели осуществляется от родителя к потомкам.

5. Естественность и удобство задания ограничений. Построения в T-FLEX выполняются конструктором последовательно, а параметрические ограничения создаются одновременно в момент построения модели. Создавая модель, конструктор выбирает только те линии построения, которые соответствуют его представлению о минимальном ограничении. В результате по окончании построений получается полностью параметрическая модель. Данный подход представляется более естественным, чем наложение ограничений уже после того как чертеж готов.

**Задание переменных проектирования в T-FLEX.** Переменные проектирования существенно расширяют возможности параметрического проектирования. При помощи переменной может быть задан

любой параметр или отношения. При помощи переменных могут быть заданы все параметры 3D-операций T-FLEX. Посредством переменных можно задать также атрибуты, например видимость детали в сборке или содержание текста. Переменные проектирования могут быть заданы с помощью математических выражений, содержащих другие переменные, логических определений или операций булевой алгебры. С помощью переменных можно передавать информацию в чертеж извне или из текстового файла [2].

Переменные проектирования в T-FLEX задаются помощью редактора переменных, который может функционировать в прозрачном режиме. Окно редактора переменных содержит весь список переменных, независимо от способа их задания (рис. 2.1).

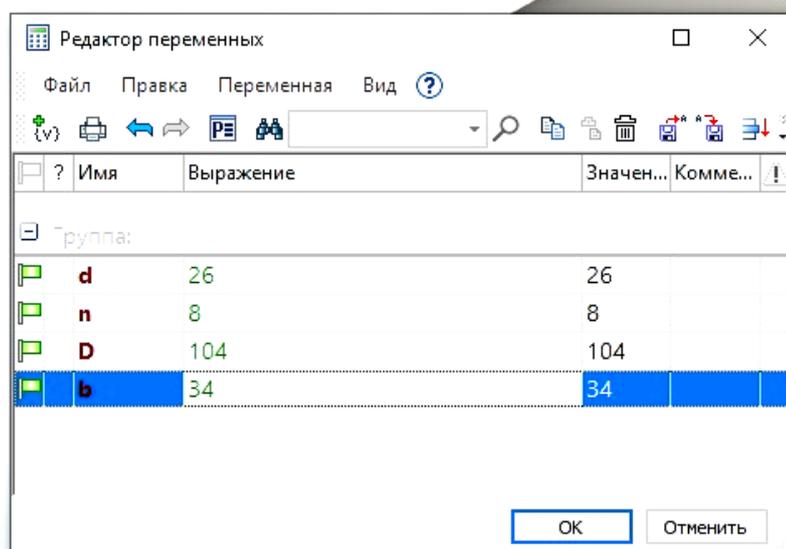


Рис. 2.1. Окно редактора переменных проектирования T-FLEX CAD

Переменная имеет имя, задается выражением или параметром. Пересчет введенного выражения и, соответственно, значений всех других связанных переменных происходит в момент, когда пользователь переходит к редактированию выражения другой переменной или перемещает курсор в другую строку. Выражения задаются функциями переменных баз данных и полей баз данных. При первом обращении к переменным в окне «Выражение» визуализируется значение ранее введенных параметров.

### 2.3. ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ЭСКИЗА

Метод создания параметризованного эскиза имеется во многих САПР. В T-FLEX CAD существует режим «Автоматическая параметризация». При создании непараметрических чертежей применяется команда «Эскиз». Разработка чертежей с помощью данного инструмента является наиболее простым и естественным. При изучении курса начертательной геометрии и черчения эскизирование является обязательным. Эскиз – это чертеж, выполненный от руки, но с реальными проставленными размерами. В практике инженера такой способ часто встречается, когда под рукой нет чертежных инструментов или компьютера, или работа выполняется в полевых условиях, но есть измерительный инструмент. Эскизы (наброски) являются основой для чертежа, создаваемого в соответствующих условиях. При эскизировании не требуется соблюдения размеров, перпендикулярности или параллельности, толщины линий, шрифта и т. д.

Непараметрический чертеж несет лишь информацию о составляющих его графических элементах. Например, для отрезка в файле чертежа хранятся его проектные параметры: координаты конечных точек и стиль линии. Когда два отрезка имеют единую точку, заданную с использованием инструментов привязки, информация о координатах этой точки хранится для каждого отрезка независимо. В режиме редактирования данного графического объекта, состоящего из двух отрезков, при перемещении одного из отрезков их общая точка будет потеряна, и каждый отрезок будет перемещаться независимо. Параметрический эскиз помимо данных о параметрах объектов содержит информацию о связях между объектами, их отношению и наложенных ограничениях.

В процессе разработки чертежа на основе эскизов возникает проблема неоднозначности. Поэтому при ручном эскизировании конструкторы пользуются значками, означающими виды наложенных связей, например: знак прямого угла, признак параллельности прямых, совпадения, характерные точки, и т. д. Все эти условные знаки сохранились в системах САПР T-FLEX CAD, КОМПАС-АСКОН и др.

В системах САПР эскиз часто является основой для создания трехмерных моделей. Эскиз всегда строится только на плоскости. Размеры, проставленные в режиме автоматической параметризации, являются ассоциативными, и при изменении размеров объекта числовое значение проставленного размера будет изменяться. Размеры

могут быть независимыми, еще их называют информационными. В этом случае размерные линии не связаны с объектом. При изменении размеров объекта размерная линия останется на месте и числовое значение размера не изменится.

В САПР и КОМПАС-АСКОН в режиме эскизирования имеется режим автоматической параметризации. При его включении инструменты параметризации и отрисовки изображения объединяются. Создается ассоциативная связь. Параметрическая модель графического объекта создается автоматически.

Рассмотрим метод параметрического проектирования с использованием учебной версии T-FLEX CAD. Версия доступна бесплатно, но несовместима с коммерческой версией программы.

Еще раз напоминаем, что в T-FLEX CAD можно создавать и параметрические, и непараметрические изображения. В последнем случае система функционирует как «электронный» кульман.

Допустим, нам необходимо разработать параметрический чертеж уха (рис. 2.2). Эта типовая деталь конструкций машин и оборудования является элементом шарниров крепления гидроцилиндров. Изготавливается из листового материала. Топология детали следующая. При помощи поверхности, обозначенной базой А, изделие приваривается к металлоконструкции машины. Длина горизонтальной поверхности (106 мм) определяется расчетом длины сварного шва. Основным конструктивным параметром является диаметр отверстия под палец крепления гидроцилиндра (20 мм). Диаметр данного отверстия будет определяться внешней переменной и задаваться при вставке фрагмента в сборочный чертеж. Центры скругления радиусом 26 мм и основного отверстия совпадают. Линия длиной 85 мм является вертикальной. Правая граница детали проведена от базовой поверхности касательно скруглению. Угол в  $60^\circ$  является переменным. Все размеры с допусками – ассоциативные и привязаны к элементам графического изображения. Чертеж уха легко построить непараметрическим даже в более короткое время. Однако в этом случае его нельзя будет использовать повторно в различных сборочных чертежах или в чертежах деталей при других значениях диаметра отверстия под палец крепления гидроцилиндра.

Параметрический чертеж можно разработать несколькими способами:

- 1) применяя инструменты создания параметрического чертежа по линиям построения;
- 2) используя инструменты параметрического эскиза (рис. 2.3).

Панель создания параметрического эскиза доступна, начиная с 17-й версии T-FLEX CAD.

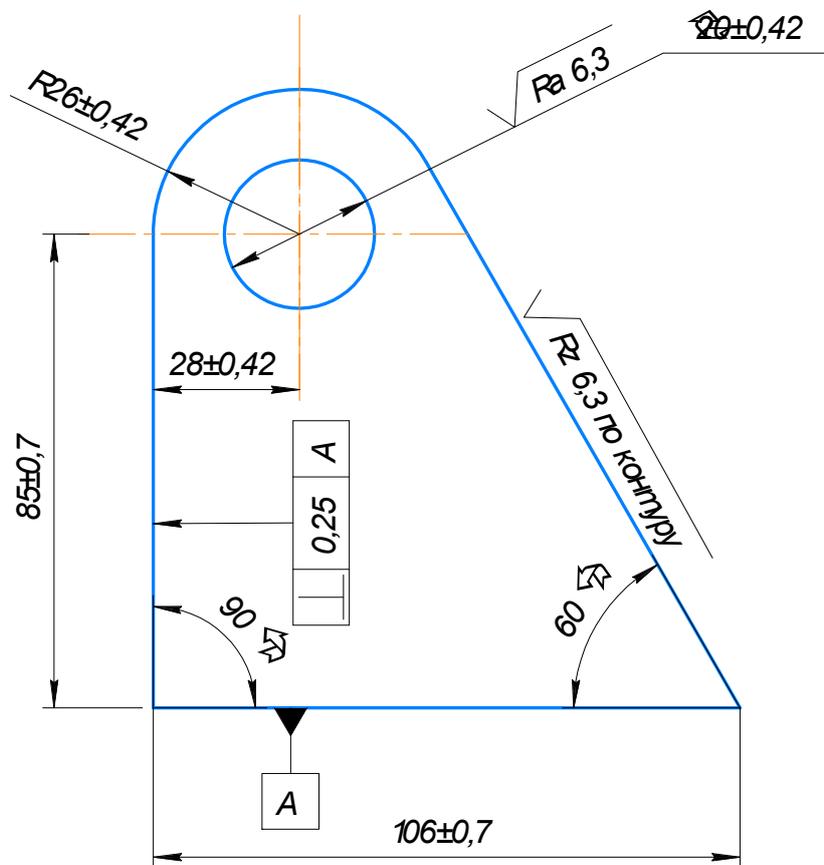


Рис. 2.2. Чертеж уха

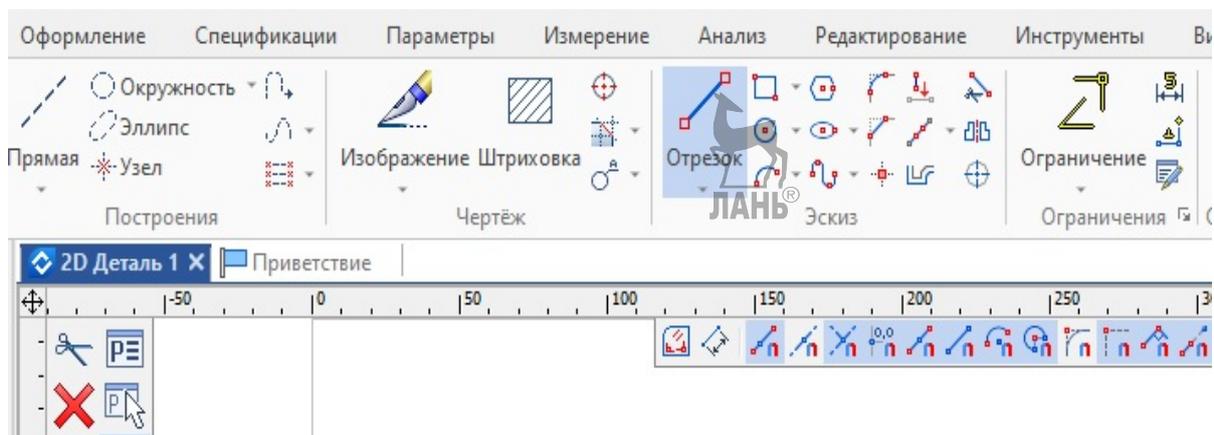


Рис. 2.3. Панели инструментов параметрического проектирования (режим автоматического наложения ограничений и ассоциативных размеров включен)

---

При вызове команды «Эскиз» пользователю доступны следующие режимы построения:

- непрерывный ввод объектов;
- автоматическое создание ограничений.

Параметрический чертеж, созданный командами «Эскиз» с геометрическими ограничениями, является новой возможностью T-FLEX CAD. Эскизирование с ограничениями можно использовать как самостоятельный способ создания параметрических чертежей, так и в комбинации с классической для T-FLEX CAD параметризации на основе линий построения (созданных командами «Изображение»). Параметризация на основе эскизирования с ограничениями позволяет устранить зависимость от порядка построений, предоставляя пользователю большую свободу при работе над проектами. Задать или удалить ограничения между элементами, изменить значения параметров модели можно в любой момент проектирования. При удалении ограничений параметрический эскиз становится непараметрическим. При вызове команды с панели «Эскиз» с правой стороны экрана появляются объектные привязки (см. рис. 2.3).

Управление режимами автоматического наложения ограничений и автоматического создания ассоциативных размеров выполняется двумя первыми кнопками на панели объектных привязок (по умолчанию автоматическое наложение ограничений отключено). Режим создания ассоциативных размеров сам по себе не накладывает на чертеж ограничений. Отметим, что использование объектных привязок при создании изображения не накладывает ограничений и информация о них не хранится в файле чертежа.

Параметрический эскиз создадим следующим образом. На первом этапе выполним набросок изображения без соблюдения размеров и соотношений. Воспользуемся командой «Непрерывный ввод объектов» (опция недоступна в учебной версии). Начинаем строить эскиз с горизонтального отрезка. Выбираем команду «Отрезок», курсором указываем начало линии на экране, проводим линию произвольной длины (при автоматическом наложении связи «Горизонталь»), длину первого отрезка указываем в окне параметров. При этом получается окружность, удовлетворяющая заданным ограничениям (рис. 2.4).

При указании длины отрезка его размер не будет ассоциативным. Далее продолжаем построение и получаем набросок чертежа (рис. 2.5). На чертеже часть размеров подсвечена желтым цветом – это ассоциативные размеры. Остальные не ассоциативные. При изме-

нении их номинала изображение «рассыпается». Мы получили непараметрический чертеж (рис. 2.6).

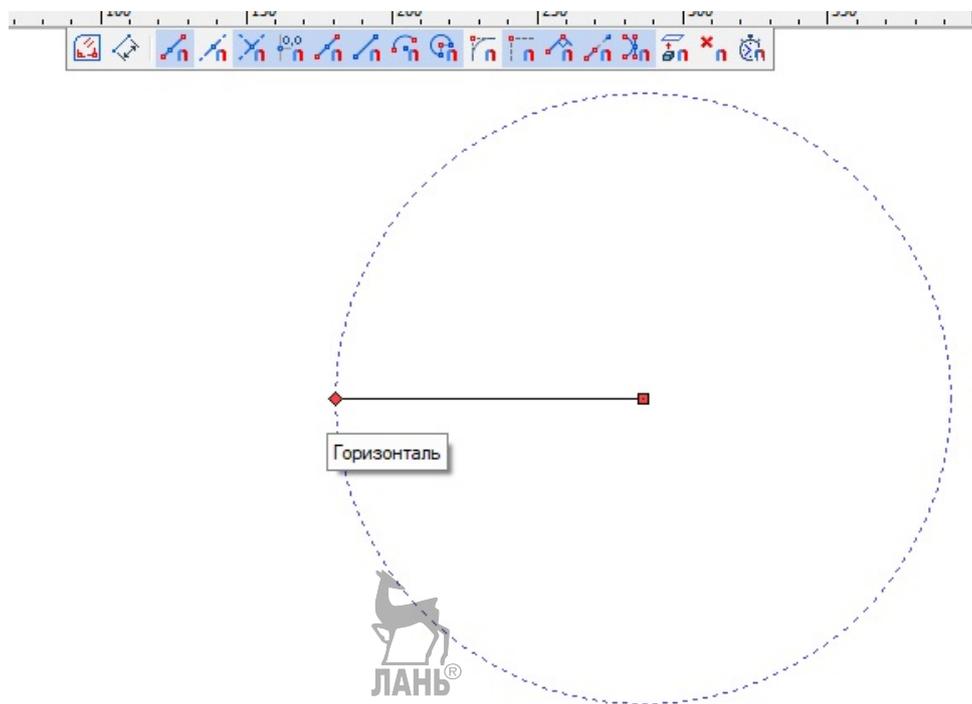


Рис. 2.4. Начало построения изображения

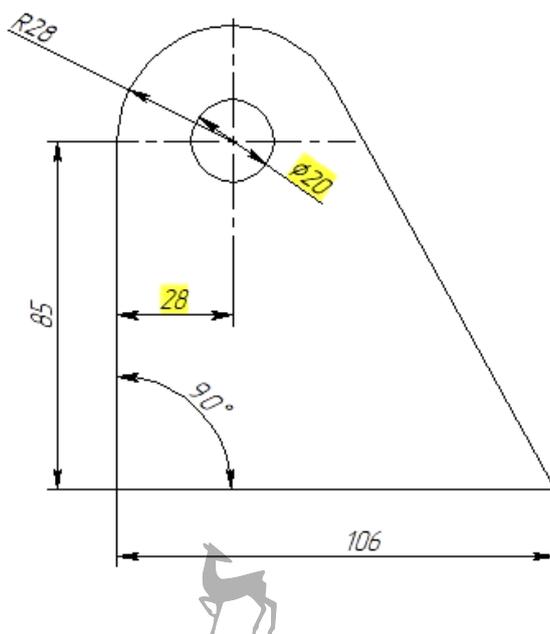


Рис. 2.5. Подготовка чертежа уха

При создании эскиза кнопка «Автоматическое наложение ограничений» (см. рис. 2.3) была включена, однако ограничения не сохра-

нились, скорее всего, это особенность учебной версии T-FLEX CAD. Ограничения можно накладывать в момент создания эскиза и при его редактировании. Поскольку элементы эскиза не имеют иерархической связи, то ограничения можно накладывать в произвольном порядке. Для конкретизации всех взаимосвязей между линиями, геометрии линий и их положения на плоскости – нужно задать требуемое для этого количество ограничений и управляющих размеров.

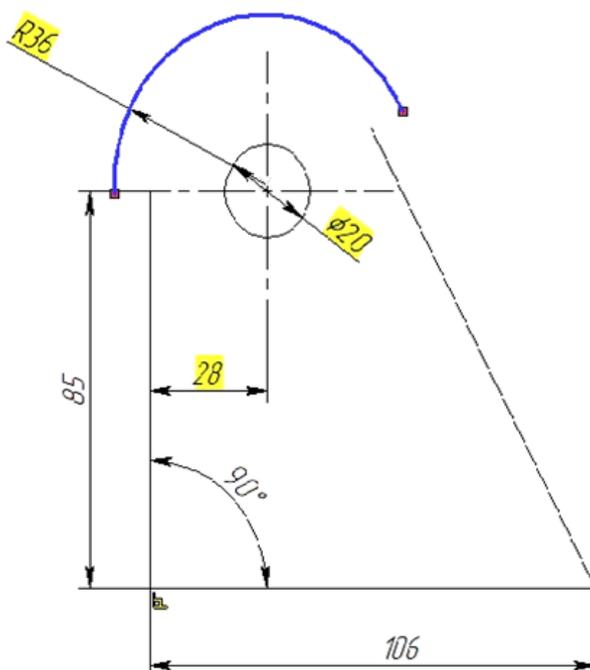


Рис. 2.6. Непараметрический чертеж уха (размеры не определены, точки не привязаны)

Хотя дуга скругления имеет характерные точки, тем не менее при редактировании размера на 36 мм точки смещаются.

Наложённые ограничения отображаются на чертеже, их пиктограммы аналогичны пиктограммам на панели инструментов наложения ограничений. Панель наложения ограничений расположена справа от панели инструментов эскиза (см. рис. 2.3). Пиктограммы на чертеже располагаются рядом с теми точками и линиями, на которые наложены соответствующие ограничивающие взаимосвязи. Управлять ограничениями можно через дерево модели (расположено справа от чертежа). Любое ограничение можно подавить, тогда оно будет неактивно, но видимо на чертеже. При создании параметрического эскиза все его элементы должны быть predetermined. При изменении управляющих параметров все недоопределённые линии будут перестраиваться случайным образом.

Наложим ограничения на чертеж (см. рис. 2.5). Размеры представлять не обязательно, параметры размеров могут задаваться при конкретизации изображения. Инструменты ограничений приведены на рис. 2.3 справа. Ограничения задают геометрические и размерные соотношения между элементами эскиза. Если параметрический эскиз создается с помощью линий построения, то ограничения, наложенные на них, будут иметь приоритет. Включим на панели привязок режим автоматической простановки ограничений, а режим автоматической простановки размеров отключим. Бегло, без соблюдения размеров начертим эскиз чертежа (см. рис. 2.1). В результате получим изображение (рис. 2.7). Начинаем строить с двух концентрических окружностей, затем трех линий: вертикальной, горизонтальной и под произвольным углом касательно к окружности. Окружность подрежем (кнопка редактирования эскиза находится на панели «Эскиз»).

При построении эскиза автоматически образовано семь ограничений (см. рис. 2.7). Эскиз не параметризован, поскольку имеет семь степеней свободы.

Количество степеней свободы чертежа можно посмотреть в окне свойств ограничений при вызове любого ограничения. Количество степеней свободы определяет количество вариантов перемещения для всех линий чертежа. Например, если начертить отрезок, то у него будет четыре степени свободы: мы можем менять его длину, перемещать по вертикали и горизонтали, а также поворачивать. Или иначе: у его конечных точек по две степени свободы. Если зафиксировать одну точку, то степеней свободы будет две: только у одной точки останется две степени свободы, или иначе – отрезок можно будет только вращать и менять его длину. Если кроме фиксации точки зафиксировать длину отрезка, то останется одна степень свободы: вращение отрезка или перемещение точки по окружности. Если начертить окружность, то у нее будет три степени свободы: перемещение по вертикали и горизонтали, а также изменение радиуса. Если на чертеже отрезок и окружность – то всего будет семь степеней свободы.

В дереве ограничений включаем флаг «Показать неопределенные линии». Линии подсвечиваются синим цветом. Таким образом, при помощи автоматического создания ограничений был создан параметрический эскиз без непосредственного участия пользователя в создании параметризации. Далее, при помощи управляющих размеров можно конкретизировать размеры параметрического чертежа, устранив тем самым неопределенность построений. При первом вари-

анте создания параметризованного эскиза будут проставлены размеры, которые задавались при произвольном черчении эскиза.

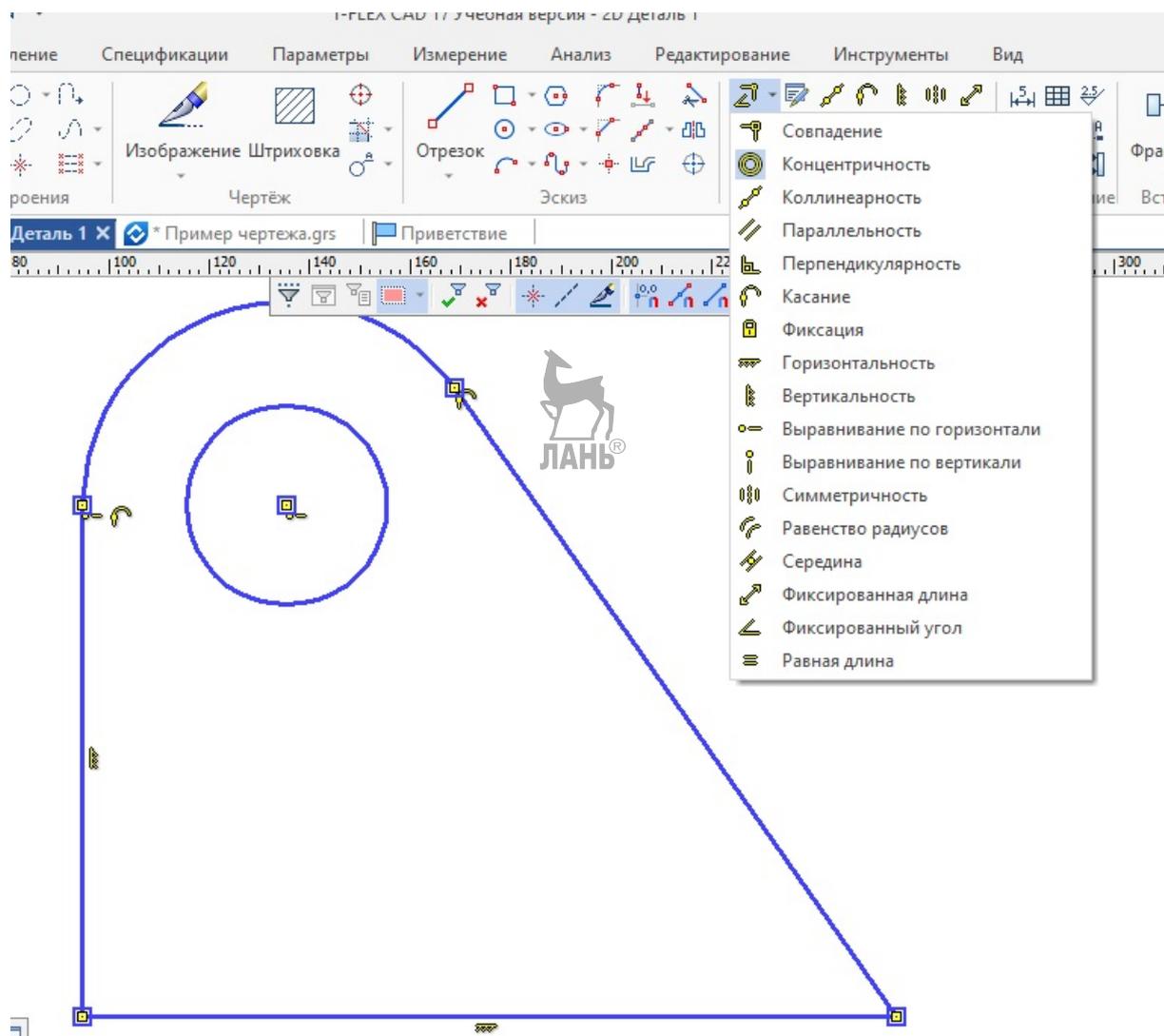


Рис. 2.7. Автоматическое наложение ограничений и инструменты ручного наложения ограничений (справа на выкладке)

Сделаем базовой точкой чертежа центр окружностей и зафиксируем его положение на чертеже. Проставим управляющие размеры. Их можно вызвать с панели «Эскиз». В отличие от фиксированных размеров величину управляющего размера можно менять, а их изображение на чертеже подсвечивается. Цвет фона показывает различные состояния размера и геометрии в целом. Желтый фон – чертеж не определен и имеет степени свободы. Зеленый фон – чертеж определен, нет степеней свободы. Когда работа над чертежом окончена, рекомендуется, чтобы система была определена. Красный фон – чертеж переопределен, т. е. есть размеры или ограничения, дублирующие

друг друга или противоречащие друг другу. Либо есть ошибка в задании значения управляющего размера, когда введенное значение не может быть обеспечено в силу других ограничений. Управляющие размеры можно задать на любом этапе создания эскиза (рис. 2.8).

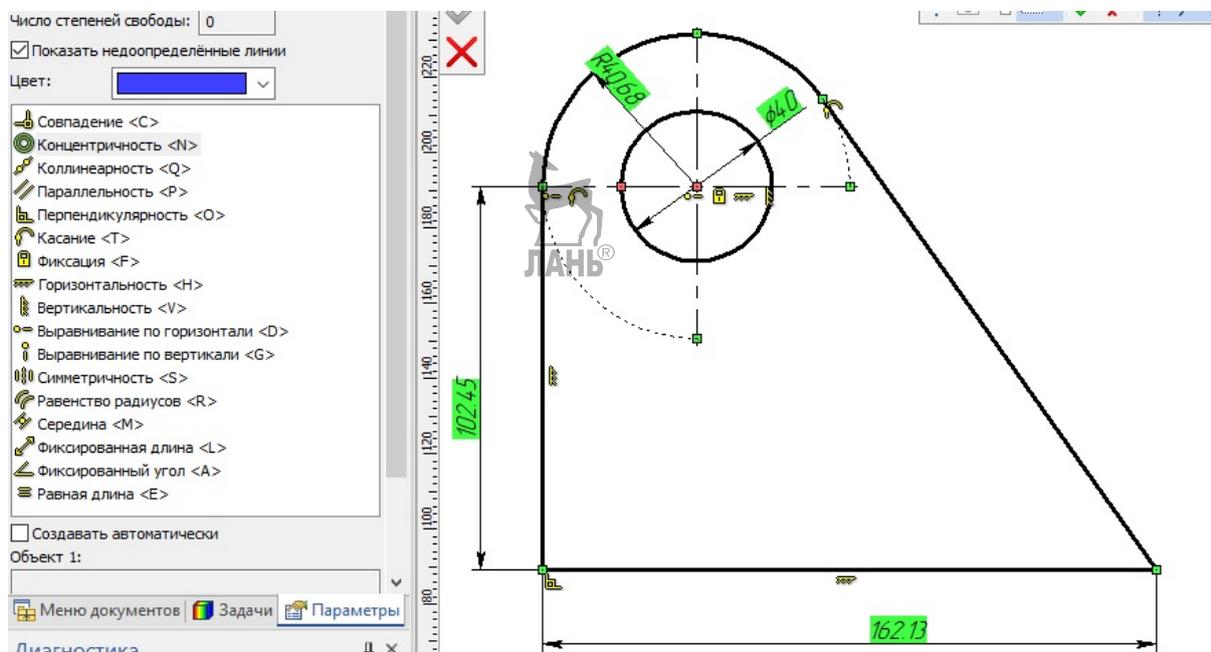


Рис. 2.8. Параметризованный чертеж уха

Признаком параметризованного (полностью определенного) чертежа является то, что число степеней свободы равно нулю, цвет фона размеров – зеленый, а цвет всех линий при включении флага «Показывать неопределенные линии» – черный. Если поставить лишнее ограничение, то чертеж будет переопределенным, цвет фона размера станет красным и будет выдано сообщение об ошибке.

Сохраним параметризованный чертеж в файл. Для использования параметризованного эскиза в основном документе чертежа загружаем его и редактируем управляемые размеры. Эти размеры выделены зеленым цветом. После редактирования значений размеров чертеж перестраивается при сохранении топологии детали (рис. 2.9). За счет наложенных ограничений геометрия изображения сохраняется.

Значки ограничений (см. рис. 2.9) видны только в окне программы, при печати чертежа они невидимы. Видимость ограничений в окне программы можно погасить.

Таким образом, метод создания параметризованного эскиза позволяет быстро создавать неограниченное количество чертежей деталей одной конструктивной топологии.

У параметрического чертежа уха для построения нового изображения необходимо вручную отредактировать три размера (см. рис. 2.9). Для автоматического построения варианта чертежа необходимо установить переменные проектирования.

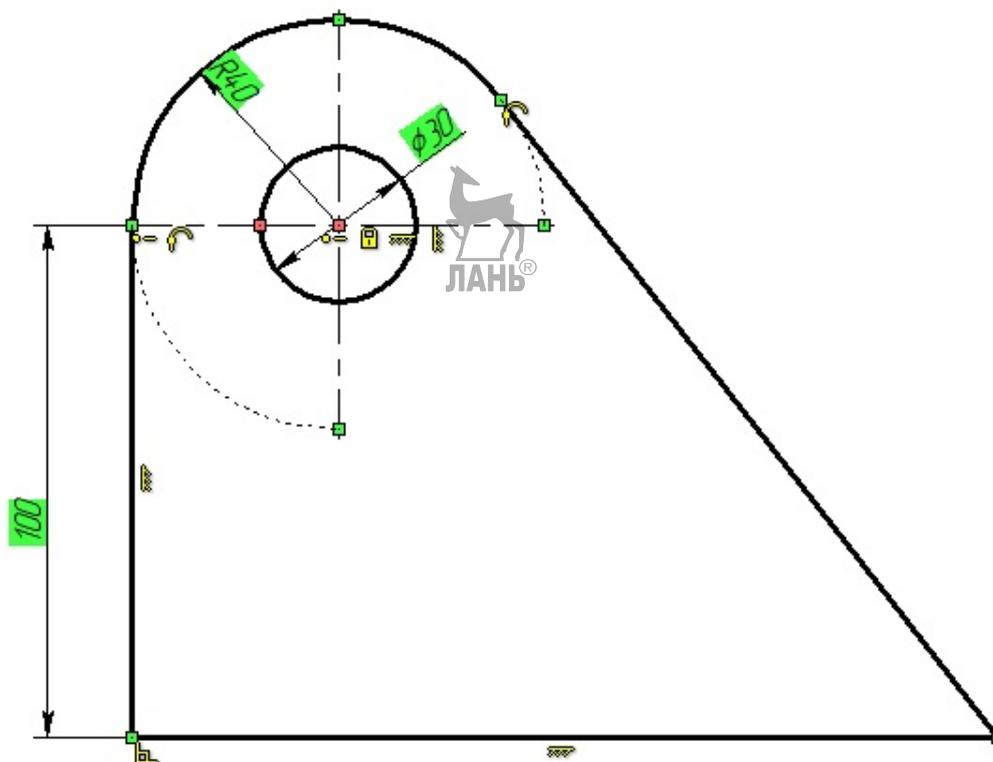


Рис. 2.9. Параметрический чертеж уха с другими заданными параметрами размеров (цвет всех линий черный, фон управляющих размеров зеленый)

Значение параметра элемента эскиза будет определяться заданной переменной. Переменные можно задавать различными способами. Самым простым способом является задание при построении элемента эскиза не конкретного числового значения, а переменной величины. Если значение переменной меняется, то автоматически будет меняться и значение связанного с ним параметра линии построения (например, радиус окружности или положение прямой). Основным инструментом работы с переменными проектирования является редактор переменных (рис. 2.10). Редактор запускается кнопкой с панели инструментов «Дополнительно».

Любая переменная проектирования идентифицируется именем, типом и выражением. Синтаксис использования имен переменных и выражений приведен в справочной системе T-FLEX CAD [5].

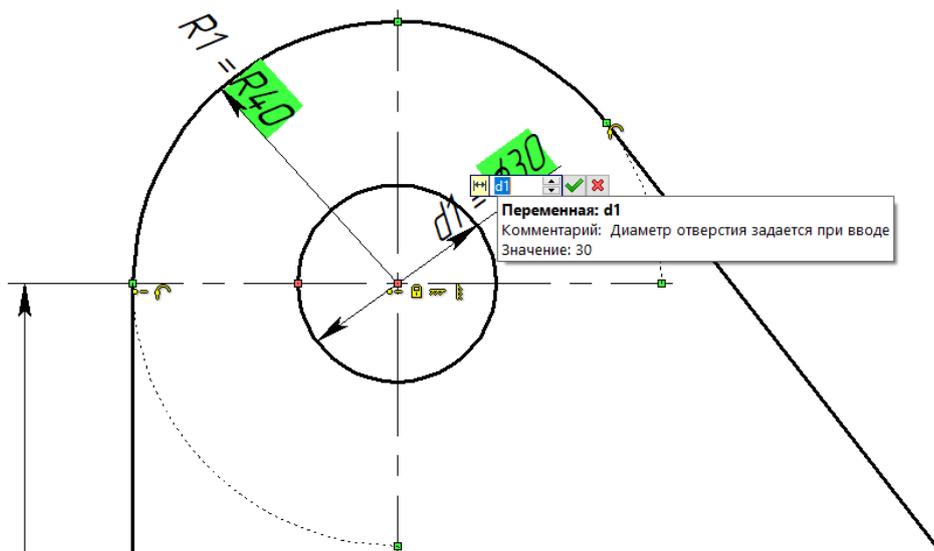


Рис. 2.10. Задание переменных значений размеров при вводе или редактировании

С помощью управляющих размеров пользователь может управлять параметризацией чертежа. Для этого нужно задать в качестве значения размера переменную или выражение. Имя введенной переменной выводится перед значением номинала размера или при его редактировании (см. рис. 2.10).

## 2.4. ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЛИНИЙ ПОСТРОЕНИЯ

Параметрический чертеж может быть создан на основе линий построения. На первом этапе строится конструктивный каркас чертежа, который определяет параметрические зависимости элементов построения. Покажем выполнение параметрического чертежа методом линий построения, показанного на рис. 2.1. Панель инструментов линий построения приведена на рис. 2.3 в правом верхнем углу. Выберем команду «Создать две линии и узел», укажем в любое место чертежа (рис. 2.11).

Получим узловую точку, в которой будут помещаться центры отверстия под палец и скругления. Разделение линий изображения и линий построения дает возможность более гибкого редактирования модели. Например, в процессе проектирования может выясниться, что при изменении модели данный отрезок должен быть не параллелен исходному, а иметь фиксированный угол наклона. В этом случае не нужно уничтожать саму параллельную прямую, на которой этот

отрезок был построен (вместе с ней и ассоциативные взаимосвязи, от которых может зависеть часть построения), достаточно перенести линию изображения на другую линию построения.

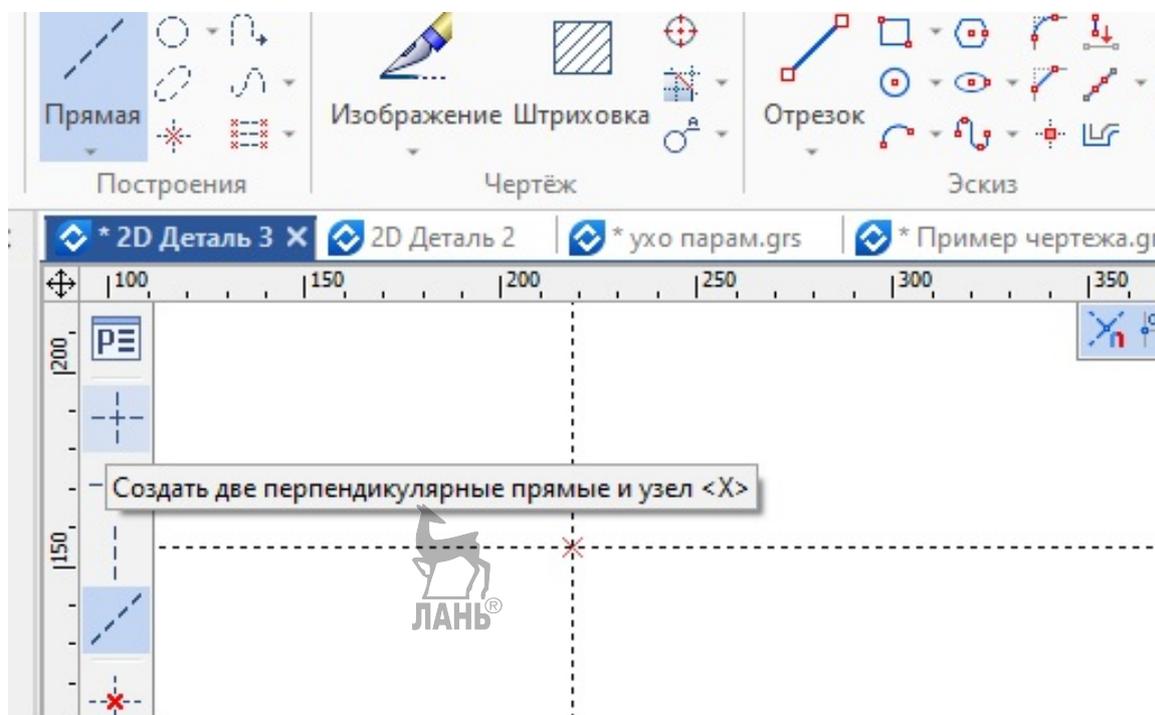


Рис. 2.11. Задание узловой точки чертежа

Перемещая узловую точку по чертежу, будем задавать расположение изображения в поле чертежа и место вставки в сборочный чертеж. Далее размечаем чертеж. Прорисовываем две концентрические окружности с центром в заданном узле. Очерчиваем контур изображения (рис. 2.12).

Далее обводим линиями построения разметочный каркас. Начинаем с обведения концентрических окружностей, поскольку наклонная линия изображения нечувствительна к привязке к линиям построения. Получаем изображение. Часть ограничений на изображение перешло с ограничений линий построения. Включаем видимость недоопределенных линий (рис. 2.13).

Из первоначального чертежа (см. рис. 2.5) следует, что изображение имеет 10 степеней свободы, а часть ограничений, например «Перпендикулярность», перешла от линий построения. Проставляем дополнительные ограничения и управляющие размеры, как это было сделано выше (см. рис. 2.8). Получаем параметрический чертеж (рис. 2.14).

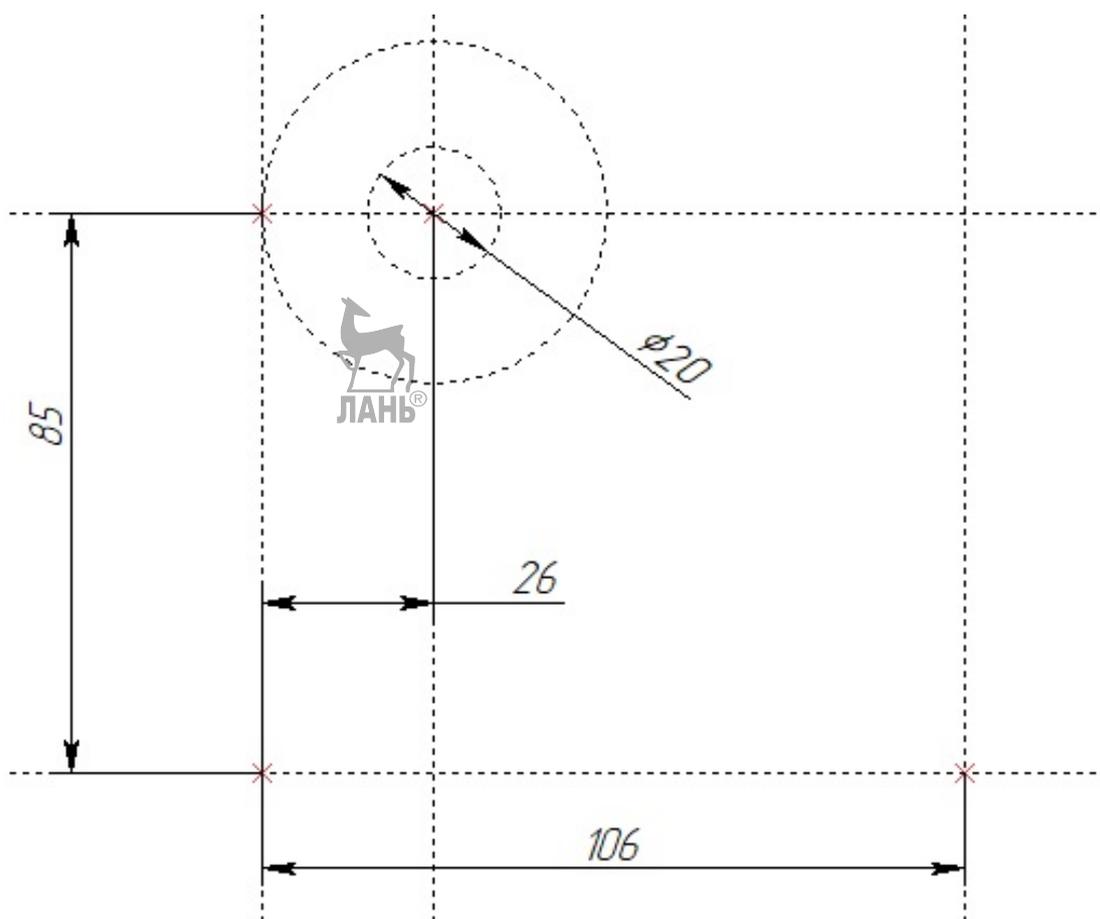


Рис. 2.12. Разметка чертежа (размеры проставлены для наглядности)

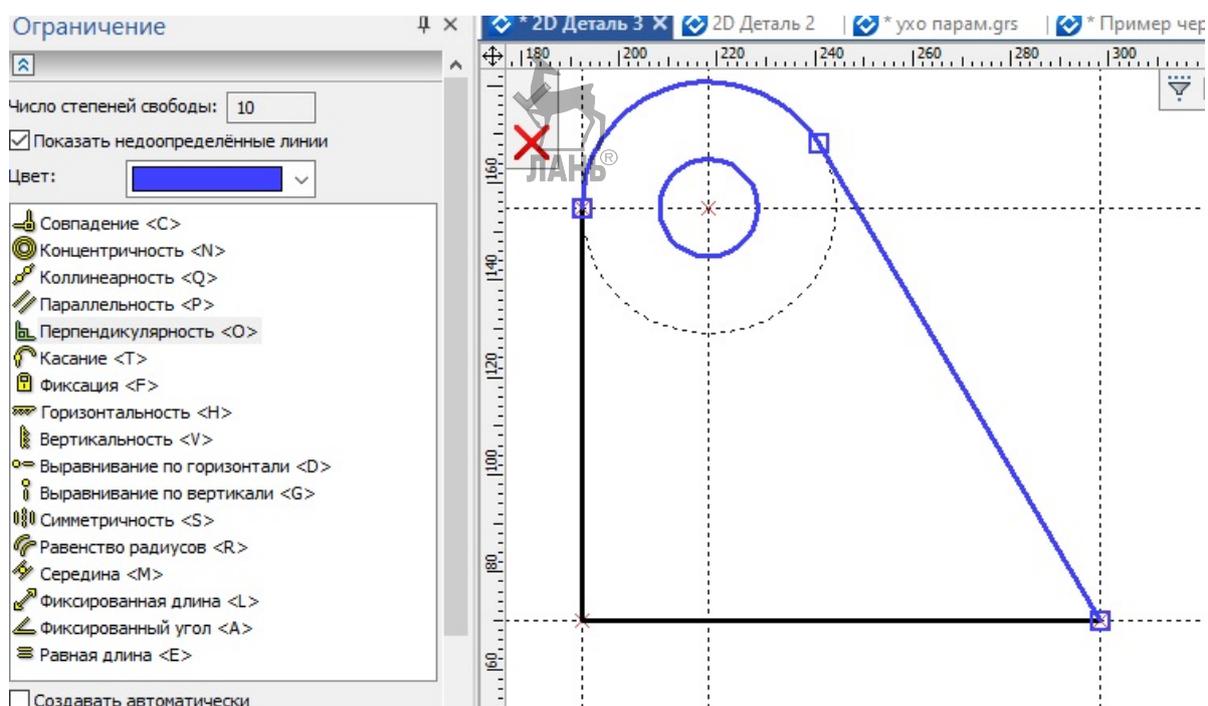


Рис. 2.13. Изображение детали и наложенные ограничения

При работе с ограничениями возможна ситуация, когда созданные взаимосвязи делают построение нелогичным. Это не является ошибкой последовательности создания ограничений – ограничения полностью вариативны и не создают какой-либо иерархической последовательности взаимосвязей. Даже если в какой-то момент чертеж принял нелогичный вид, нужно продолжить конкретизировать ограничения – постепенно чертеж примет требуемый вид. Если после создания ограничений чертеж принимает неудобный для дальнейшего редактирования вид, нужно фиксировать те элементы, для которых перемещение в процессе создания ограничений нежелательно. Для этого существуют ограничения, фиксирующие линии и точки. В дальнейшем лишние ограничения можно удалить [5].

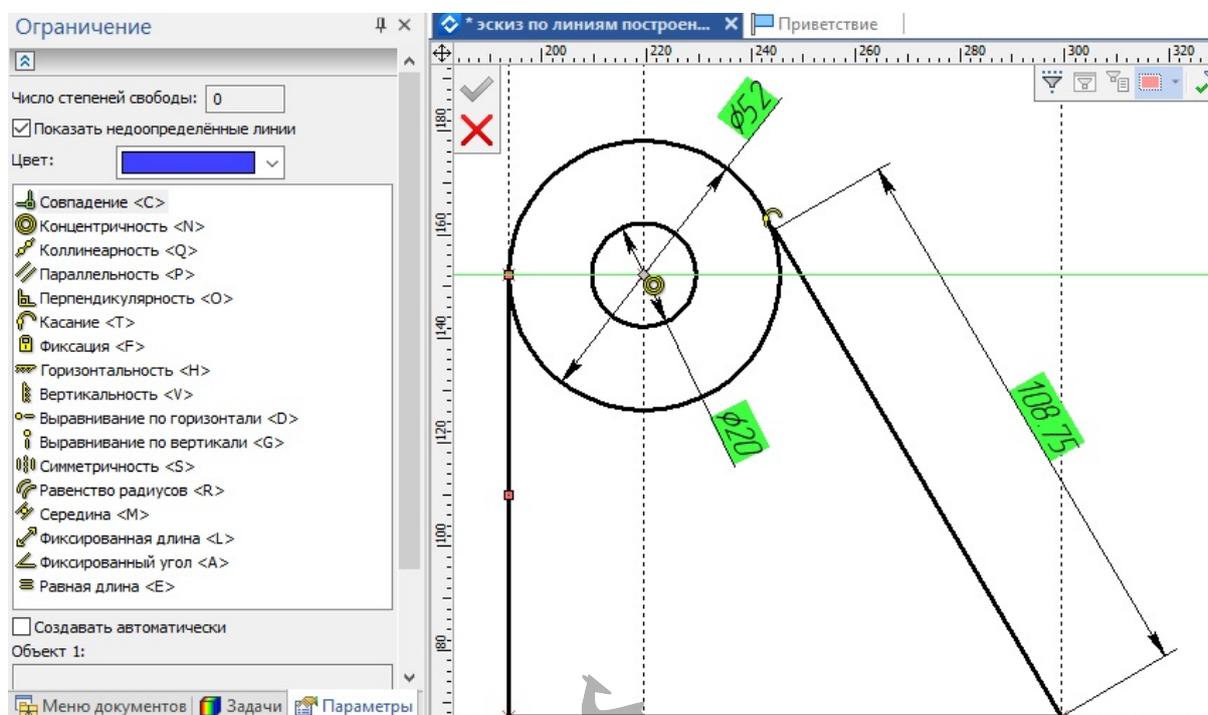


Рис. 2.14. Параметрический чертеж уха

В левой части (см. рис. 2.14) приведены свойства ограничений. Число степеней свободы чертежа равно нулю, что означает, что чертеж полностью определен. Включен режим «Показать неопределенные линии». Все линии черные. Размер 108,75 задан неудачно.

Таким образом, стратегия создания параметрического чертежа нами была выбрана не оптимальной. На наш взгляд, метод создания параметрических изображений при помощи эскиза является предпочтительным.

В новой версии программы добавлены новые механизмы параметрического проектирования, которые являются основой функциональности системы. Ранее параметрический чертеж создавался на основе линий построения и истории повторений. Добавленный новый принцип формирования параметрических зависимостей и управляющих размеров непосредственно на чертеже является естественным и наглядным. Данный механизм удобен при создании эскизов при построении трехмерных моделей. Этот метод будет рассмотрен далее (см. ч. 3). Обе эти технологии можно использовать совместно при разработке одного параметрического изображения.

Отметим, что любой 2D-чертеж (3D-модель) в T-FLEX CAD может быть вставлен в другой 2D-чертеж (3D-модель), тем самым формируются сборочные 2D-чертежи (3D-модели). 2D-чертеж (3D-модель), который вставляется в сборку в T-FLEX CAD, называется фрагментом. Фрагмент – это обычный 2D-чертеж (3D-модель) T-FLEX CAD, который создает сам пользователь системы [2]. Сравнительный анализ методов параметрического проектирования приведен в табл. 2.1 [3; 5].

Таблица 2.1

**Сравнение методов параметрического проектирования**

Проектирование на основе истории построений	Вариационное проектирование
Положение геометрического элемента относительно ранее построенных элементов определяется при его создании	Положение геометрического элемента можно задать или изменить в любой момент посредством ограничений
Циклические зависимости невозможны (ранее построенные элементы не могут зависеть от элементов, построенных позднее)	Допустимы циклические связи между элементами
Параметрическая модель является всегда полностью и однозначно определенной	Модель может быть не полностью определенной, что, с одной стороны, позволяет удобно ее модифицировать, но с другой – может приводить к непредсказуемым результатам при параметрических изменениях
Пересчет модели требует лишь однократного прохода, что позволяет быстро считать модели с большим количеством элементов	Пересчет модели требует специализированного расчета системы ограничений, что ограничивает размерность модели и скорость вычислений

Проектирование на основе истории построений	Вариационное проектирование
Использует элементы построения, на основе которых создаются линии изображения	Не требует использования линий построения. Зависимости накладываются посредством ограничений и управляющих размеров
Переменные используются при задании параметров элементов построения	Переменные используются в качестве значений управляющих размеров, а также для подавления ограничений и управляющих размеров с целью качественных изменений в схеме параметризации
Переопределение зависимостей между элементами является достаточно сложной, иногда невыполнимой процедурой	Переопределение зависимостей между элементами сводится к удалению ограничений и созданию новых ограничений
Автоматическое выявление зависимостей и установка взаимосвязей между элементами затруднено	Возможно автоматическое выявление взаимосвязей и создание ограничений как при создании элементов модели, так и для ранее созданных элементов, например, для импортированных чертежей

Параметрическое проектирование позволяет быстро и эффективно создавать элементы чертежей деталей и сборочных единиц, а также эскизы трехмерных моделей, что дает ему преимущество перед классическими методами проектирования.

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие методы параметрического проектирования имеются в T-FLEX CAD?
2. В чем заключается преимущество метода параметрического проектирования на основе линий построения?
3. Какую функцию в изображении выполняют управляющие размеры?
4. Какую функцию в изображении выполняют ограничения и связи?
5. Сколько степеней свободы имеет полностью параметризованный чертеж?
6. Что означает зеленый цвет фона размеров на параметризованном чертеже?

- 
7. Каким образом включить режим автоматической простановки ограничений в момент создания изображения?
  8. Каким образом включить режим автоматической простановки управляющих размеров в момент создания изображения?
  9. Каким образом задаются переменные проектирования?
  10. Для чего нужны внешние переменные проектирования?
  11. Дайте определение понятия «параметрический эскиз».
  12. Каким образом можно редактировать переменные проектирования?
  13. Можно ли редактировать переменные проектирования после создания параметрического чертежа?
  14. К чему приведет излишнее задание управляющих размеров и ограничений на чертеже?
  15. Чем линии построения отличаются от линий изображения?
  16. Укажите признаки полностью параметризованного чертежа.
  17. Назовите преимущества параметризованного чертежа перед непараметризованным.
  18. Какой чертеж проще создать: параметризованный или непараметризованный?
  19. Где расположены инструменты наложения ограничений на чертеж?
  20. Чем отличается управляющий размер от обычного размера?
  21. Каким образом можно получить несколько вариантов изображения на основе параметризованного чертежа?
  22. Являются ли точки объектной привязки ограничениями параметрического чертежа?

## 3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

### 3.1. ИНТЕРФЕЙС СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ

Прежде чем приступить к 3D-моделированию каких-либо объектов, необходимо познакомиться с основными элементами интерфейса для работы с трехмерными объектами и рассмотреть некоторые основные понятия.

При создании 3D-детали открывается окно со всеми необходимыми элементами для работы с трехмерными моделями (рис. 3.1). *Лента панелей* предназначена для быстрого доступа ко всем необходимым инструментам и функциям программы и автоматически подстраивается под текущий режим работы. Когда создается 3D-деталь, *лента панелей* автоматически открывает вкладку «3D-модель», но, если войти в режим черчения, на *ленте* автоматически открывается вкладка «Рабочая плоскость» (рис. 3.2), где присутствуют все необходимые инструменты для работы на плоскости.

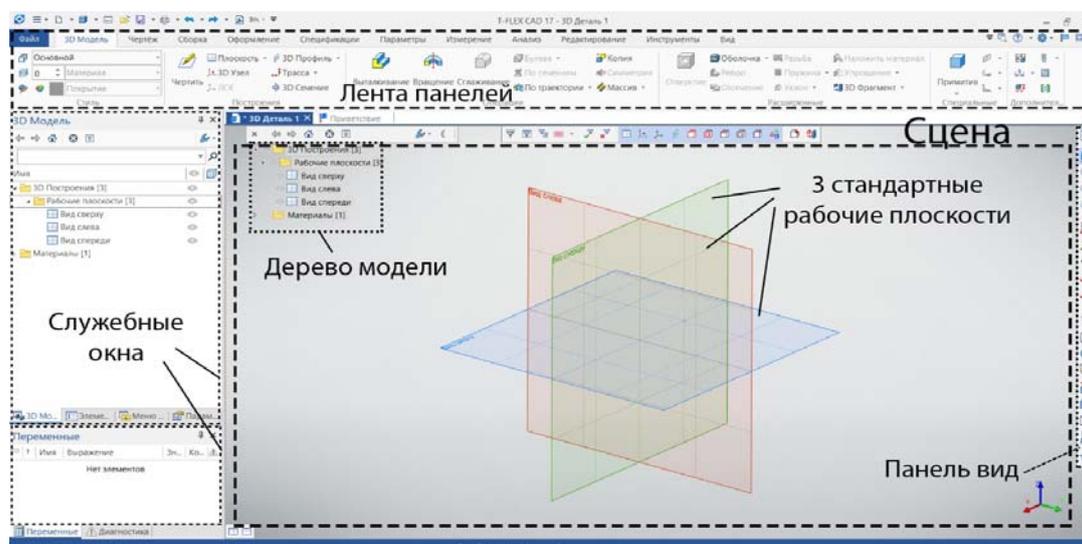


Рис. 3.1. Интерфейс для 3D-моделирования

Область, где выполняется построение 3D-объектов, называется *сценой*. На *сцене* по умолчанию расположены три взаимно перпендикулярные *рабочие плоскости*: вид спереди (зеленого цвета), вид слева (красного цвета), вид сверху (синего цвета). Управление камерой *сцены* осуществляется с помощью мыши: вращение ролика отдаляет или приближает объекты на *сцене*, одновременное удерживание ролика и перемещение мышки позволяет двигать камеру вверх, вниз, влево, право относительно объектов *сцены*, а с помощью одновремен-

ного удерживания левой кнопки и перемещения мышки можно вращать камеру вокруг объектов *сцены*. На *панели вид* отображаются инструменты для работы с камерой.

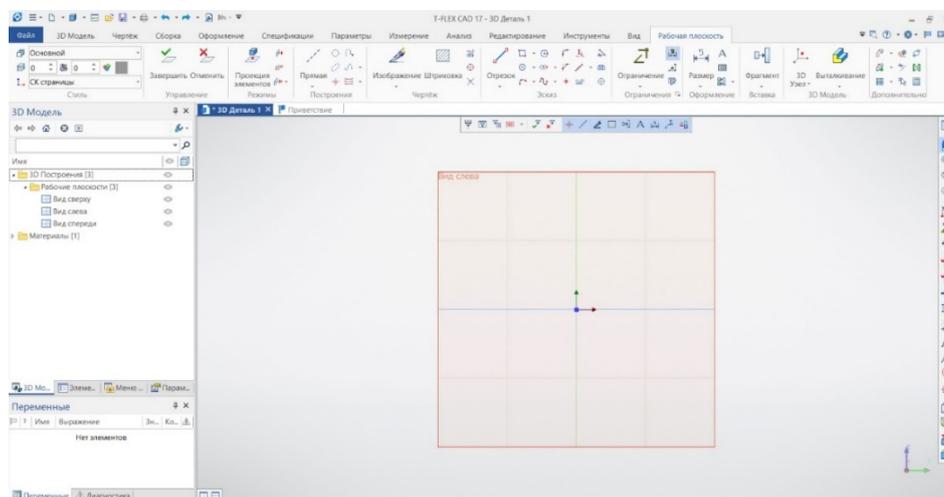


Рис. 3.2. Рабочая плоскость

В *служебном окне*, как и в *ленте*, автоматически отображаются необходимые для текущего режима окна. В режиме работы с трехмерными объектами открыто окно «3D-модель», в котором отображается *дерево модели* текущего объекта. *Дерево модели* может дублироваться на *сцене*. В *дереве модели* отображаются все построения текущей модели (в том числе *опорная 3D-геометрия*), *рабочие плоскости*, материалы.

В T-FLEX CAD, в отличие от некоторых других программ, помимо 2D-примитивов существуют 3D-примитивы. Кнопка вывода списка примитивов расположена в правой части вкладки «3D-модель» на *ленте панелей* (рис. 3.3).

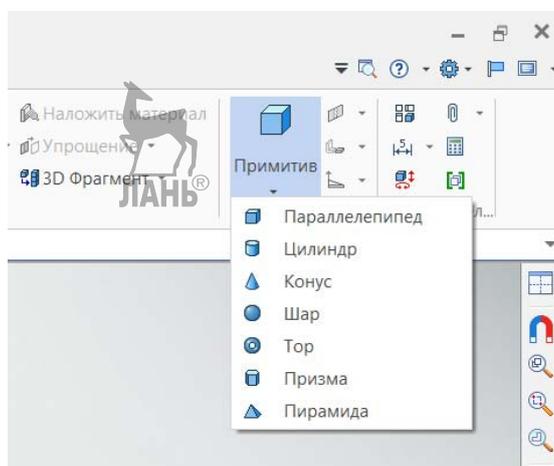


Рис. 3.3. Трехмерные примитивы

Примитивы могут выполнять как основную функцию при построении модели детали, так и вспомогательную. Например, для построения боковой пластины корпуса опорно-поворотного устройства лесного манипулятора с помощью трехмерного примитива необходимо выбрать примитив *параллелепипед*. При этом в служебном окне слева автоматически откроются основные параметры данного примитива (рис. 3.4).

После ввода размеров получается готовая деталь (рис. 3.5).

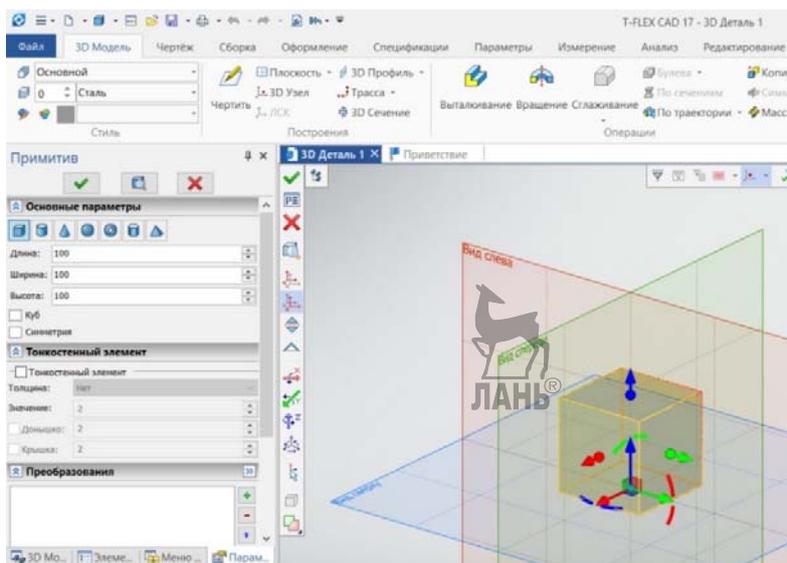
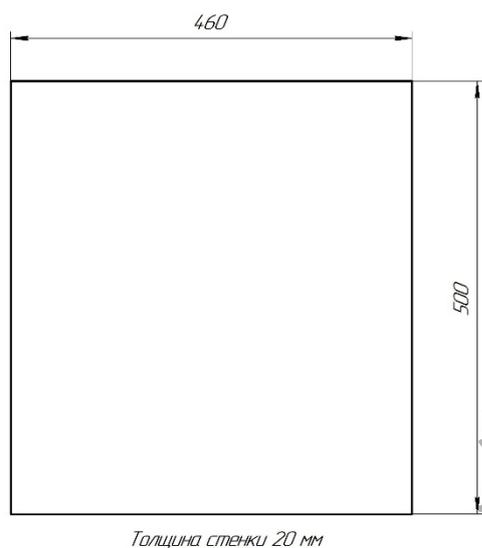
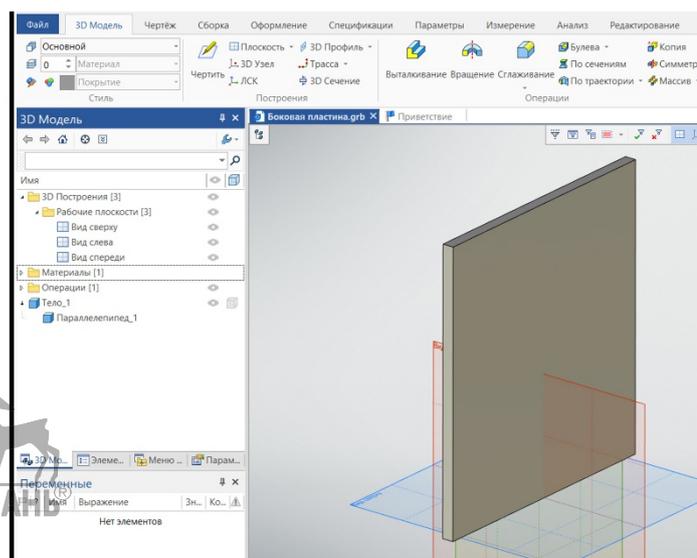


Рис. 3.4. Основные параметры примитивов



а



б

Рис. 3.5. Моделирование боковой пластины:  
а – чертеж; б – 3D-модель

Для построения скоса у гайки можно воспользоваться примитивом *конус*. Выставив все необходимые параметры, необходимо выбрать режим создания булевой операции «Пересечение» (рис. 3.6) и закончить ввод, нажав на зеленую галочку. При этом все, что находится за пределами примитива *конус*, обрежется (рис. 3.7).

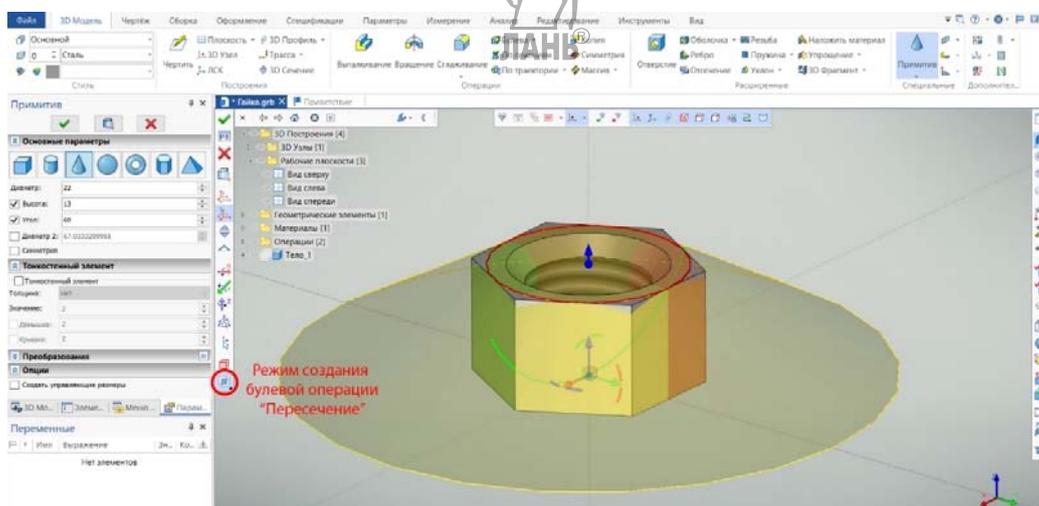


Рис. 3.6. Создание скоса у гайки

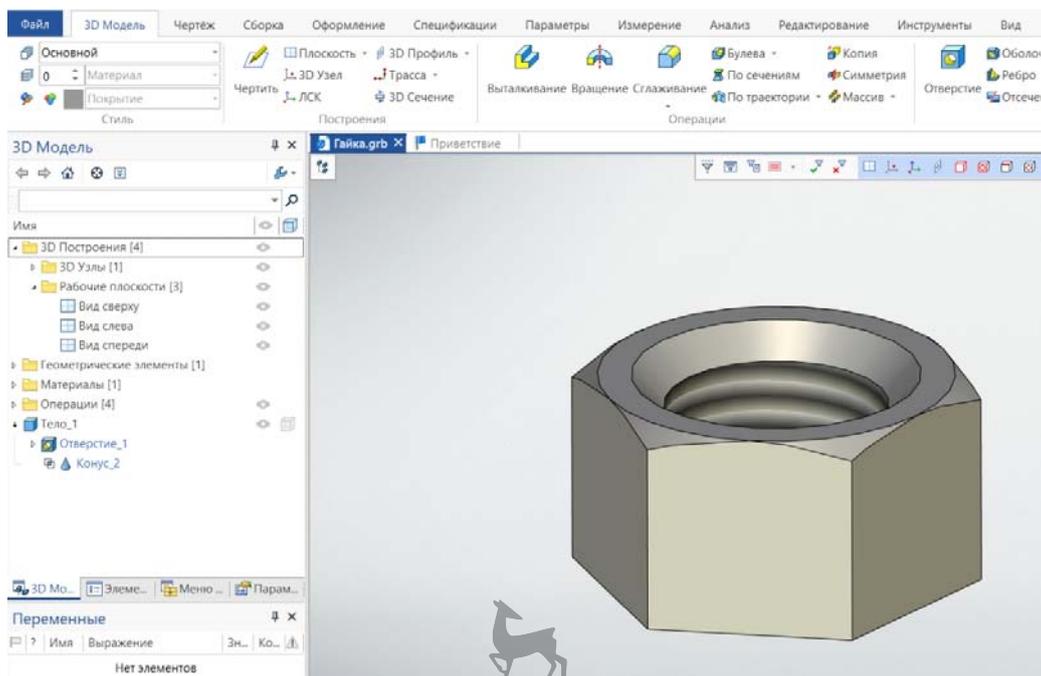


Рис. 3.7. Гайка

Таким образом, с помощью 3D-примитивов можно быстро создавать несложные трехмерные модели деталей машин, не прибегая к эскизированию, что существенно может сократить время проектирования.

## 3.2. ПОСТРОЕНИЕ ЭСКИЗА ПРИ СОЗДАНИИ МОДЕЛИ

Для проектирования более сложных моделей изделий необходимо создать контур или *3D-профиль*, который формируется с помощью эскиза (рис. 3.8). Эскиз является основой *3D-профиля*. Если удалить эскиз, то *3D-профиль* также удалится, если удалить *3D-профиль*, то эскиз останется. На основе *3D-профиля* выполняется формообразующая операция изделия или элемента изделия.

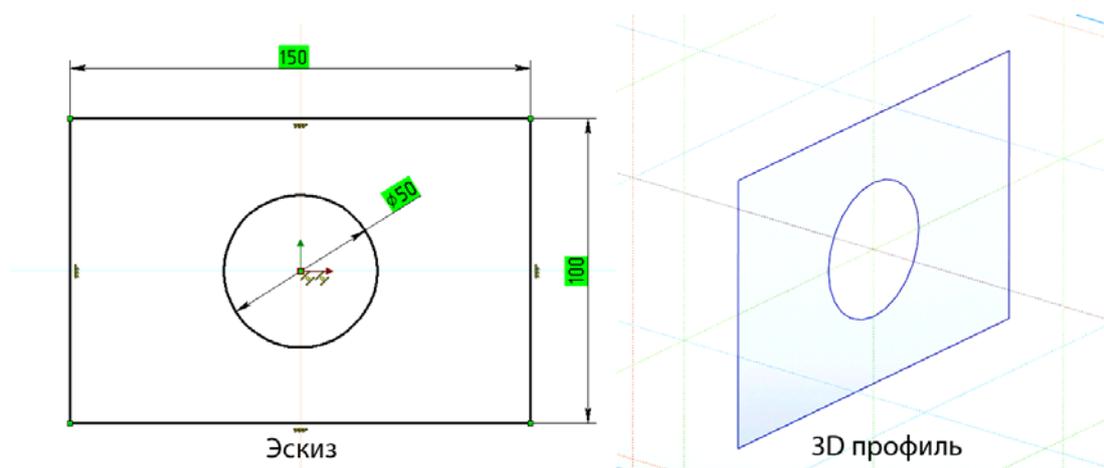


Рис. 3.8. Эскиз и 3D-профиль

Для построения эскиза необходимо выбрать плоскость, грань или поверхность и нажать кнопку «Чертить», которая находится на ленте панелей во вкладке «3D-модель», после чего выбранная плоскость, грань или поверхность расположится параллельно плоскости экрана монитора и на ленте панелей автоматически откроется вкладка «Рабочая плоскость», на которой расположены все необходимые инструменты для работы с эскизом (см. рис. 3.2).

Для построения эскиза в T-FLEX CAD существуют два способа: 1) обводка линий построения линиями изображения; 2) построение с помощью 2D-примитивов, редактора эскиза, авторазмеров и ограничений (принят за основу во многих CAD-системах). Первый способ является основным и считается самым функциональным. Рассмотрим оба способа более подробно применительно к созданию 3D-моделей.

**Первый способ построения эскиза.** Для построения эскиза данным способом необходимо в первую очередь с помощью линий построения создать его скелет, который включает в себя одновременно и размеры, и ограничения. Далее полученный скелет обводится с помощью линий изображения, формируя 3D-профиль.

Построим первым способом эскиз косынки поворотной колонны лесного манипулятора. Для этого выберем рабочую плоскость «Вид

спереди» и, нажав кнопку «Чертить», войдем в режим черчения на данной плоскости (рис. 3.9). Построим перпендикулярные прямые, проходящие через начало координат, выбрав функцию «Прямые с узлом в (0,0)» в разделе «Построения» (рис. 3.10).

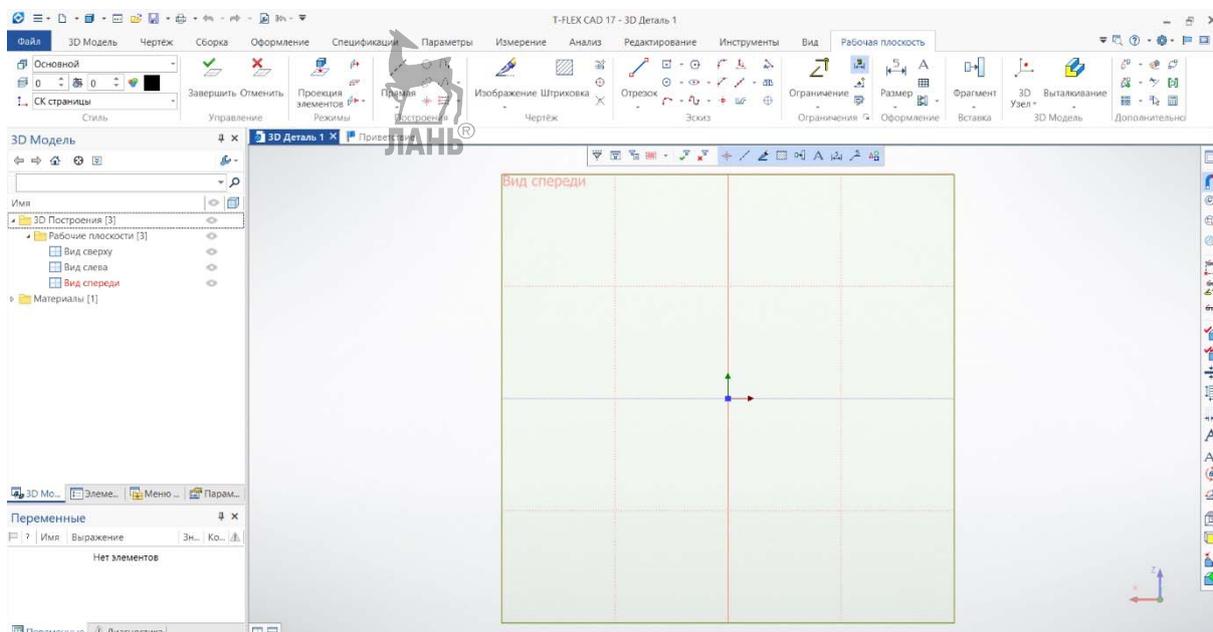


Рис. 3.9. Режим черчения (Вид спереди)

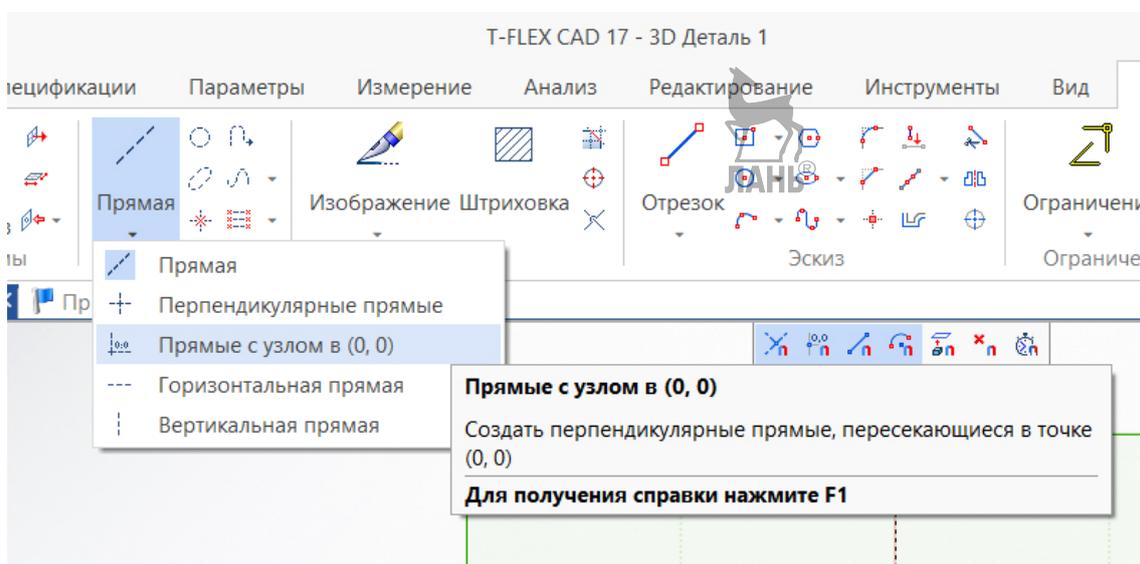


Рис. 3.10. Построение перпендикулярных прямых, проходящих через начало координат

Относительно перпендикулярных прямых (назовем их базовыми прямыми) откладываем линии построения, которые будут формировать скелет эскиза косынки. Для этого необходимо выбрать функцию

«Прямая» в разделе «Построения» и, указав базовую прямую, ввести необходимое расстояние, которое будет определять вертикальный или горизонтальный размер скелета косынки (рис. 3.11). После построения скелета эскиза линии построения можно обрезать, нажав выбрав функцию «Обрезка» в разделе «Построения». Полученный скелет обведем линией изображения (основной линией), выбрав функцию «Изображение» в разделе «Чертеж» (рис. 3.12). Эскиз готов.

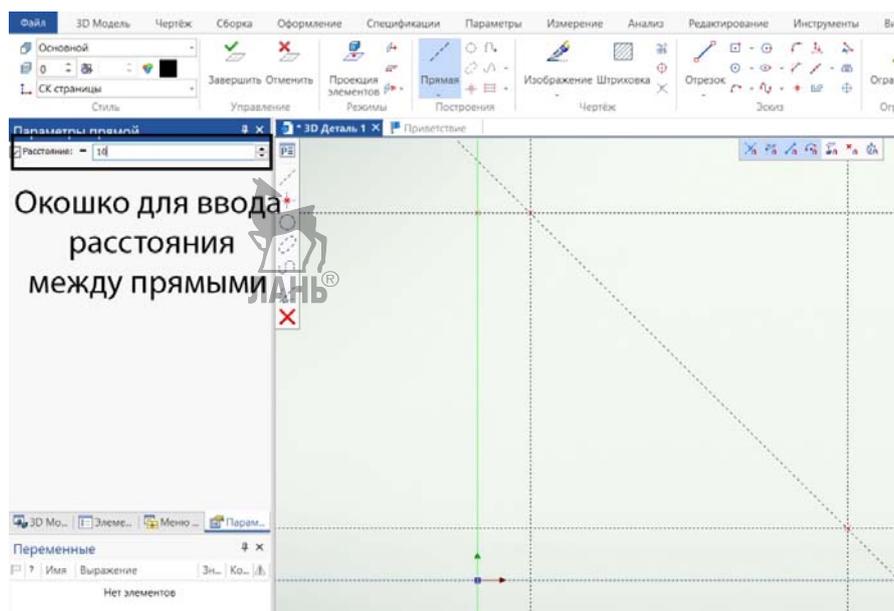


Рис. 3.11. Построение скелета эскиза косынки

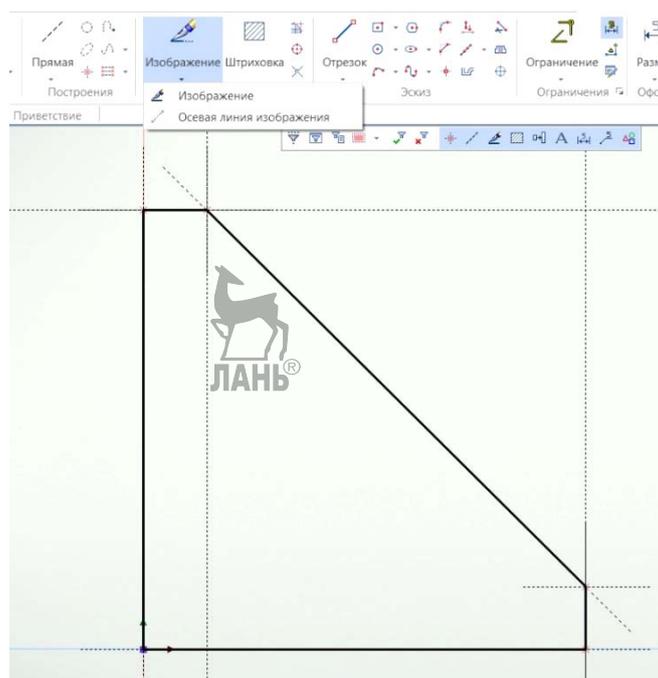


Рис. 3.12. Построение эскиза косынки первым способом

Для создания 3D-профиля и выхода из режима черчения необходимо нажать на иконку «Завершить» в разделе «Управление».

**Второй способ построения эскиза.** Для построения эскиза данным способом строится его контур с помощью вспомогательных элементов (в том числе 2D-примитивов), которые расположены в разделе «Эскиз» на *ленте панелей*. На полученный эскиз накладываются размеры и ограничения.

Построим вторым способом эскиз косынки поворотной колонны лесного манипулятора. Как и при первом способе построения, выберем рабочую плоскость «Вид спереди» и, нажав кнопку «Чертить», войдем в режим черчения на данной плоскости.

В разделе «Эскиз» на *ленте панелей* выбираем инструмент «Отрезок», с помощью которого от начала координат произвольно строим отрезками контур косынки (рис. 3.13). При этом для первой точки, которая находится в начале координат, будет автоматически создано ограничение «Совпадение», а вертикальные и горизонтальные отрезки автоматически получают ограничения «Вертикальность» и «Горизонтальность» соответственно.

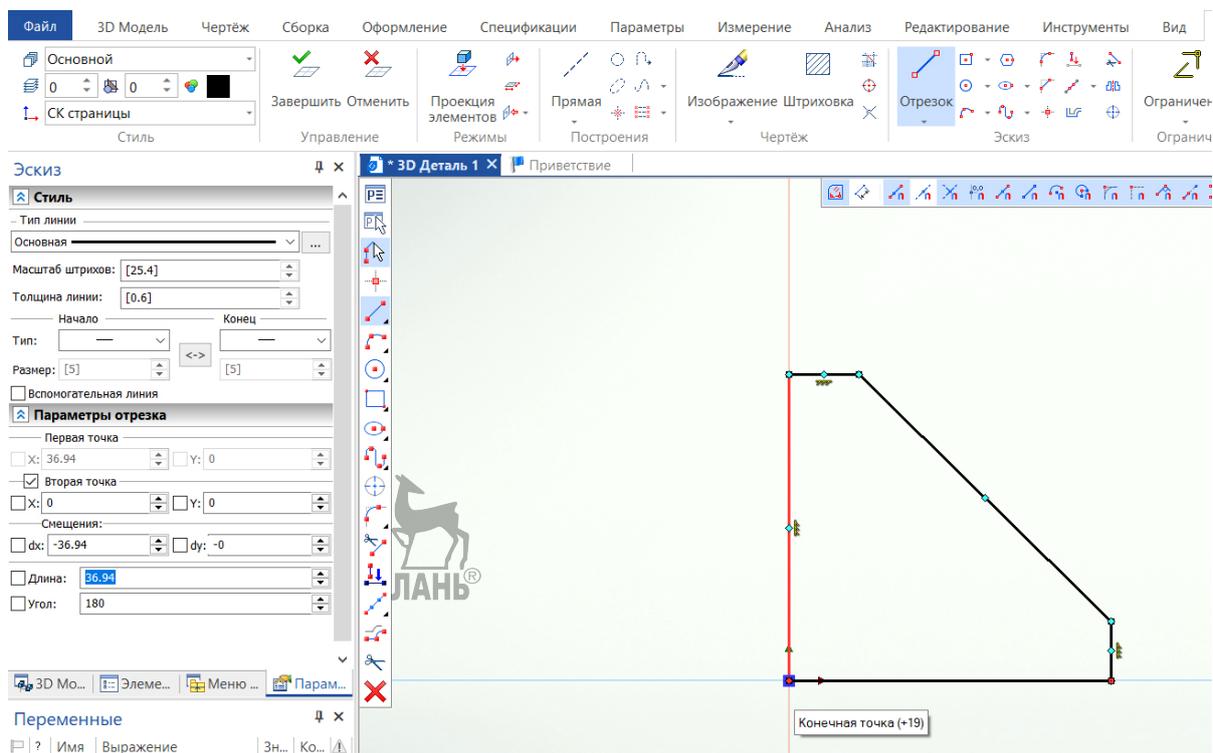


Рис. 3.13. Построение контура косынки

Далее, с помощью функции «Размер» в разделе «Оформление» на *ленте панелей* указываем размеры, определяющие эскиз косынки.

При этом, для того чтобы размеры стали управляющими, функция «Управляющие размеры» в разделе «Ограничения» должна быть включена (рис. 3.14).

После указания размеров эскиз автоматически принимает нужные пропорции и размеры (рис. 3.15). Зеленый цвет фона указанных размеров говорит о том, что эскиз определен. Если цвет желтый, то эскиз не определен.

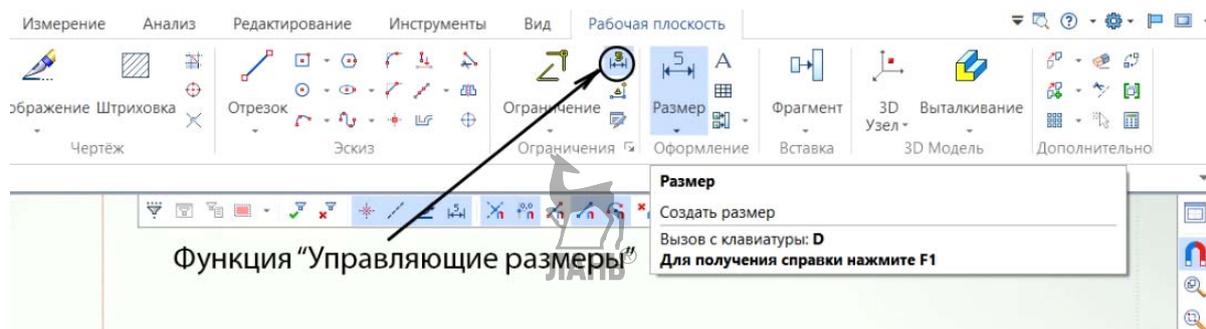


Рис. 3.14. Управляющие размеры

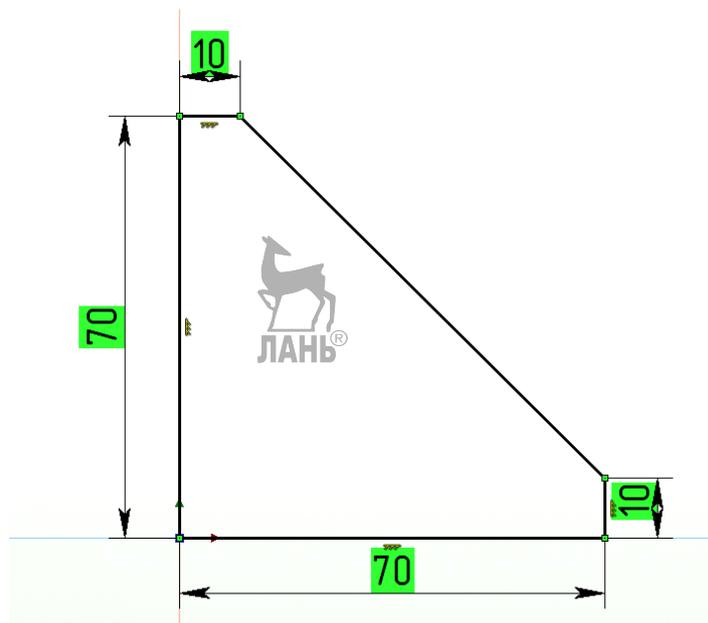


Рис. 3.15. Построение эскиза косынки вторым способом

Для того чтобы удалить наложенные автоматические ограничения, необходимо кликнуть по ним левой кнопкой мыши и нажать клавишу Del на клавиатуре.

### 3.3. ОСНОВНЫЕ ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ

Для создания любой простой модели требуется формообразующая операция, соответствующая характеру формы объекта моделирования. При разработке моделей сложных объектов требуется осуществлять несколько последовательных формообразующих операций, каждая из которых будет формировать отдельную часть тела модели. К основным формообразующим операциям относятся операция выталкивания, операция вращения, операция по траектории, операция по сечениям.

**Операция выталкивания.** Как правило, операция выталкивания является самой простой и самой распространенной формообразующей операцией. В результате операции выталкивания происходит перемещение *3D-профиля* перпендикулярно его плоскости (по нормали) или по указанному направлению, при этом его контуры формируют оболочку твердого тела или тело-поверхность. Если контур *3D-профиля* замкнутый, то формируется твердое тело, если разомкнутый – тело-поверхность (рис. 3.16).

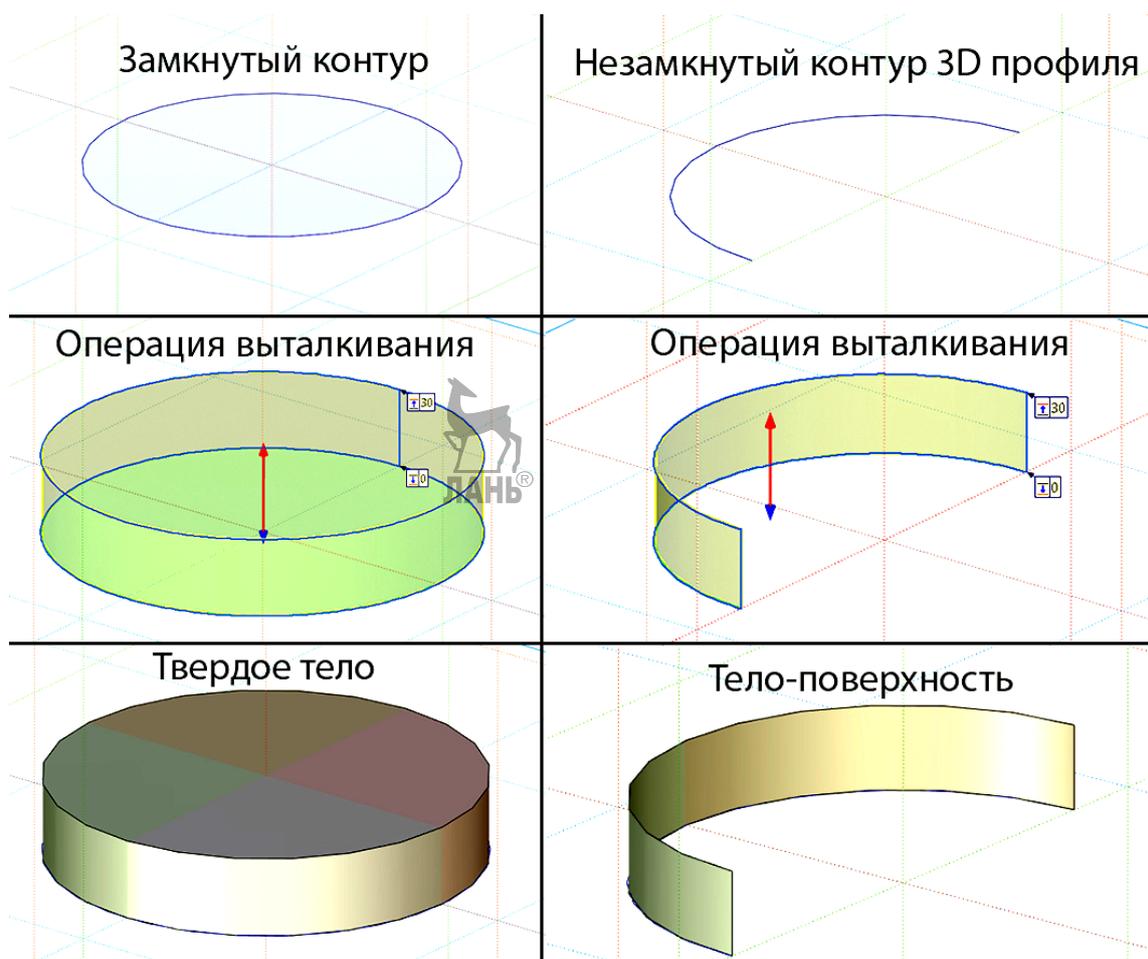


Рис. 3.16. Операция выталкивания

- Для создания операции нужно выполнить следующие действия [2].
1. Выделить необходимый для выталкивания *3D-профиль* на сцене или выбрать его в служебном окне «3D-модель».
  2. Указать направление выталкивания (необязательное действие при выталкивании по нормали).
  3. Задать длину или границы выталкивания.
  4. Задать дополнительные параметры, такие как уклон, режим тонкостенного элемента, создание булевой операции (необязательное действие).
  5. Подтвердить необходимость операции, щелкнув на кнопке «закончить ввод».

**Операция вращения.** Второй по популярности формообразующей операцией является операция вращения. При выполнении данной операции твердое тело или тело-поверхность формируется в результате вращения образующей вокруг оси. В качестве образующей может выступать как *3D-профиль* в целом, так и его отдельные элементы. Осью может являться одна из прямых сторон *3D-профиля* или построенная отдельно от образующего эскиза штриховая линия (рис. 3.17), также в качестве оси можно выбрать две точки.

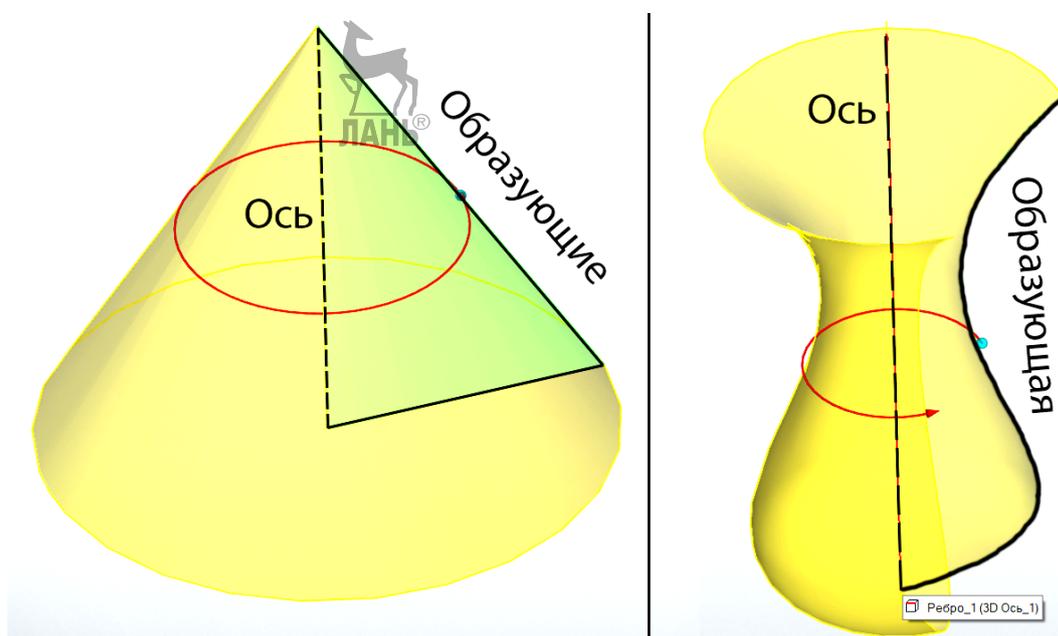


Рис. 3.17. Операция вращения

- Для создания операции нужно выполнить следующие действия.
1. Выделить необходимый для вращения *3D-профиль* на сцене или выбрать его в служебном окне «3D-модель».

2. Указать объект, который будет служить осью вращения.
3. Задать угол вращения от 0 до 360° (по умолчанию установлено 360°).
4. Задать дополнительные параметры, такие как диапазон вращения, начальный угол, режим тонкостенного элемента, создание булевой операции (необязательное действие).
5. Подтвердить необходимость операции, щелкнув на кнопке «Закончить ввод».

**Операция по траектории.** Данная операция позволяет создавать трехмерные объекты, поверхность которых образуется в результате перемещения профиля произвольной формы вдоль указанной траектории. В качестве исходного контура может использоваться любой объект 3D-модели с проволоочной или листовой геометрией. Движение контура получается за счет его многократного копирования вдоль выбранной траектории и последующего объединения полученных промежуточных сечений в единую поверхность (рис. 3.18). При движении *3D-профиля* по траектории можно управлять параметрами кручения относительно оси траектории и масштабированием.

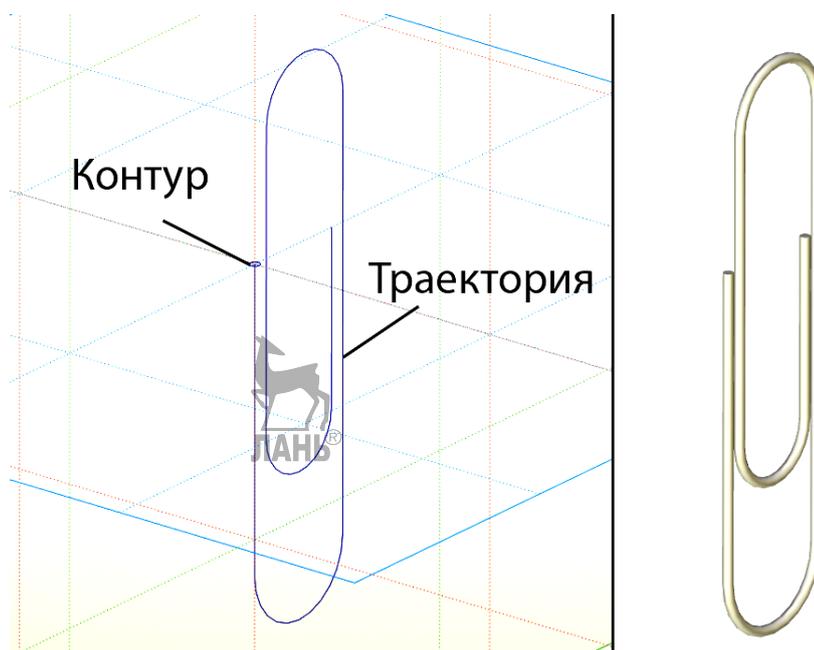


Рис. 3.18. Операция по траектории

Для создания операции нужно выполнить следующие действия.

1. Создать контур, который будет перемещаться вдоль траектории.
2. Создать траекторию.

3. Выбрать операцию «По траектории», указать контур и траекторию.
4. Выбрать ориентацию контура (перпендикулярно траектории, параллельно исходному, по направляющим).
5. При необходимости провести коррекцию положения профиля, обрезку траектории, выполнить кручение и (или) масштабирование.

**Операция по сечениям.** Данная операция предназначена для создания тел со сложной геометрией. Построение объемного элемента выполняется по двум и более эскизам, которые рассматриваются как сечение элемента в нескольких плоскостях. При этом элемент может формироваться как по направляющей траектории, так и без нее (по нормали к плоскости). В зависимости от типа геометрии исходных элементов результат может быть получен как в виде твердого тела (рис. 3.19), так и в виде тела-поверхности.

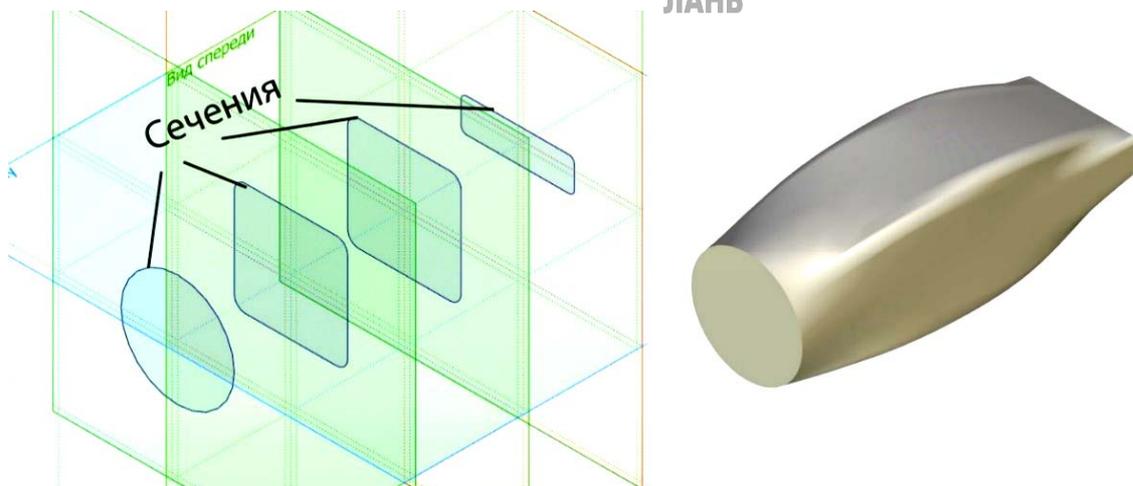


Рис. 3.19. Операция по сечениям

Для создания операции нужно выполнить следующие действия.

1. Создать необходимое количество вспомогательных рабочих плоскостей.
2. Начертить на полученных рабочих плоскостях 3D-профили, которые будут формировать поверхность элемента по сечениям.
3. Запустить команду «По сечениям».
4. Выбрать в нужной последовательности начерченные ранее 3D-профили.
5. При необходимости указать точки соответствия на каждом 3D-профиле.
6. Указать направляющие, по которым будет формироваться поверхность тела между 3D-профилями (необязательный параметр).

---

От выбора способа построения той или иной геометрии будет зависеть многое: возможность объединить в одну операцию построение нескольких поверхностей, необходимые привязки, 3D-построения или дополнительные операции, удобство использования результата операции для последующих построений, возможность использования готового 3D-фрагмента в качестве заготовки.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите основные элементы интерфейса для 3D-моделирования.
2. Какие функции могут выполнять 3D-примитивы при построении модели?
3. Сколько существует основных способов построения эскиза в T-FLEX CAD и в чем их особенность?
4. Назовите основные формообразующие операции.
5. Выполните построение всех существующих примитивов в T-FLEX CAD.
6. Выполните построение эскиза косынки всеми известными способами.
7. Опишите общий порядок создания трехмерной модели изделия с помощью основных формообразующих операций.



## 4. ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Создадим модели деталей корпуса опорно-поворотного устройства (ОПУ). Корпус ОПУ состоит из боковой, верхней, нижней, передней пластин, корпуса шток-рейки, поршня шток-рейки, шток-рейки. Модель боковой пластины выполнена с помощью 3D-примитива в предыдущем разделе (см. рис. 3.5).

**Моделирование верхней пластины корпуса ОПУ.** Построим модель, используя чертеж детали (рис. 4.1). Прежде чем приступить к моделированию, мысленно разберем деталь на примитивы. Условно деталь можно разделить на две части. Нижняя часть представляет собой параллелепипед, в основании которого лежит квадрат со сторонами, равными 500 мм. Верхняя часть представляет собой цилиндр диаметром 290 мм. Верхняя и нижняя части имеют сквозное круглое отверстие диаметром 260 мм. Для создания модели данной детали необходимо и достаточно сформировать два 3D-профиля и воспользоваться операцией выталкивания.

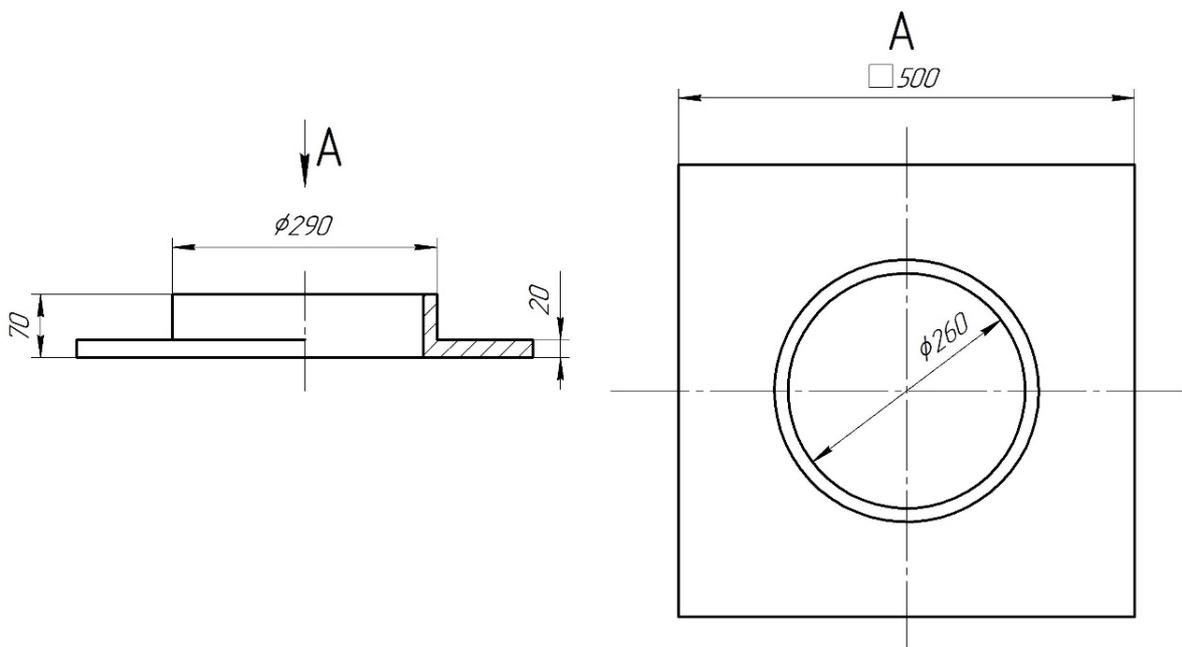


Рис. 4.1. Чертеж верхней пластины корпуса ОПУ

Для создания первого 3D-профиля необходимо выбрать правильную ориентацию и соответствующую этой ориентации рабочую плоскость. В данном случае лучше всего начать построение детали

снизу вверх. Для построения эскиза выберем рабочую плоскость «Вид сверху» и нажмем кнопку «Чертить».

Воспользуемся первым способом построения эскиза. В разделе «Построения» выберем «Прямые с узлом в (0, 0)», тем самым установив вертикальную и горизонтальную прямые, пересекающиеся в начале координат. Далее с помощью прямых построим контуры основания верхней пластины таким образом, чтобы центр пластины находился в начале координат. Из начала координат построим окружность диаметром 260 мм. Обведем полученный скелет линией изображения. Эскиз готов (рис. 4.2).

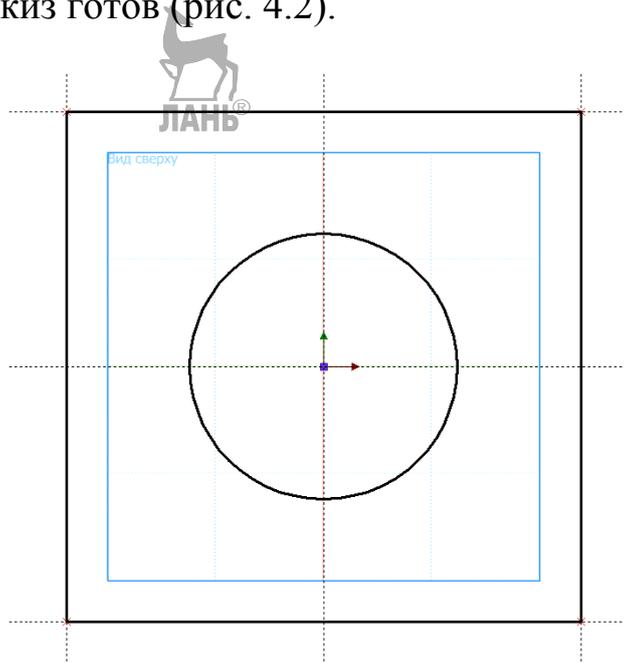


Рис. 4.2. Эскиз нижней части верхней пластины корпуса ОПУ

Нажав клавишу «Завершить» на панели «Управление», выходим из режима черчения, система автоматически формирует 3D-профиль согласно построенному эскизу.

Полученный 3D-профиль выталкиваем вверх на 20 мм, получаем нижнюю часть верхней пластины опорно-поворотного устройства (рис. 4.3).

Чтоб построить верхнюю часть детали, выберем грань, на которой будет располагаться ее 3D-профиль (в нашем случае это верхняя грань нижней части) и войдем в режим черчения. Построим окружность диаметром 290 мм с помощью вспомогательной геометрии в разделе «Построение», при этом вспомогательный контур внутренней окружности строить не обязательно, поскольку он совпадает с контуром 3D-профиля нижней части детали. Обведем окружности

и получим эскиз верхней части. Выполним операцию выталкивания на 50 мм второй части детали, при этом выберем режим создания булевой операции «Сложение», иначе в результате операции получится другое тело. Нажимая кнопку «Закончить ввод», получаем 3D-модель верхней пластины (рис. 4.4).

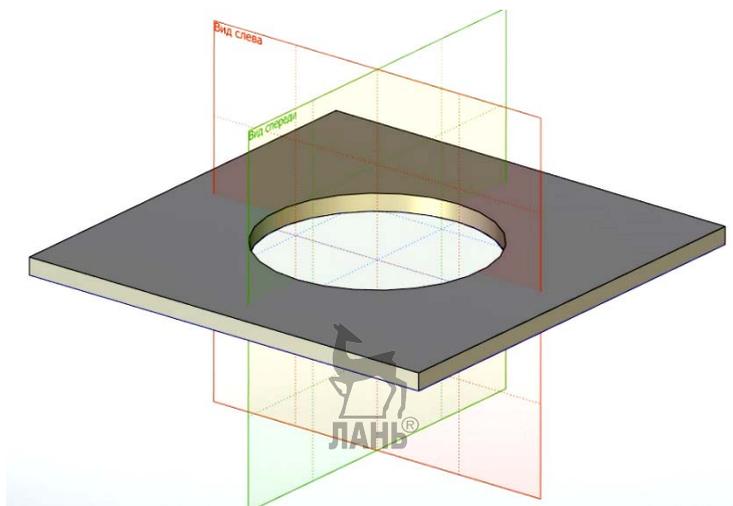


Рис. 4.3. Нижняя часть верхней пластины корпуса ОПУ

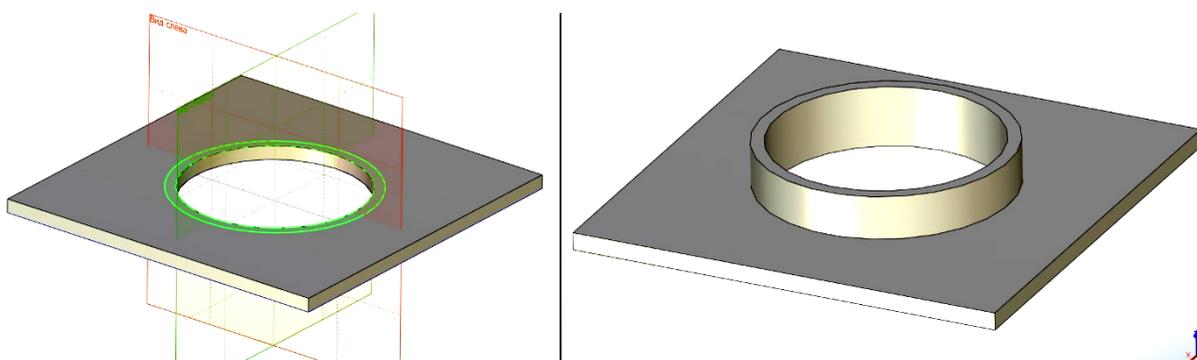


Рис. 4.4. 3D-модель верхней пластины корпуса ОПУ

**Моделирование нижней пластины корпуса ОПУ.** Нижняя пластина аналогична верхней (рис. 4.5), поэтому построим ее другим способом, используя примитивы.

Аналогично, как и верхнюю пластину, нижнюю пластину условно можно разделить на две части. Нижняя часть представляет собой параллелепипед высотой 20 мм, в основании которого лежит квадрат со сторонами, равными 500 мм. Верхняя часть представляет собой цилиндр высотой 120 мм, диаметром 230 мм. Верхняя и нижняя

части имеют сквозные круглые отверстия: верхняя часть – диаметром 195 мм, нижняя – 110 мм. Для создания модели данной детали воспользуемся примитивами «Параллелепипед» и «Цилиндр».

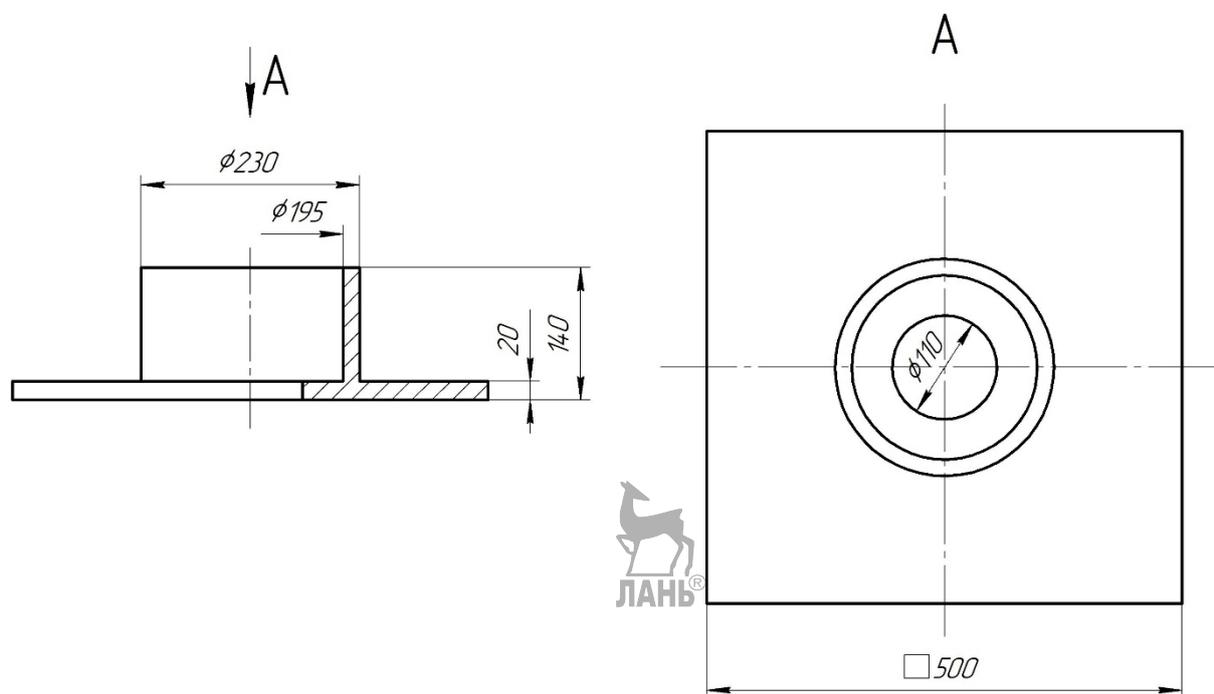


Рис. 4.5. Чертеж нижней пластины корпуса ОПУ

Для правильной ориентации 3D-модели на сцене или в дереве модели выберем рабочую плоскость «Вид сверху». На ней создадим примитив «Параллелепипед», нажав соответствующую кнопку в разделе «Специальные». Зададим примитиву следующие параметры: длина и ширина – 500 мм, высота – 20 мм. После ввода параметров нажимаем кнопку «Закончить ввод» и получаем основание нижней пластины.

Для того чтобы сделать отверстие в основании нижней пластины, необходимо на рабочей плоскости «Вид сверху» аналогичным образом построить примитив «Цилиндр» высотой, равной высоте пластины, и диаметром, равным диаметру отверстия, при этом выбрать режим создания булевой операции «Вычитание». Нижняя часть нижней пластины готова (рис. 4.6).

**Моделирование передней пластины корпуса ОПУ.** Данная деталь представляет собой параллелепипед высотой 20 мм, основанием которого является квадрат со сторонами 500 мм. Также передняя пластина имеет два симметрично расположенных сквозных круглых отверстия диаметром 120 мм, вокруг каждого из которых по перимет-

ру окружности диаметром 175 мм равномерно расположены шесть отверстий диаметром 10 мм (рис. 4.7).

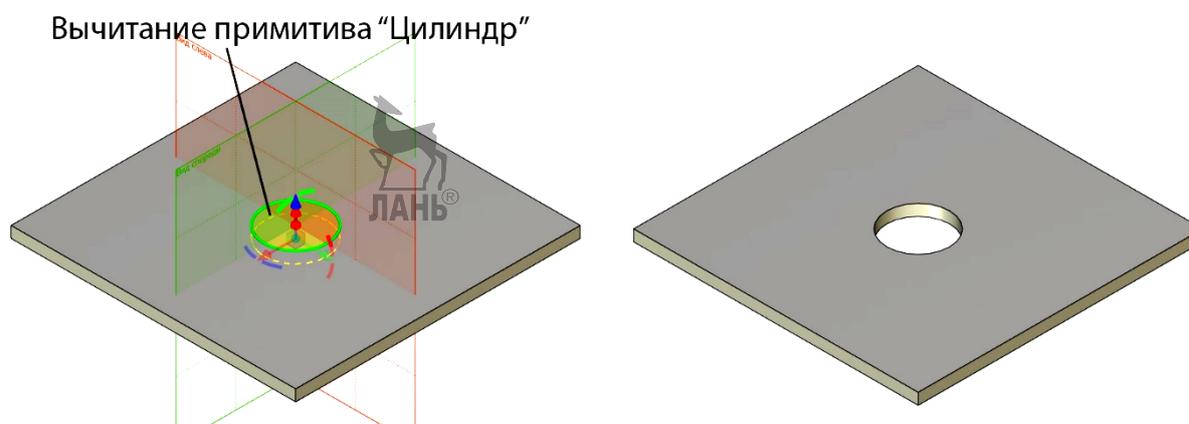


Рис. 4.6. Основание нижней пластины

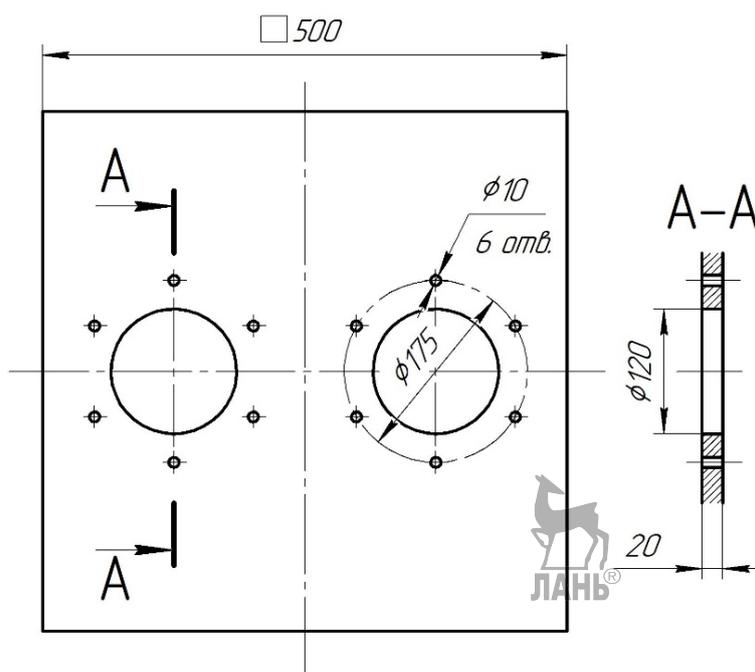


Рис. 4.7. Чертеж передней пластины корпуса ОПУ

Для трехмерного моделирования данной детали достаточно выполнить эскиз главного вида передней пластины и выполнить операцию «Выталкивание» на величину 20 мм. Построение эскиза выполним вторым способом.

Моделирование начнем с выбора рабочей плоскости «Вид спереди» и входа в режим черчения. В разделе «Эскиз» выберем функ-

цию «Прямоугольник по центру» и построим произвольно прямоугольник таким образом, чтоб его центр располагался в начале координат. В том же разделе выберем функцию «Окружность» и построим произвольно окружность внутри прямоугольника, в левой его части, как это показано на чертеже передней пластины. Над полученной окружностью построим произвольно окружность меньших размеров и в центрах обеих окружностей поставим точки, выбрав функцию «Точка» в разделе «Эскиз» (рис. 4.8).

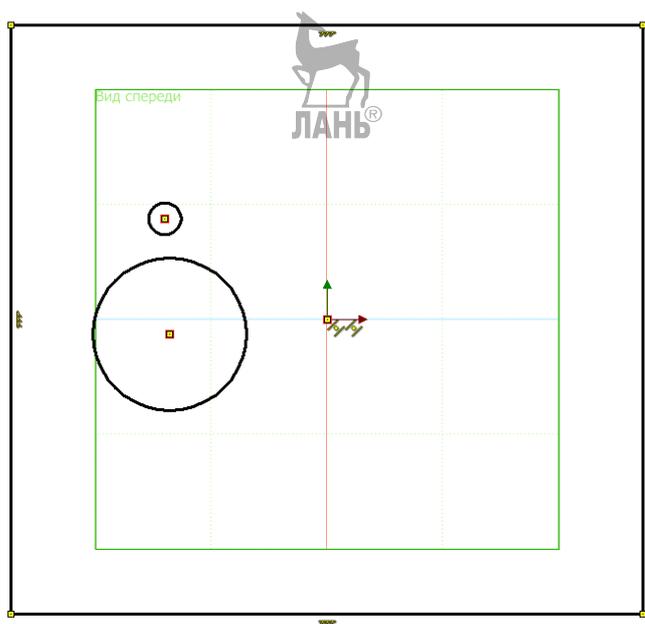


Рис. 4.8. Построение эскиза передней пластины

Для позиционирования центров отверстий согласно чертежу, наложим на них соответствующие ограничения. В разделе «Ограничения» выберем функцию «Выравнивание по горизонтали» и с помощью курсора укажем точку в центре большой окружности, щелкнув по ней левой кнопкой мыши, и точку в начале координат. После наложения ограничения выбранные точки расположатся на одной горизонтальной прямой. Выбрав ограничение «Выравнивание по вертикали», то же самое сделаем с центрами обеих окружностей, тем самым связав их центры одной вертикальной прямой. Выбрав функцию «Размер» в разделе «Оформление», установим расстояние между центром большой окружности и началом координат 125 мм, а между центрами большой и малой окружности установим расстояние 87,5 мм, при этом кнопка «Управляющие размеры» в разделе «Ограничение»

должна быть активна. Далее с помощью управляющих размеров определим диаметры обеих окружностей согласно чертежу (рис. 4.9).

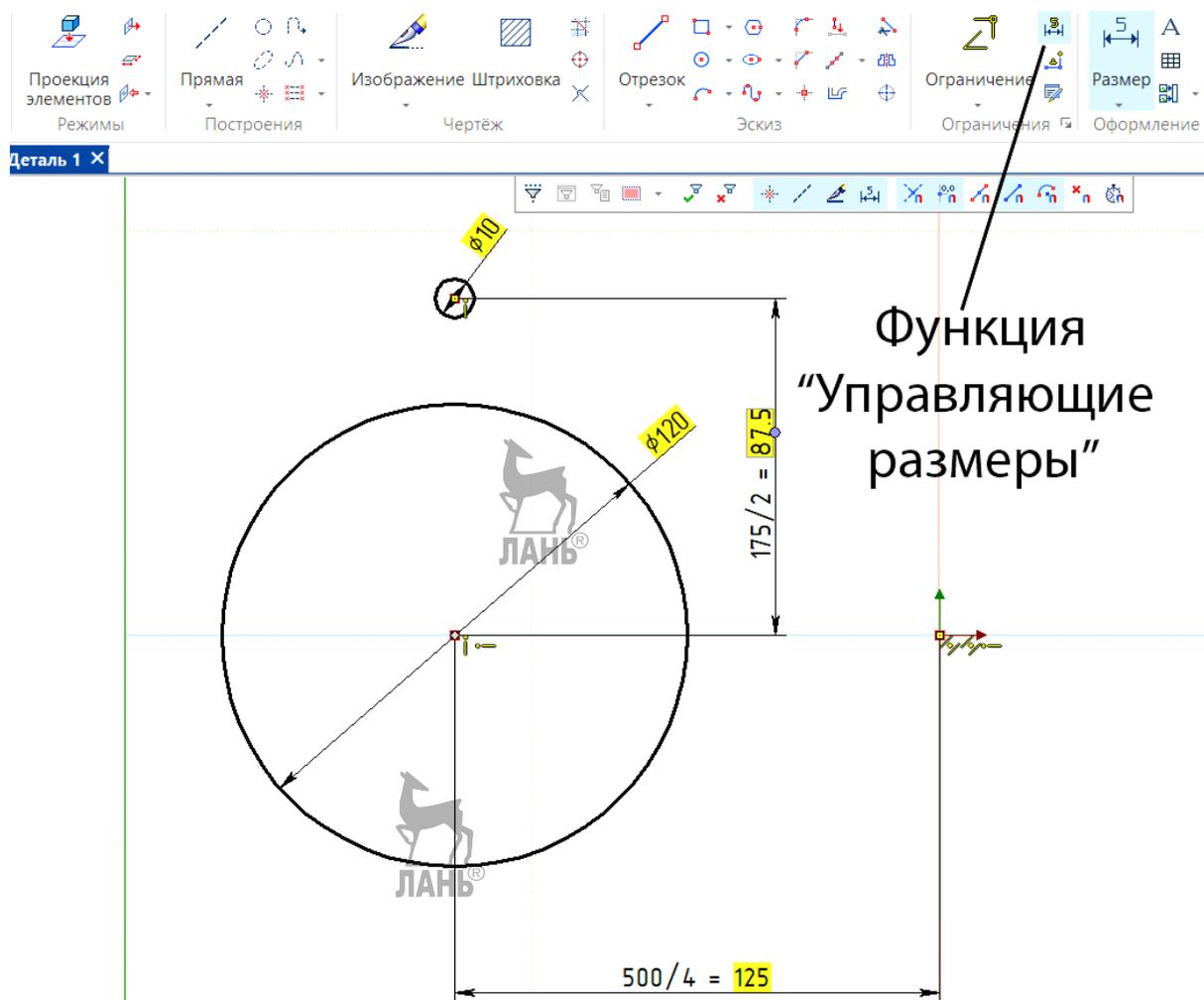


Рис. 4.9. Установка ограничений на эскизе передней пластины

Равномерное копирование малой окружности вокруг большой обеспечим функцией «Круговой массив», расположенной в разделе «Дополнительно». После активации данной функции выбираем малую окружность и нажимаем зеленую галочку во всплывающем окне, появятся фантомы предполагаемых копий. В левом окне «Параметры» необходимо выбрать способ задания «Количество и угол» и указать количество – 6, угол –  $360^\circ$ . Далее необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши на центр большой окружности. Массив построен.

К завершению эскиза выполним зеркальное отражение построенных окружностей относительно вертикальной оси симметрии. Для этого построим по центру квадрата вспомогательную линию, выбрав функцию «Отрезок» и поставив галочку перед надписью «Вспомога-

тельная линия». В разделе «Эскиз» выбираем функцию «Симметрия линий», выделяем все окружности и указываем вспомогательную линию. Эскиз передней пластины готов. Выполнив операцию выталкивания, получим готовую модель передней пластины (рис. 4.10).

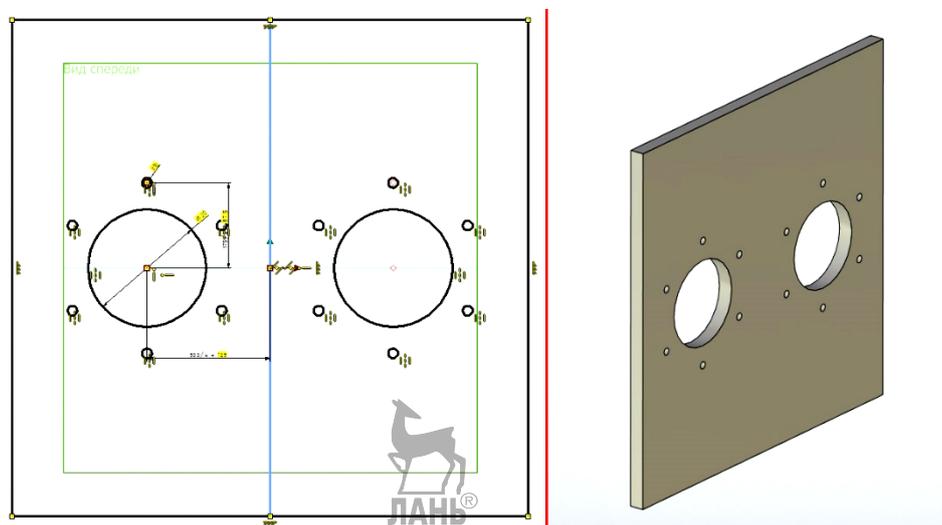


Рис. 4.10. Эскиз и 3D-модель передней пластины

**Моделирование корпуса шток-рейки корпуса ОПУ.** Разделим деталь на две части. Первая (нижняя) часть представляет собой цилиндр диаметром 210 мм и высотой 10 мм, в котором по центру имеется одно сквозное отверстие диаметром 120 мм и шесть сквозных отверстий диаметром 10 мм по периметру. Вторая часть представляет собой цилиндр диаметром 140 мм, высотой 740 мм с отверстиями 120 и 25 мм (рис. 4.11).

Моделирование корпуса шток-рейки лучше всего осуществлять с помощью операции вращения (рис. 4.12). Построим первым способом эскиз, отвечающий требованиям операции вращения для данной детали. Для этого выберем рабочую плоскость «Вид спереди», войдем в режим черчения и обозначим согласно размерам на чертеже прямыми из раздела «Построение» границы эскиза и обведем контур эскиза линией изображения (рис. 4.12, а).

В качестве оси вращения используем два 3D-узла. Выполним операцию вращения, указав построенный профиль в качестве контура и два 3D-узла в качестве первой и второй точки оси соответственно. В параметрах операции вращения установим галочку опции «Тонкостенный элемент», задав тип тонкостенного элемента «Наружу», толщиной 10 мм (рис. 4.12, б). После ввода нужных параметров

нажимаем на зеленую галочку «Закончить ввод» и получаем 3D-модель заготовки корпуса шток-рейки (рис. 4.12, в).

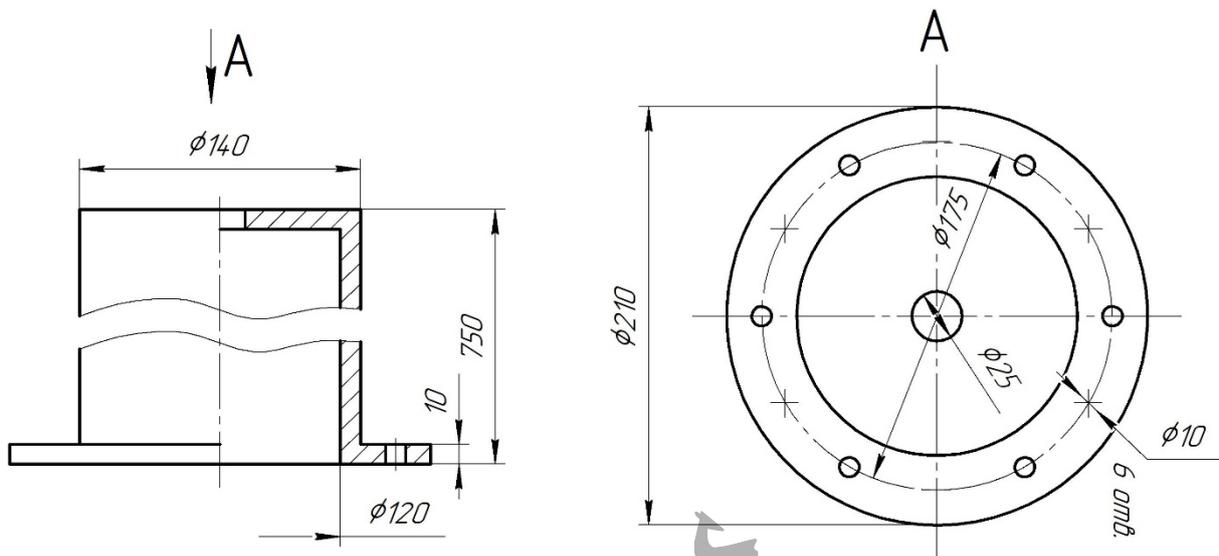


Рис. 4.11. Чертеж корпуса шток-рейки корпуса ОПУ

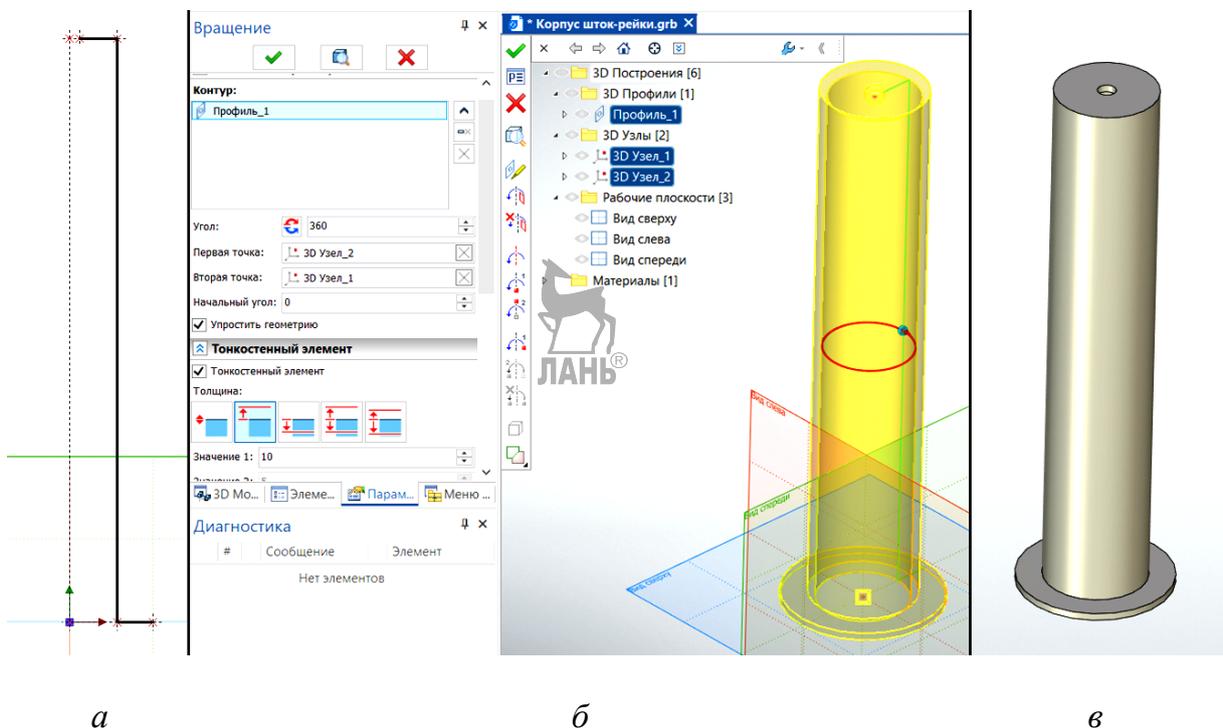


Рис. 4.12. Построение 3D-модели корпуса шток-рейки операцией вращения:  
 а – эскиз корпуса-шток рейки; б – параметры операции вращения;  
 в – 3D-модель заготовки корпуса шток-рейки

Доработаем модель, вырезав отверстия по периметру в основании детали. Для этого выберем грань верхнего основания цилиндра нижней части и создадим на ней эскиз шести окружностей диаметром 10 мм согласно чертежу, как это было показано выше, при моделировании передней пластины (рис. 4.13). Вырезав вычитанием отверстия с помощью операции выталкивания, получим готовую 3D-модель корпуса опорно-поворотного устройства (рис. 4.14).

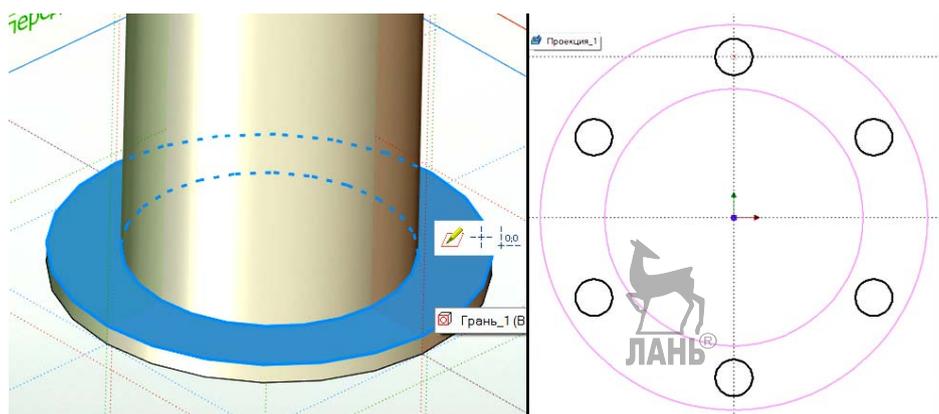


Рис. 4.13. Создание эскиза отверстий в основании корпуса шток-рейки



Рис. 4.14. Трехмерная модель корпуса шток-рейки

**Моделирование поршня шток-рейки.** Поршень можно условно разделить на пять цилиндров (рис. 4.15): первый (самый нижний) цилиндр диаметром 120 мм и высотой 40 мм имеет в центре цилиндрическое отверстие диаметром 50 мм и высотой 15 мм от нижнего основания; второй цилиндр имеет диаметр 110 мм и высоту 5 мм; третий цилиндр имеет диаметр 120 мм и высоту 55 мм; четвертый цилиндр диаметром 110 мм и высотой 10 мм; и последний, пятый цилиндр диаметром 120 мм имеет высоту 20 мм.

Построение данной детали можно выполнить как операцией выталкивания, так и операцией вращения. Для моделирования с помощью операции выталкивания необходимо последовательное построение пяти цилиндров, выбирая опорное основание предыдущего цилиндра для построения эскиза последующего. С точки зрения построения эскизов модели, этот путь является наиболее простым, поскольку требует лишь построения окружностей на каждом уровне детали, центры которых находятся на одной вертикальной оси. В то же время для построения поршня с помощью операции вращения требуется создать всего лишь один эскиз, но более сложной формы, чем окружность. Последний вариант будет наиболее технологичным и не таким громоздким, как первый, поскольку для создания модели потребуется всего лишь один 3D-профиль вместо пяти.

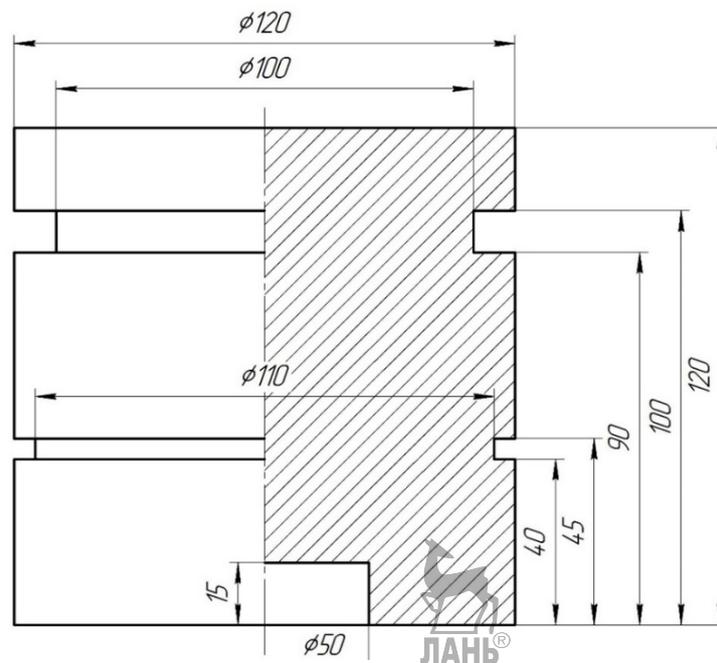


Рис. 4.15. Чертеж поршня шток-рейки корпуса ОПУ

Построим эскиз для моделирования поршня операцией вращения аналогично, как и для корпуса шток-рейки. Выполним операцию вращения и получим готовую модель поршня (рис. 4.16).

**Моделирование шток-рейки корпуса ОПУ.** Шток-рейка представляет собой полуцилиндр (основание) радиусом 55 мм, длиной 1000 мм, на прямой продольной грани которого расположены 32 трапециевидных зуба с шагом 30 мм. По бокам шток-рейки имеются посадочные места под поршни в виде цилиндров радиусом 25 мм и высотой 15 мм (рис. 4.17).

Моделирование шток-рейки лучше всего начать с полуцилиндрического основания. Эскизы будем строить первым способом (рис. 4.18). Для правильной ориентации будущей модели шток-рейки выберем рабочую плоскость «Вид слева» и войдем в режим черчения с построением прямых с узлом в начале координат. Из начала координат построим окружность радиусом 55 мм и обведем линией изображения нижнюю полуокружность, замкнув контур по горизонтальной оси (рис. 4.18, а). Выполнив операцию выталкивания над построенным 3D-профилем, получим трехмерную модель основания шток-рейки (рис. 4.18, б).

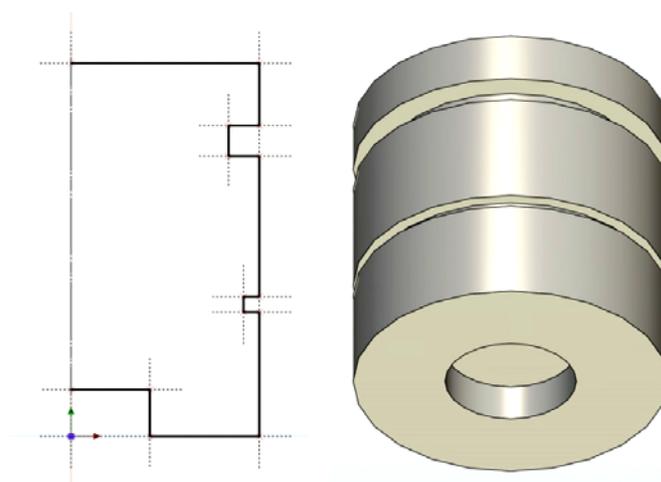


Рис. 4.16. Моделирование поршня корпуса ОПУ

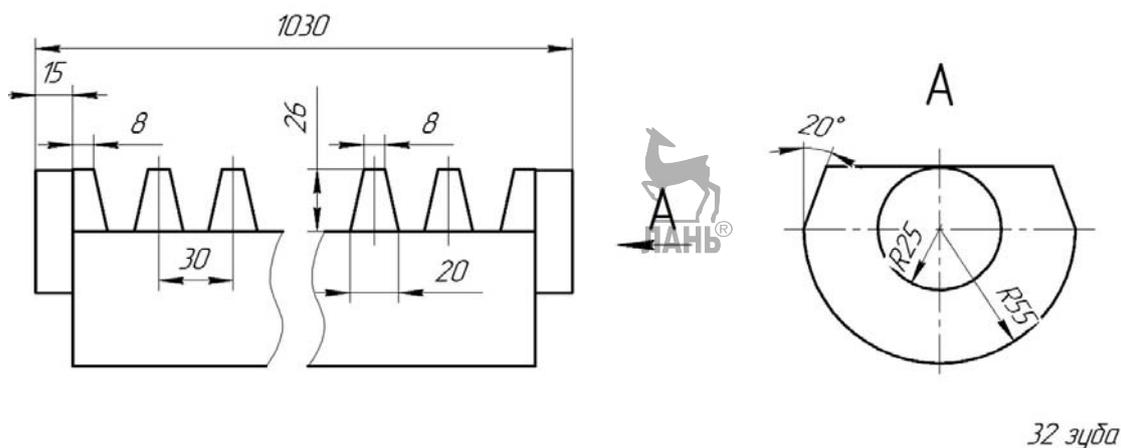


Рис. 4.17. Чертеж шток-рейки корпуса ОПУ

На основании построим зубья шток-рейки (рис. 4.19). Для этого войдем в режим черчения с построением прямых с узлом в начале

координат, выбрав рабочую плоскость «Вид спереди». Построим по размерам контуры крайних зубьев, используя симметрию (рис. 4.19, *а*). Выполним операцию выталкивания на 110 мм, установив режим «Симметрично по общей длине» (рис. 4.19, *б*).

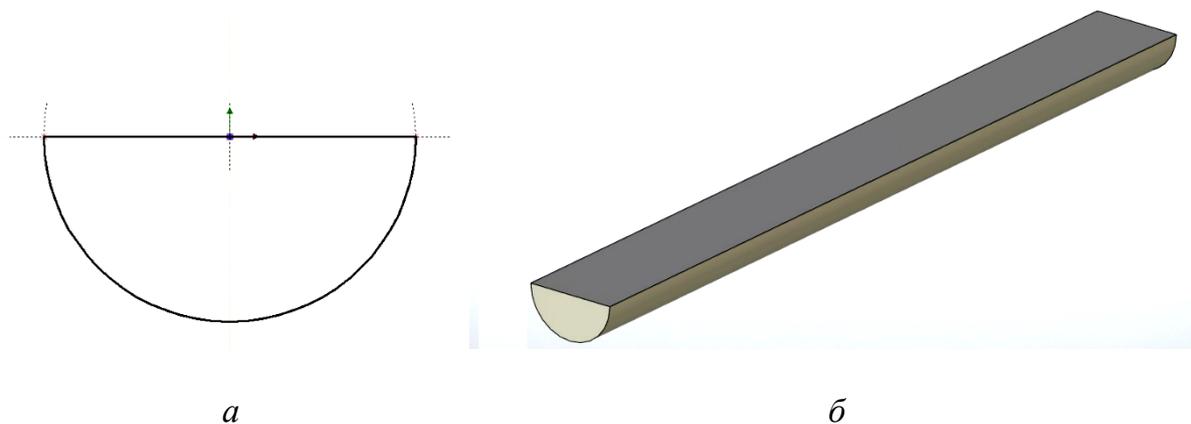


Рис. 4.18. Моделирование основания шток-рейки:  
*а* – эскиз основания; *б* – трехмерная модель основания

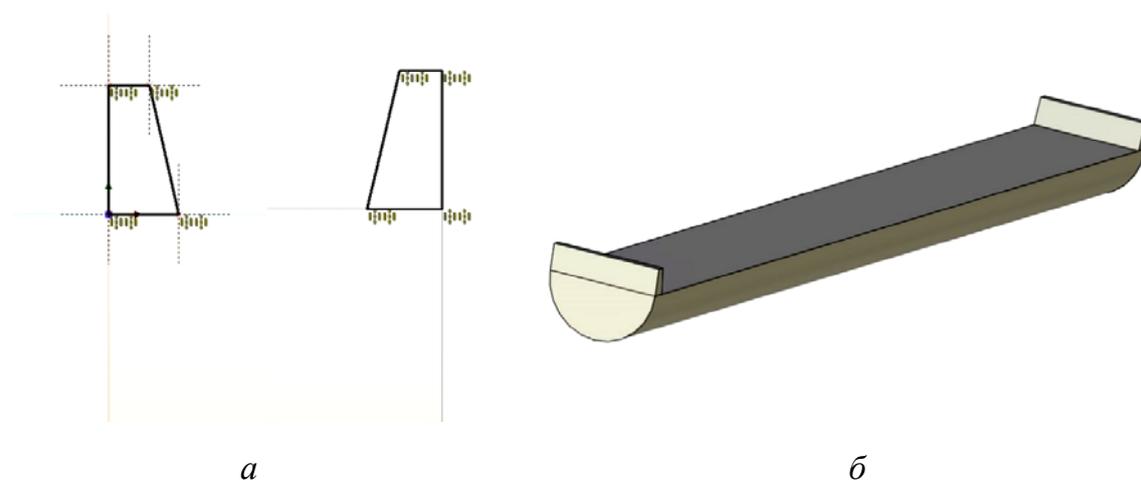


Рис. 4.19. Моделирование крайних зубьев шток-рейки:  
*а* – эскиз крайних зубьев; *б* – трехмерная модель крайних зубьев и основания

Моделирование остальных зубьев выполним массивом (рис. 4.20). Для этого построим на боковой грани крайнего зуба эскиз полноразмерного зуба таким образом, чтоб расстояние между осями составляло 30 мм (рис. 4.20, *а*). Построим модель зуба, выполнив операцию выталкивания (рис. 4.20, *б*).

Далее выберем функцию «Линейный массив» в разделе «Операции» и в основных параметрах установим режим «Массив операций».

В качестве объекта выберем последнюю операцию выталкивания, с помощью которой был смоделирован полноразмерный зуб шток-рейки. Во вкладке «Первое направление» зададим в качестве направляющей массива ребро полуцилиндра.

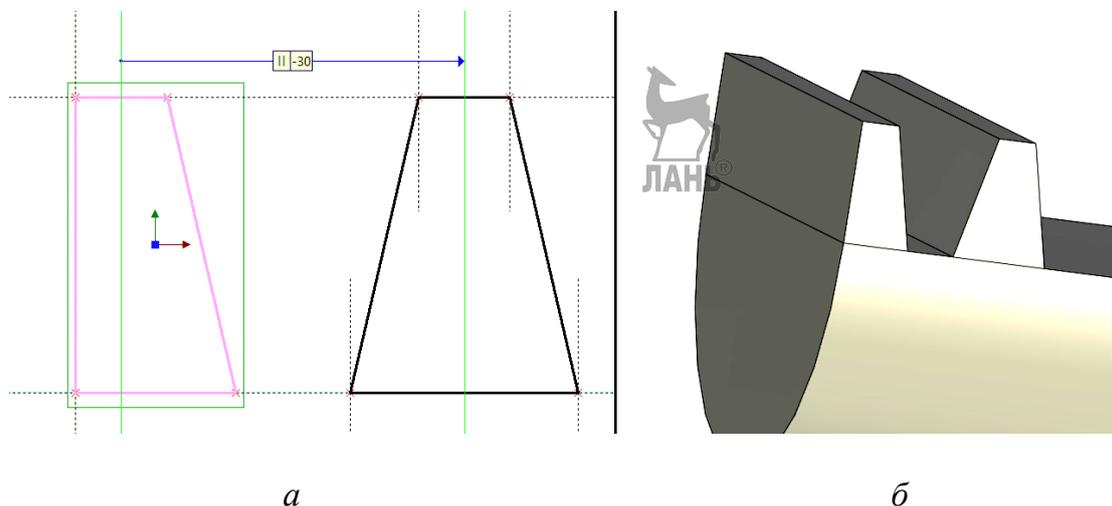


Рис. 4.20. Моделирование полноразмерного зуба шток-рейки:  
*а* – эскиз зуба; *б* – трехмерная модель зубьев

В этой же вкладке установим следующие параметры: копий – 32, шаг – 30. При необходимости можно поменять направление копирования, нажав кнопку «Развернуть» напротив параметра «Копии». После настройки параметров необходимо нажать галочку «Закончить ввод». Объединяем все элементы сложением, с помощью булевой операции. Массив зубьев построен (рис. 4.21).

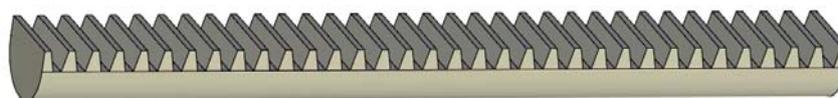


Рис. 4.21. Трехмерная модель шток-рейки с массивом зубьев

Построим фаски под углом  $20^\circ$  (рис. 4.22). Для этого создадим эскиз контуров на левом или правом торце основания шток-рейки, который вычтем с помощью булевой операции (рис. 4.22, *а*). Выполним операцию выталкивания, выбрав направление «Через все», при этом режим создания булевой операции выставим «Вычитание», получим фаски на всех зубьях детали (рис. 4.22, *б*).

Добавим посадочные места по бокам основания и получим готовую модель шток-рейки (рис. 4.23).

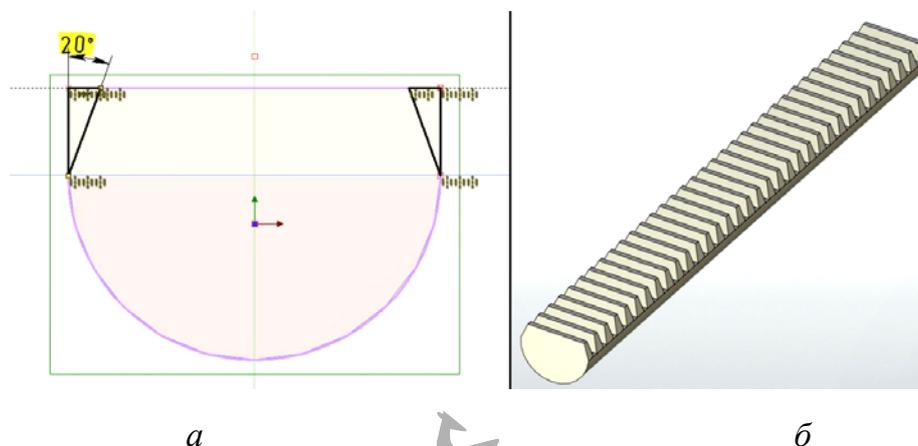


Рис. 4.22. Моделирование фасок зубьев шток-рейки:  
*a* – эскиз вычитаемого материала; *б* – трехмерная модель зубьев с фасками

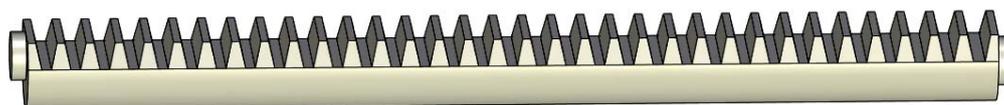


Рис. 4.23. Модель шток-рейки

После создания трехмерных моделей всех деталей опорно-поворотного устройства манипулятора необходимо приступить к выполнению сборочной операции.

### Контрольные вопросы и задания

1. Назовите общую последовательность этапов построения 3D-моделей деталей автомобильного манипулятора.
2. Из каких примитивов состоит верхняя и нижняя пластины корпуса опорно-поворотного устройства?
3. С помощью каких функций строились отверстия на передней пластине корпуса опорно-поворотного устройства?
4. Назовите формообразующие операции, с помощью которых строились детали корпуса опорно-поворотного устройства.
5. Какие функции и операции использовались при построении зубьев шток-рейки корпуса опорно-поворотного устройства?
6. Выполните построение передней пластины, используя чертеж.
7. Выполните построение корпуса шток-рейки, используя чертеж.

## 5. СОЗДАНИЕ ЧЕРТЕЖА НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИ

Рассмотрим создание чертежа на основе трехмерной модели на примере детали «Нижняя пластина» корпуса опорно-поворотного устройства.

В первую очередь необходимо открыть 3D-модель нижней пластины и, для удобства, добавить окно «2D-деталь», где будет формироваться чертеж данной детали, нажав кнопку в левом нижнем углу сцены «Разделить по вертикали» (рис. 5.1).

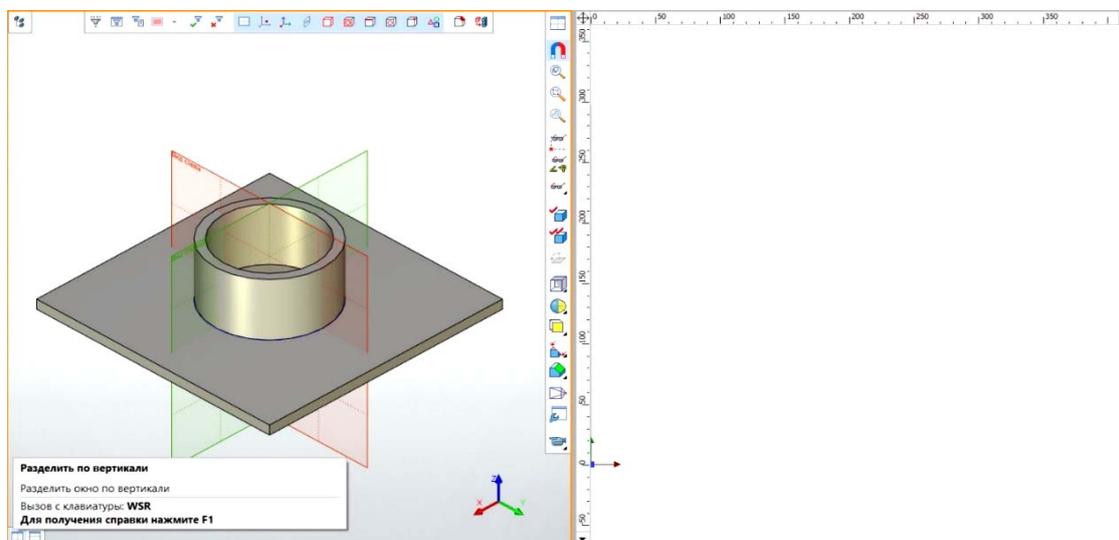


Рис. 5.1. Создание дополнительного окна «2D-деталь»

Настроим формат листа чертежа [1]. Нажав правой кнопкой мыши на пустом поле окна «2D-деталь», выберем строку «Параметры документа» во всплывающем окне. В появившемся окне «Параметры документа» выставим следующие настройки: формат листа – А4, ориентация – вертикальная, масштаб – 1:5, нажимаем «ОК» (рис. 5.2).

Чертеж строится проецированием видов с текущей 3D-модели на лист окна «2D-деталь». Создадим главный вид детали (рис. 5.3). Для этого выберем функцию на ленте панелей «Проекция», в служебном окне справа отобразятся параметры выбранной функции. Нажмем в первой вкладке «Основные параметры» кнопку «Вид спереди», появится окно «Габариты проекции». Для того чтоб не сбить настройки листа чертежа, выставим флажок на против строки «Изменить масштаб проекции» и укажем значение 1:5 (рис. 5.3, а). Щелкаем левой кнопкой мыши на листе, система автоматически формирует вид спереди (главный вид) нижней пластины (рис. 5.3, б).

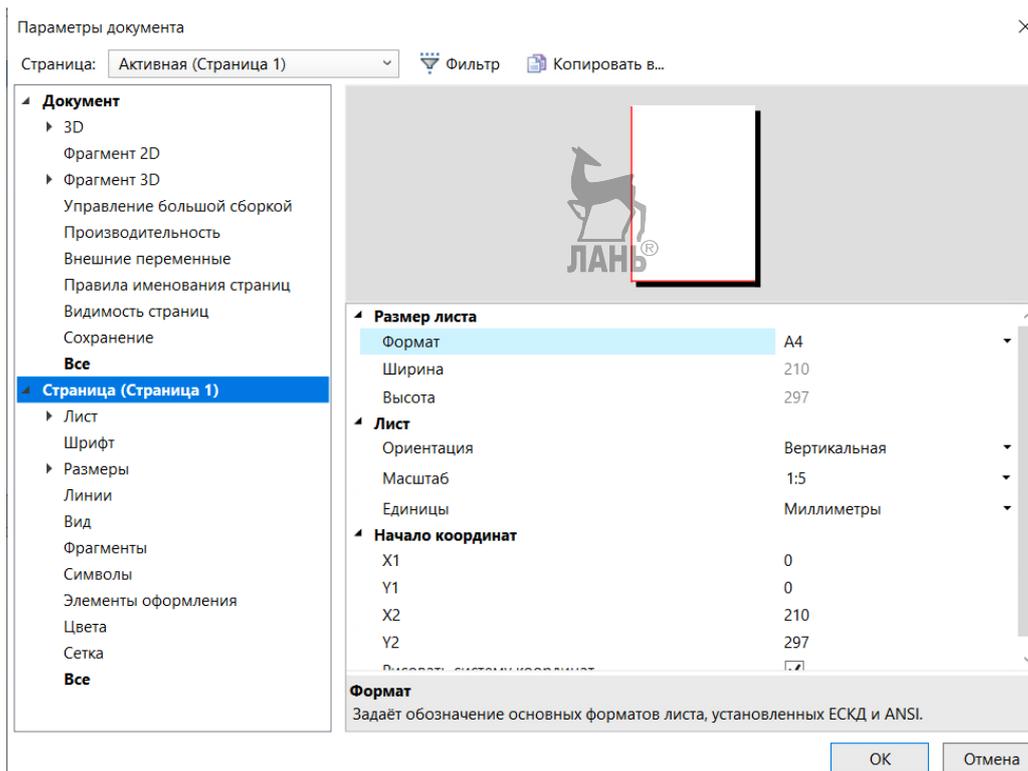
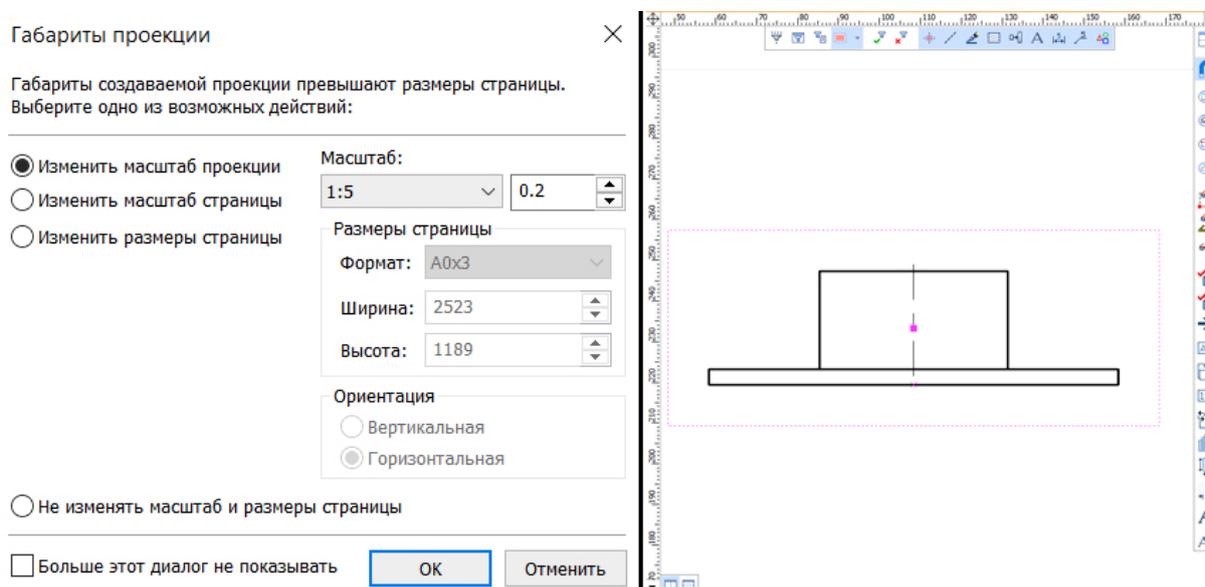


Рис. 5.2. Настройка параметров листа чертежа



*а*

*б*

Рис. 5.3. Настройка масштаба проекции:  
*а* – окно «Габариты проекции»; *б* – главный вид нижней пластины

Для лучшего понимания особенностей формы детали сделаем местный размер на виде спереди. Обозначим на чертеже область для построения местного размера штриховкой, для этого воспользуемся

инструментом «Штриховка» в разделе «Чертеж» и обозначим границы местного размера замкнутым контуром по ключевым точкам (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Построение зоны местного разреза штриховкой

На 3D-модели нижней пластины предварительно создадим 3D-узел в начале координат (0,0,0). Войдем в режим создания проекции и в основных параметрах нажмем кнопку «Местный разрез». На всплывающей вертикальной панели активируем кнопку «Выбрать штриховку для определения формы разреза» и укажем, кликнув левой кнопкой мыши, на ранее созданной штриховке.

Плоскость разреза обозначим ранее созданным 3D-узлом. Для этого сделаем активной кнопку на всплывающей вертикальной панели «Выбрать точку, задающую плоскость разреза» и укажем вышеупомянутый 3D-узел на трехмерной модели нижней пластины. Местный разрез построен. Аналогичным образом создадим вид сверху (рис. 5.5).

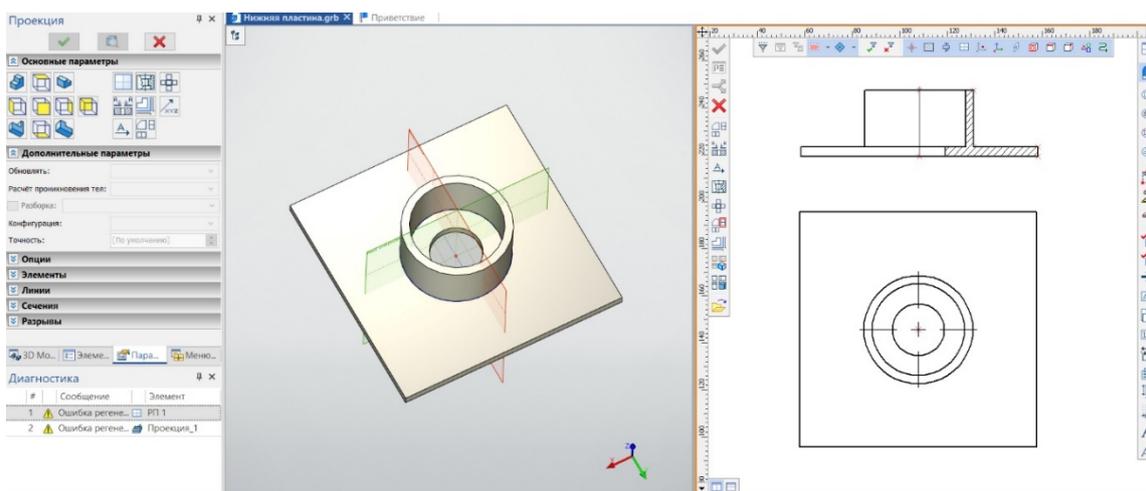


Рис. 5.5. Построение видов на чертеже по 3D-модели

Расставим на чертеже детали нижней пластины необходимые размеры. Для этого воспользуемся разделом «Оформление» на ленте панелей.

В первую очередь расставим линейные размеры, выбрав функцию «Размер» и отметив две точки на чертеже, между которыми необходимо поставить линейный размер. Для установки знака диаметра перед размером найдем в служебном окне слева вкладку «Стиль» и напротив строки «Знак» установим знак диаметра.

После размещения всех необходимых размеров добавим основную надпись на чертеже. Для этого перейдем во вкладку «Оформление» на ленте панелей и в разделе «Основная надпись» нажмем кнопку «Создать». Выберем необходимый стандарт из списка и нажмем кнопку «ОК». Заполнив основную надпись, получаем готовый чертеж (рис. 5.6).

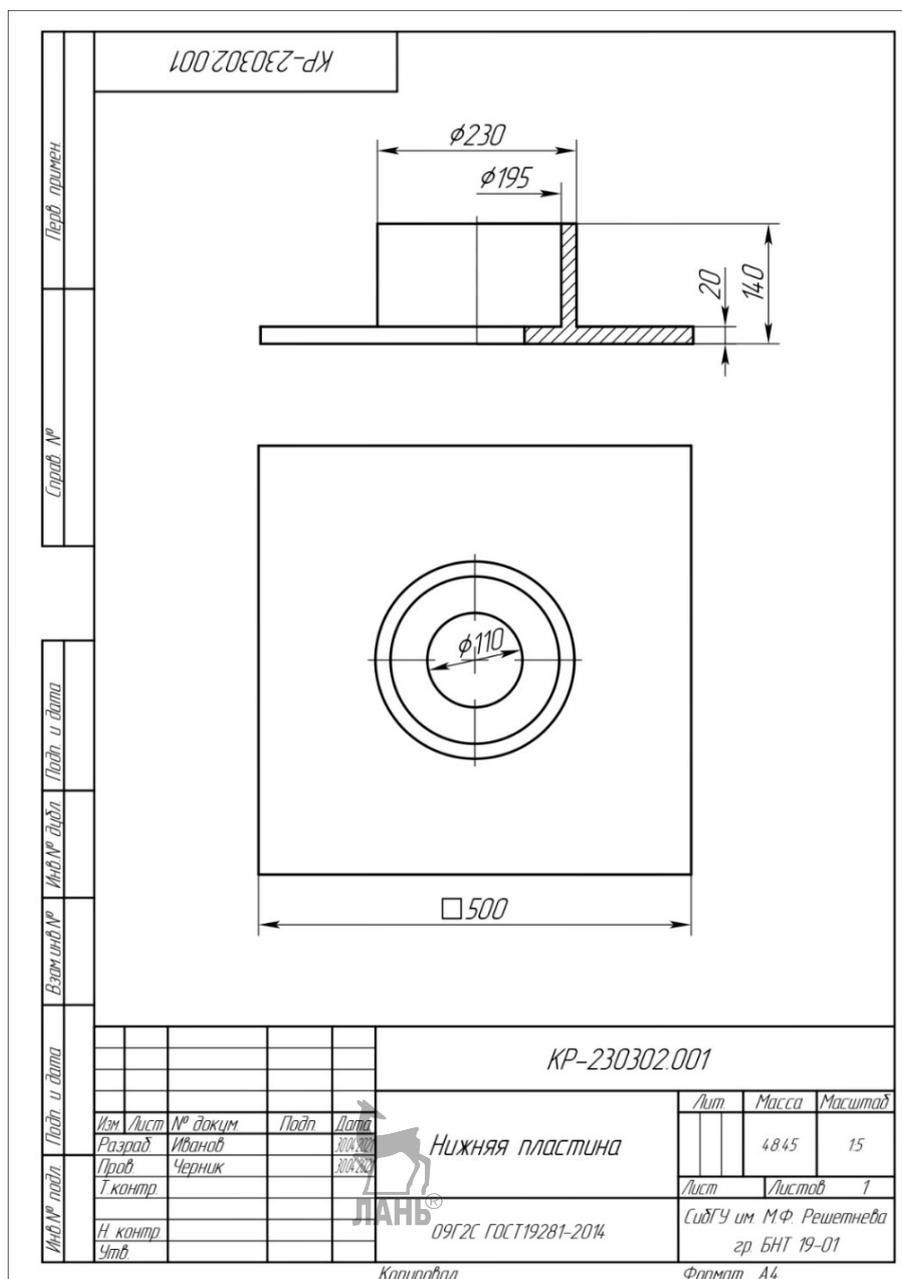


Рис. 5.6. Чертеж нижней пластины

---

Знание стандартов и понимание процесса формирования 2D-проекции по 3D-модели позволяют достаточно быстро создать чертеж детали.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите последовательность подготовки листа чертежа для размещения на нем 3D-модели.
2. Каким образом создается дополнительное окно «2D-деталь»?
3. Каким образом выполняется местный разрез на чертеже с помощью трехмерной модели?
4. Постройте модель нижней пластины на основе чертежа.
5. Создайте чертеж нижней пластины на основе трехмерной модели.



## 6. ПОСТРОЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ АВТОМОБИЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Создадим 3D-сборку корпуса опорно-поворотного устройства (рис. 6.1). Откроем новый файл «3D-сборка». На экране появится система из трех плоскостей. Вставим в сборку деталь «Нижняя пластина», которая будет являться основой для остальных деталей сборки.

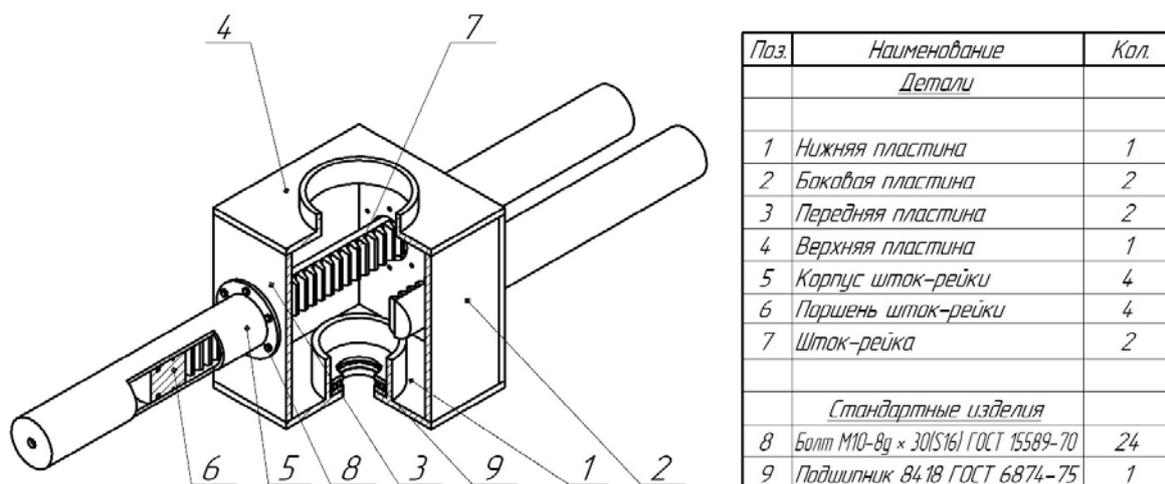


Рис. 6.1. Чертеж корпуса опорно-поворотного устройства

Для этого воспользуемся операцией «3D-фрагмент» на ленте панелей в разделе «Сборка». В служебном окне откроем вкладку «Выбрать файл» и найдем в проводнике файл нижней пластины. На экране появится нижняя пластина с манипуляторами, позволяющими при необходимости изменить ее положение в системе координат. Завершим вставку нажатием зеленой галочки. Зафиксируем положение нижней пластины в системе координат. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем при создании сопряжений основная деталь не двигалась. Перед этим необходимо создать локальную систему координат (ЛСК), нажав на кнопку «ЛСК» на ленте панелей в разделе «Построения» и указав точку расположения локальной системы координат. Для фиксации детали вернемся в дерево построений, щелкнув правой кнопкой мыши по строке «3D-фрагмент 1», выберем в открывшемся окне строку «Зафиксировать положение» (рис. 6.2).

Аналогичным образом вставим следующую деталь – переднюю пластину. С помощью манипулятора передвинем деталь, придав ей положение, приближенное к нужному, и нажмем зеленую галочку («Закончить ввод»).

Добавим операцию «Сопряжение», нажав на кнопку «Создать» в разделе «Сопряжения» на ленте панелей. В параметрах сопряжения выставим «Совпадение» и на всплывающей панели активируем кнопку «Выбор плоскости» или нажмем на клавиатуре на клавишу «L». Далее укажем те грани сопрягаемых деталей, которые должны расположиться на одной плоскости, и закончим ввод. Будем повторять данный алгоритм до тех пор, пока передняя пластина не займет свое место в сборке (рис. 6.3).

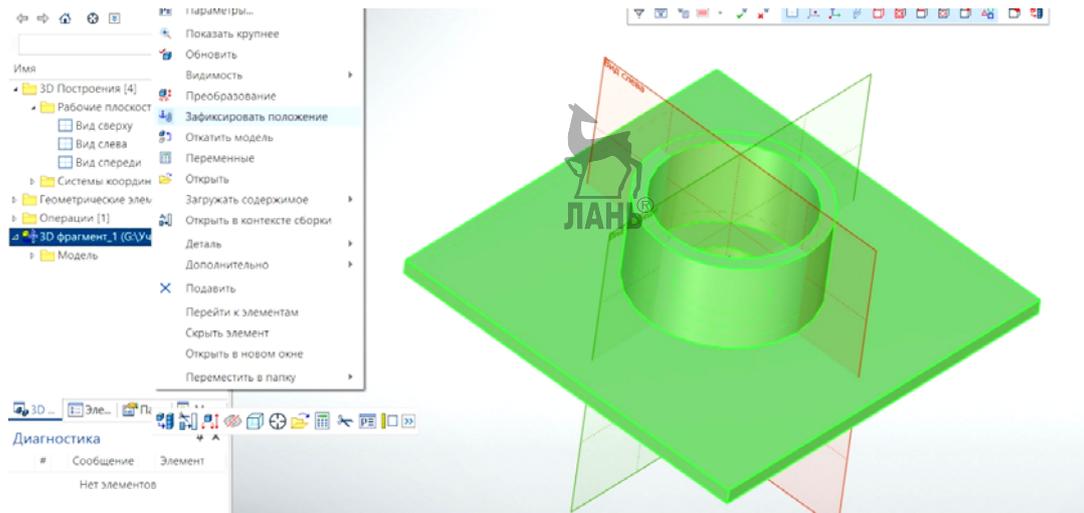


Рис. 6.2. Фиксация положения нижней пластины

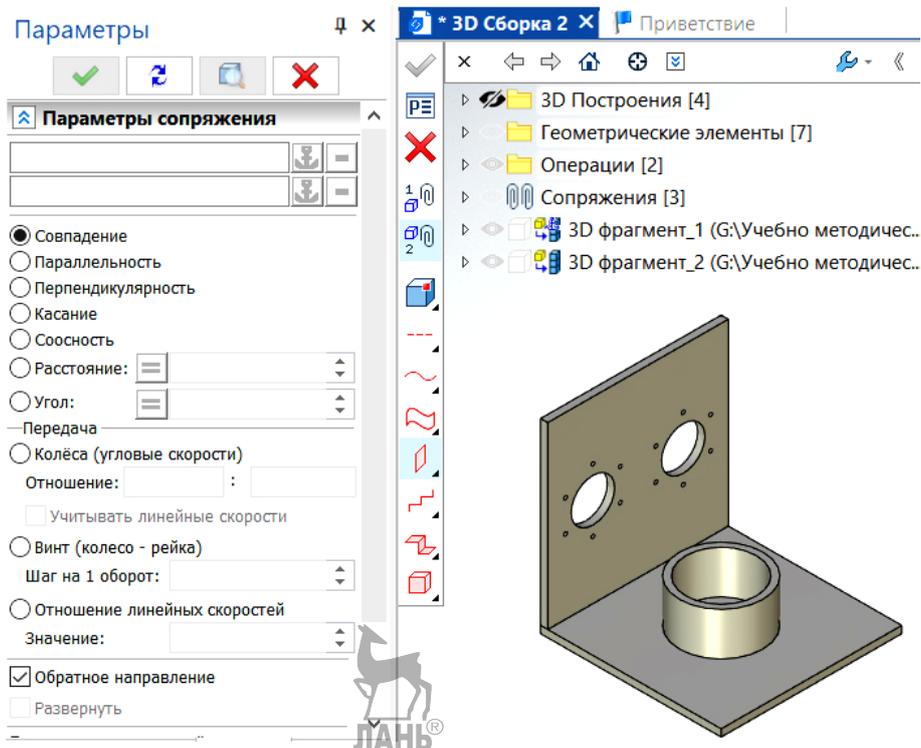


Рис. 6.3. Сопряжение нижней и передней пластин

Для установки второй передней пластины в сборке воспользуемся линейным массивом. На ленте панелей в разделе «Сборка» выберем функцию «Линейный массив» и укажем в качестве объекта массива переднюю пластину, нажав на нее левой кнопкой мыши. В основных параметрах схему размещения укажем стандартную, количество копий – 2, шаг – 480. В качестве направляющей укажем ребро нижней пластины, появится фантом копии передней пластины (рис. 6.4), завершаем ввод.

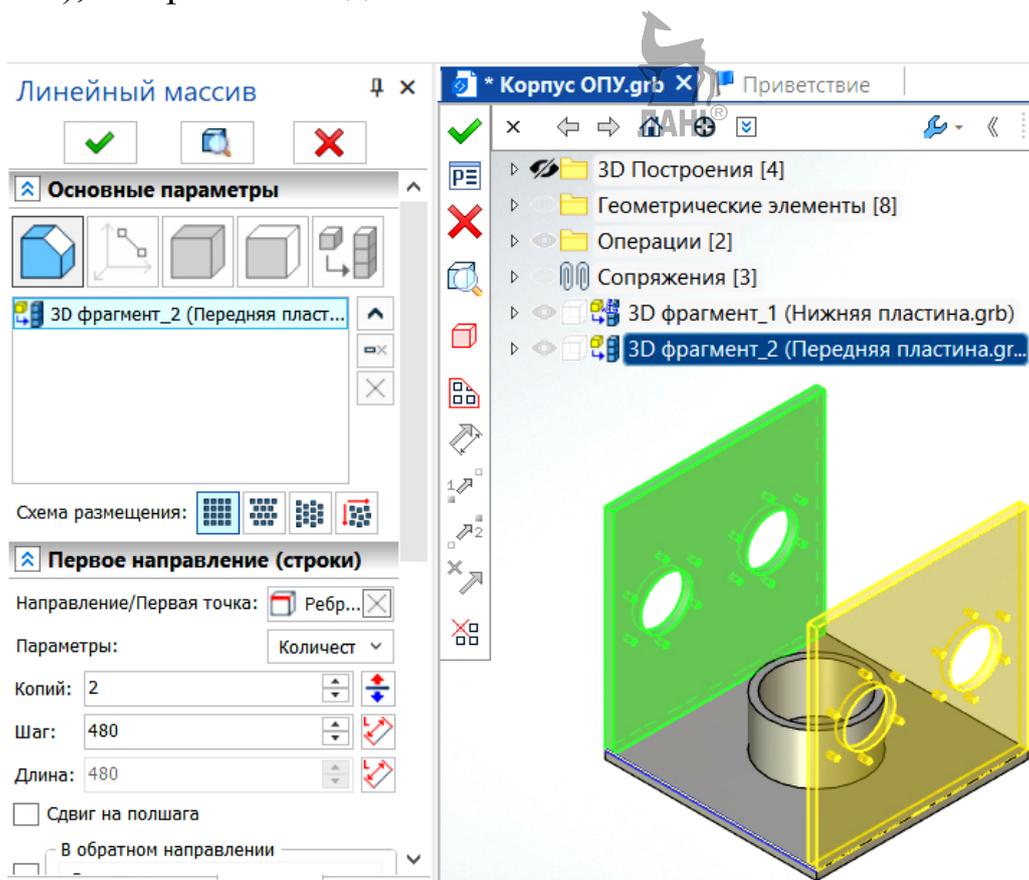


Рис. 6.4. Линейный массив передней пластины

Аналогичным образом устанавливаем боковые пластины между передними пластинами согласно чертежу (рис. 6.5).

Далее разместим в больших отверстиях передней пластины две шток-рейки. Вставим в сборку деталь «Шток-рейка», расположив ее в удобную для сопряжения позицию с помощью манипулятора.

Создадим сопряжение «Соосность», укажем любую круглую грань шток-рейки, у передней пластины укажем внутреннюю грань большого отверстия (рис. 6.6). Закончим ввод.

Согласно чертежу, зубья шток-рейки должны смотреть внутрь корпуса ОПУ и грани вершин зубьев располагаться параллельно бо-

ковым пластинам. Чтобы этого добиться, воспользуемся сопряжением «Параллельность» и установим зубья соответствующим образом. Аналогично разместим вторую шток-рейку (рис. 6.7).

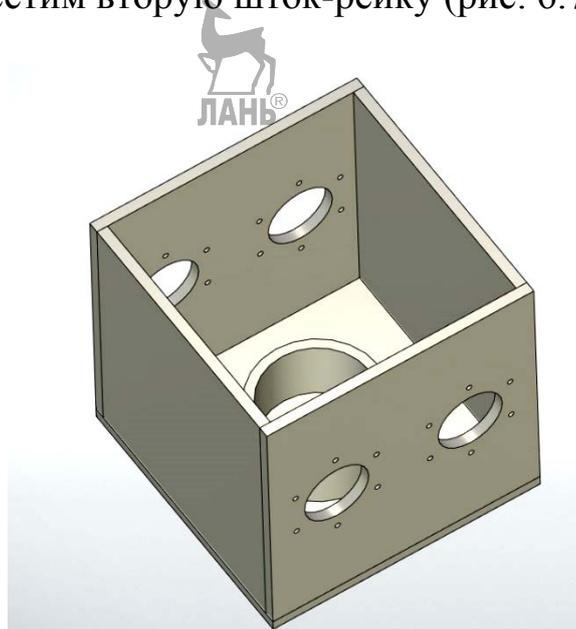


Рис. 6.5. Установка боковых пластин

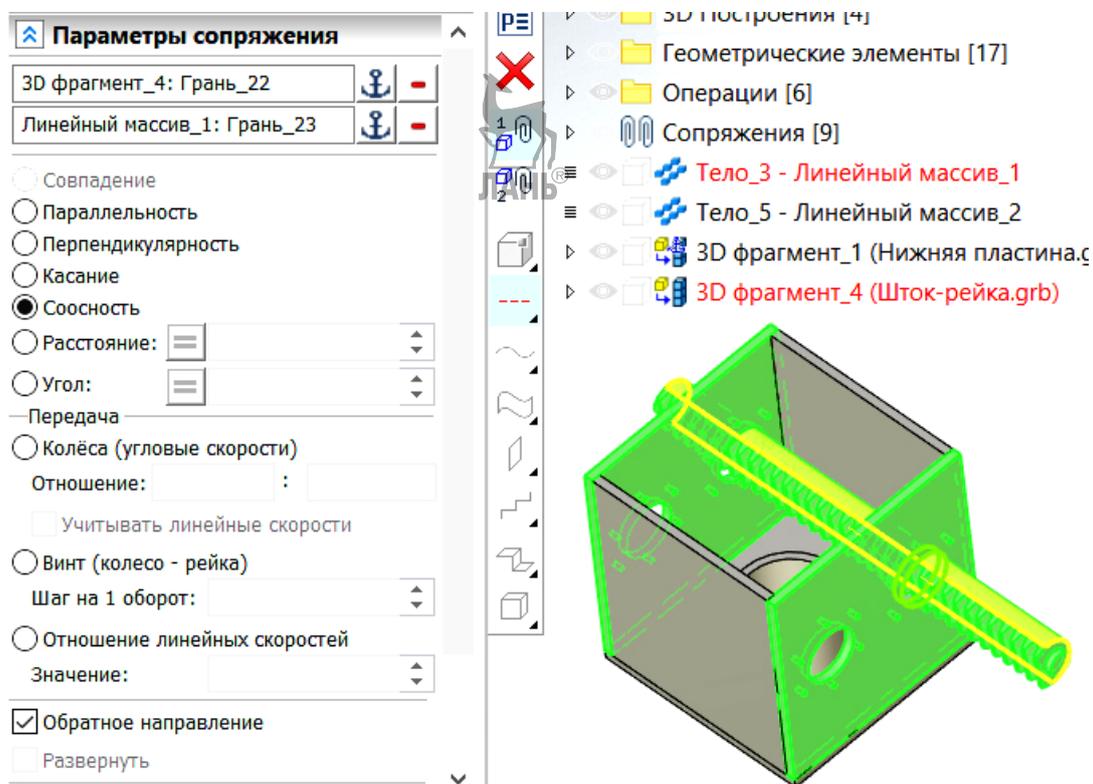


Рис. 6.6. Установка шток-рейки с помощью соосности

На каждую шток-рейку необходимо установить поршень. Для этого добавляем четыре детали «Поршень шток-рейки» и устанавливаем на посадочные места шток-реек с помощью сопряжений «Соосность» и «Совпадение» (рис. 6.8).

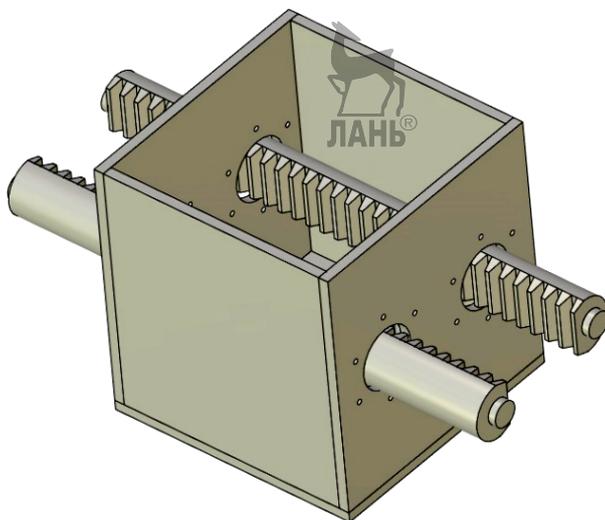


Рис. 6.7. Установка шток-реек

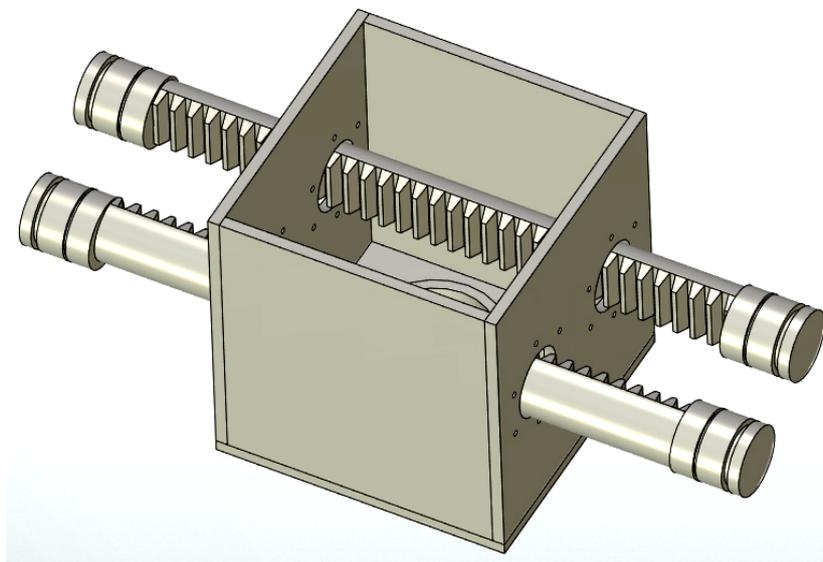


Рис. 6.8. Установка поршней шток-реек

Установку корпусов шток-реек выполним с помощью сопряжений «Соосность» и «Совпадение», указав соответствующие грани деталей, опираясь на чертеж корпуса ОПУ, при этом не забываем о соосности отверстий под крепеж (рис. 6.9).

Прежде чем закрыть корпус ОПУ крышкой, установим упорный подшипник. Для этого наводим курсором мыши на иконку в левом верхнем углу окна программы, которая расположена рядом со значком T-FLEX CAD, появляется всплывающее меню. Выбираем последовательно строки: «Файл», «Библиотеки», «Библиотеки...». После нажатия левой кнопки мыши на последнюю строку в служебном окне откроется «Меню документов». В строке поиска вводим стандарт подшипника, из полученного списка выбираем подходящий подшипник согласно спецификации корпуса ОПУ (рис. 6.10).

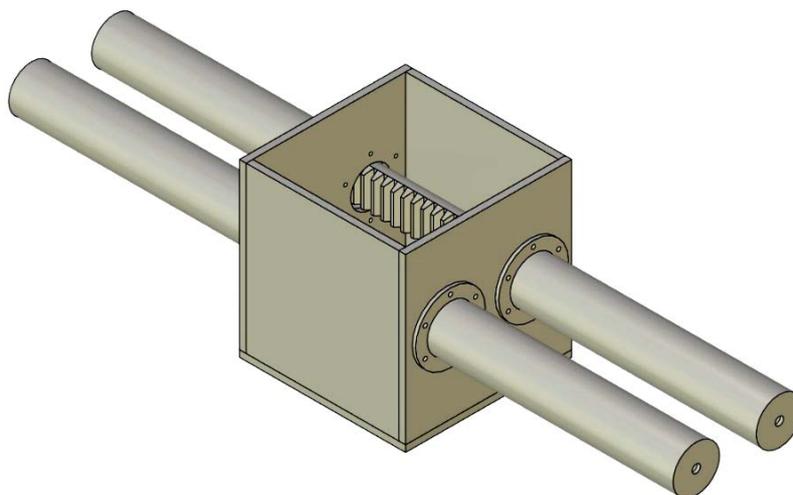


Рис. 6.9. Установка корпусов шток-реек

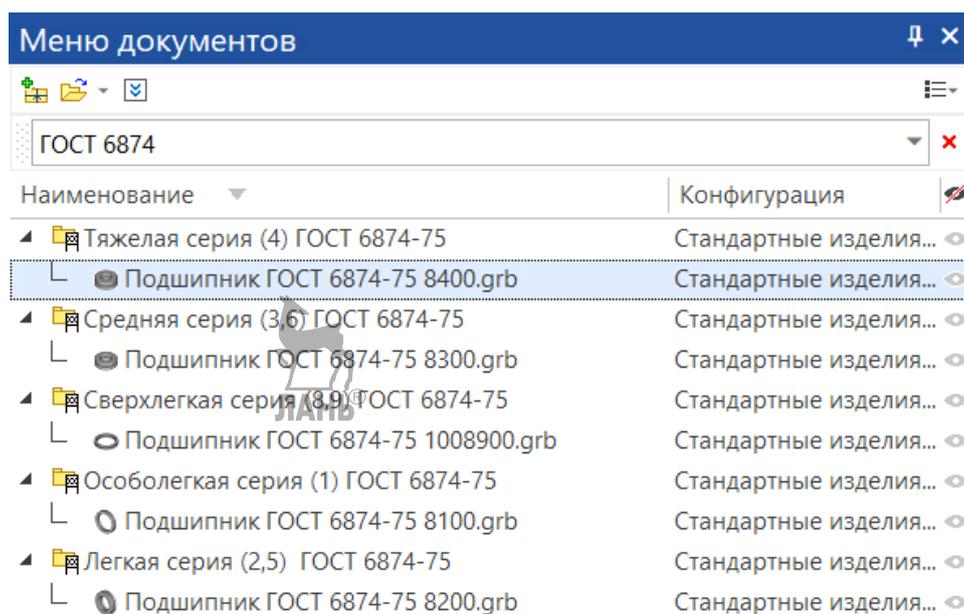


Рис. 6.10. Поиск подшипника в библиотеке стандартных изделий

Удерживая левую кнопку мыши, переносим строку с нужным подшипником на 3D-сцену. Отпустив левую кнопку мыши, располагаем появившийся фантом подшипника в центре нижней пластины. В строке «Диаметр» указываем 90 (рис. 6.11). Нажимаем кнопку «Закончить ввод».

Закрываем корпус верхней пластиной, используя сопряжение «Совпадение» (рис. 6.12).

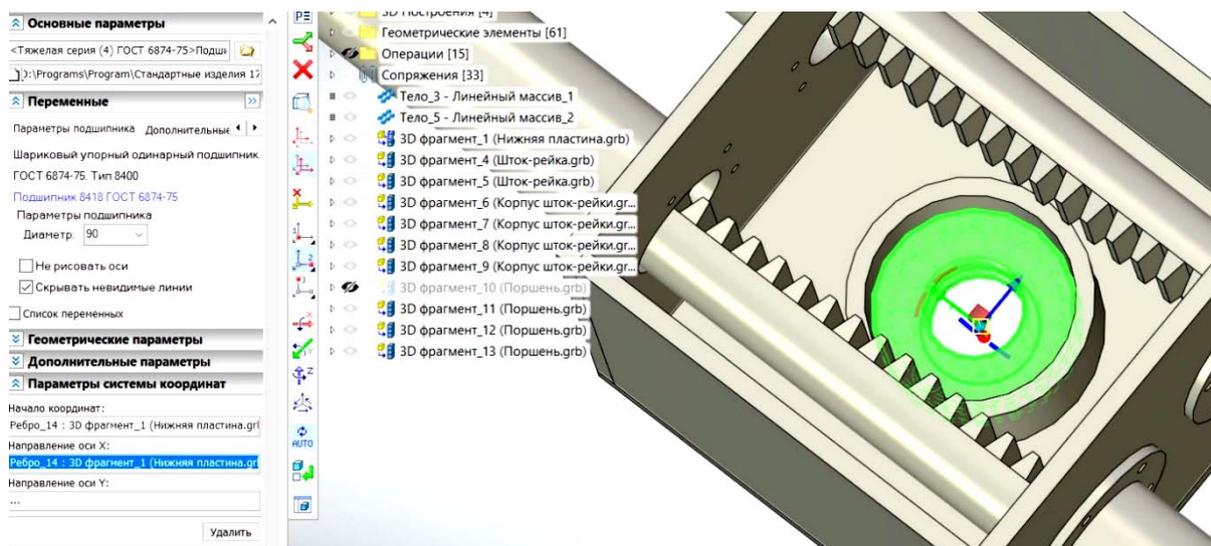


Рис. 6.11. Установка подшипника на нижнюю пластину

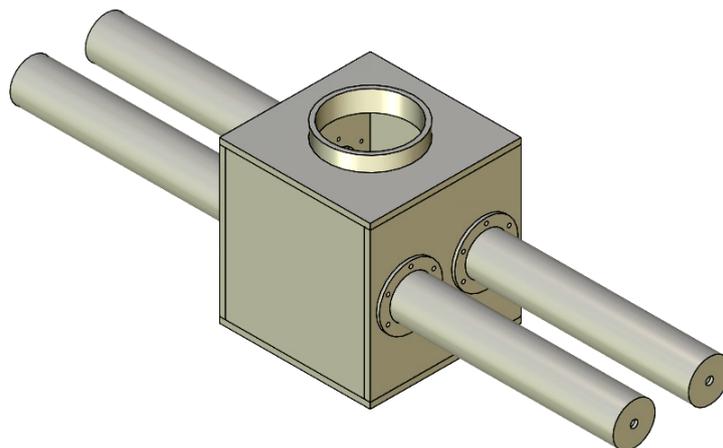


Рис. 6.12. Установка верхней пластины

К завершению сборки осталось разместить болты крепления корпусов шток-реек. Выберем вкладку «Меню документов» в служебном окне и в строке поиска введем стандарт болта. Перенесем найденный болт на сцену, удерживая левую кнопку мыши. Укажем параметры болта согласно спецификации корпуса ОПУ (рис. 6.13).

Разместим болт с помощью сопряжений «Соосность» и «Совпадение» в любом отверстии корпуса шток-рейки.

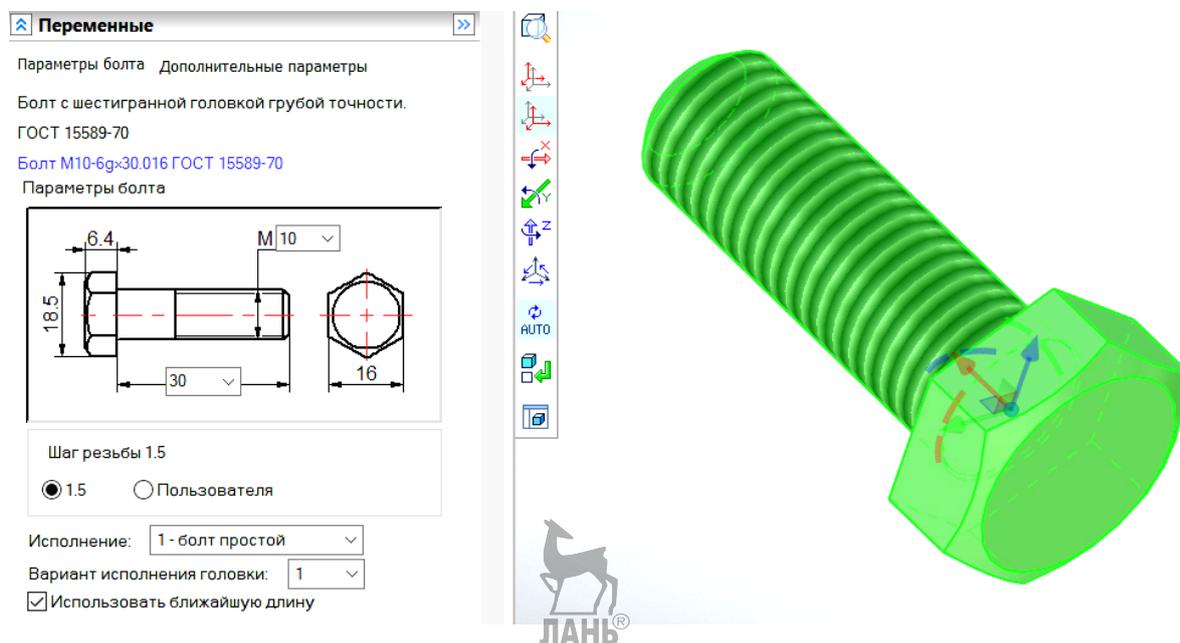


Рис. 6.13. Параметры болта для крепления корпусов шток-реек

Выберем функцию «Круговой массив» в разделе «Сборка» на ленте панелей и укажем в качестве объекта копирования ранее размещенный болт. В качестве оси укажем округлую грань корпуса шток-рейки, количество копий укажем — 6 (рис. 6.14). Завершаем ввод.

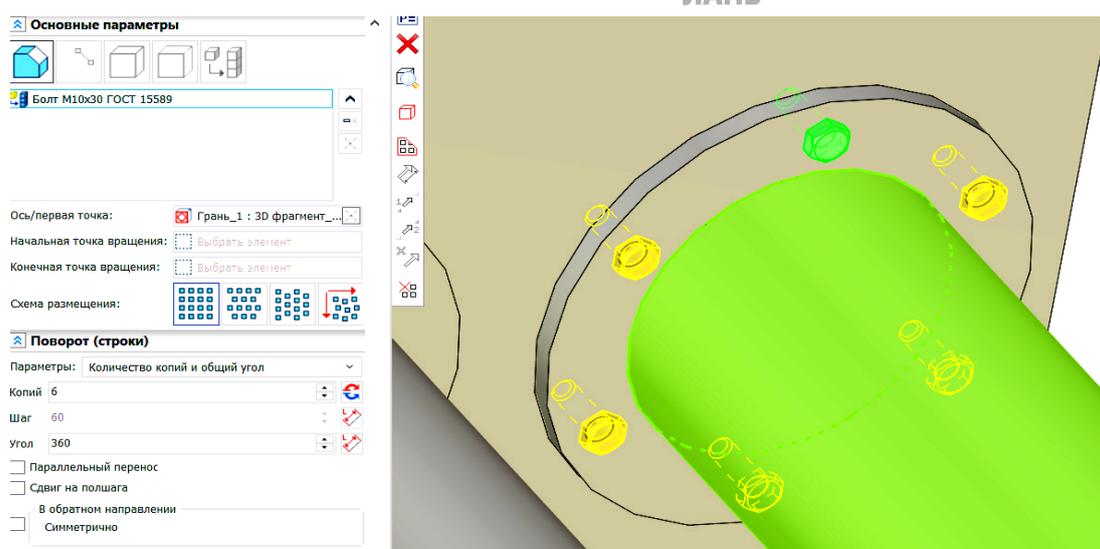


Рис. 6.14. Круговой массив болтов

Чтобы не повторять вышеперечисленные манипуляции со вставкой и массивом болтов, сделаем симметрию на соседний корпус шток-рейки относительно базовой плоскости. В разделе «Сборка» на ленте панелей выберем функцию «Симметрия» и укажем, выбрав в дереве модели, массив болтов. В качестве плоскости симметрии выберем плоскость «Вид слева» (рис. 6.15). Нажимаем зеленую галочку «Закончить ввод».

Для установки болтов на другой стороне корпуса опорно-поворотного устройства выполним симметрию массива болтов с симметрией этого массива относительно вида спереди (рис. 6.16).

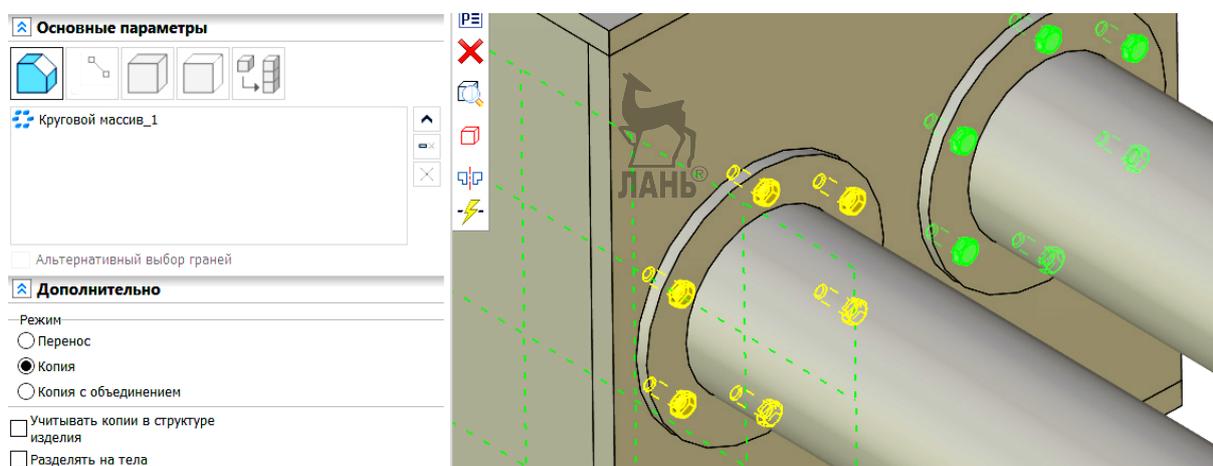


Рис. 6.15. Симметрия массива болтов

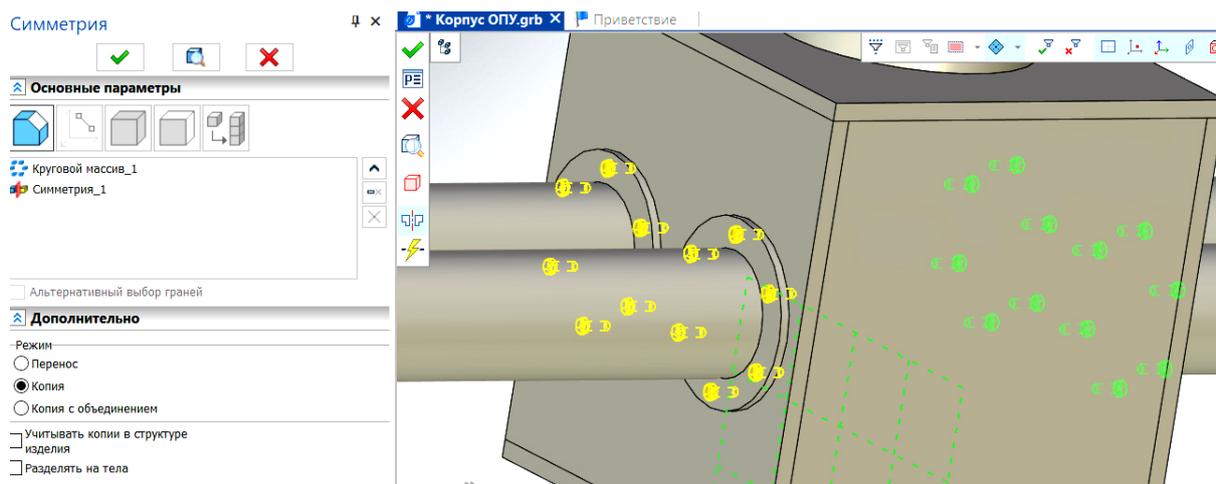


Рис. 6.16. Симметрия массива болтов и его симметрии

Сборка корпуса опорно-поворотного устройства завершена (рис. 6.17).

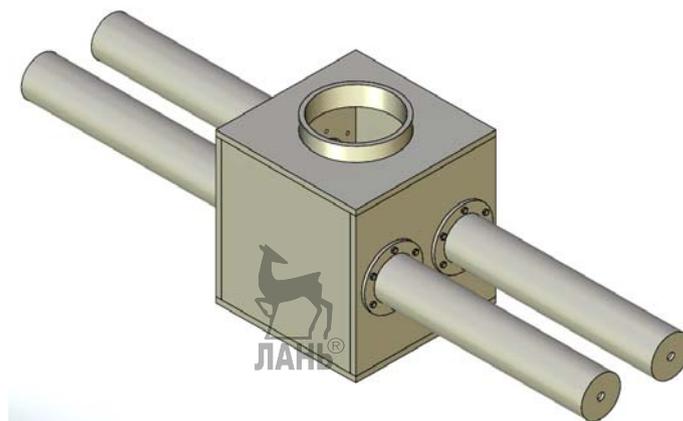


Рис. 6.17. Сборка «Корпус опорно-поворотного устройства»

На основе полученной модели опорно-поворотного устройства манипулятора в T-FLEX CAD можно в короткие сроки разработать конструкторскую документацию данной сборочной единицы. Трёхмерное моделирование позволяет визуализировать модели изделий, что существенно упрощает процесс проектирования и позволяет избежать множества ошибок на стадии разработки.

### Контрольные вопросы и задания

1. Назовите последовательность размещения 3D-фрагмента в сборке.
2. Что такое сопряжения и для чего они нужны?
3. Какие сопряжения использовались при сборке корпуса опорно-поворотного устройства?
4. Опишите последовательность установки стандартных изделий в сборку.
5. Создайте файл сборки и вставьте стандартное изделие «Болт М10-8g × 30 (S16) ГОСТ 15589–70».
6. Добавьте в сборку ранее созданную модель корпуса штокрейки и выполните массив болтов относительно отверстий детали, используя необходимые сопряжения.



---

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

В учебном пособии были рассмотрены принципы работы с двухмерной и трехмерной графикой в системе автоматизированного проектирования T-FLEX CAD на примере моделирования элементов конструкции машин и оборудования. Рассмотрена классификация методов параметрического проектирования. Дан сравнительный анализ методов. Представлены способы создания параметрических изображений деталей машин и оборудования на базе линий построения и обведением их линиями изображения, методом эскизирования с наложением ограничений и управляющих размеров.

Авторы не ставили своей целью написать пособие, которое бы помогло студентам в овладении инструментальным интерфейсом программы, так как учебников и учебных пособий по пользованию системой T-FLEX CAD написано предостаточно, и часть из них приведена в рекомендательном библиографическом списке. Целью являлось знакомство с мощным средством разработки конструкторской документации – параметрическим проектированием – на примере реализации данного метода в программе T-FLEX CAD.

Параметрическое проектирование существенно отличается от обычного черчения. Это проектирование на основе использования параметров модели и различных геометрических соотношений. Практически конструктор программирует изделие, а затем, изменяя значения параметров, с целью избежания ошибок, создает различные конструктивные схемы. Уникальное параметрическое моделирование деталей, сборок и чертежей не требует от пользователя дополнительных знаний в области программирования.



---

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абросимов, С. Н. Основы компьютерной графики САПР изделий машиностроения (МСAD) [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Н. Абросимов. – СПб. : «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, 2014. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/63672>. – Загл. с экрана.

2. Большаков, В. П. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex : учеб. курс / В. П. Большаков, А. Л. Бочков, А. А. Сергеев. – СПб. : Питер, 2011. – 336 с.

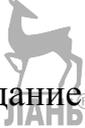
3. Разработка конструкторской документации с использованием T-flex CAD при выполнении заданий по инженерной графике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. М. Коробов, В. С. Мальцев, К. И. Молодцов, В. В. Щербаков. – М. : МИФИ, 2017. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/126677>. – Загл. с экрана.

4. Силич, А. А. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. А. Силич. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/223924>. – Загл. с экрана.

5. T-FLEX CAD 17 [Электронный ресурс] : учеб. пособие онлайн. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.tflexcad.ru/help/tutorial/17/index.htm>. – Загл. с экрана.



---

Учебное издание®  


**Черник Денис Владимирович**  
**Коршун Виктор Николаевич**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
КОНСТРУКЦИЙ МАШИН  
И ОБОРУДОВАНИЯ В T-FLEX CAD**

*Учебное пособие*

Под редакцией доктора технических наук,  
профессора В. Ф. Полетайкина





Редактор *Т. Е. Ильющенко*  
Оригинал-макет и верстка *М. А. Светлаковой*

Подписано в печать 20.07.2022. Формат 60×84/16. Бумага офисная.  
Печать плоская. Усл. печ. л. 5,1. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 100 экз.  
Заказ С 236/22.

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 24.49.04.953.П.000032.01.03 от 29.01.2003 г.

Редакционно-издательский отдел СибГУ им. М. Ф. Решетнева.  
660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский Рабочий», 31.  
E-mail: [rio@mail.sibsau.ru](mailto:rio@mail.sibsau.ru). Тел. (391) 291-90-96.

Отпечатано в редакционно-издательском центре  
СибГУ им. М. Ф. Решетнева.  
660049, г. Красноярск, просп. Мира, 82. Тел. (391) 222-73-28.