

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

**Учебно-методическое пособие для студентов  
заочной формы обучения специальности  
1-36 07 01 «Машины и аппараты химических  
производств и предприятий строительных  
материалов»**

Минск 2004

УДК 621.002.5

ББК 32.965

С 40

Рассмотрено и рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

ассистент кандидат технических наук *А. А. Гарабажиу*,  
доцент кандидат технических наук *В. Н. Павлечко*

Рецензенты:

доцент кафедры информатики и вычислительной техники БГТУ,  
кандидат технических наук *С. И. Акунович*;  
доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования»  
БНТУ, кандидат технических наук *В. Т. Придухо*

**Системы автоматизированного проектирования машин и  
С 40 оборудования:** Учебно-методическое пособие для студентов заочной формы обучения специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / Сост. *А. А. Гарабажиу, В. Н. Павлечко*. – Мн.: БГТУ, 2004. – 72 с.

ISBN 985-434-358-8

В пособии подробно рассмотрены основные приемы работы с одной из наиболее эффективных систем автоматизированного проектирования машин и оборудования – системой КОМПАС-ГРАФИК. Приведенные лабораторные работы позволят студентам закрепить полученные умения и навыки при двухмерном проектировании в КОМПАС-ГРАФИК деталей машин любой степени сложности.

УДК 621.002.5

ББК 32.965

ISBN 985-434-358-8

© Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет», 2004

## ВВЕДЕНИЕ

**Проектирование** технического объекта – это процесс создания описания, необходимого для построения в заданных условиях еще не существующего объекта, на основании его первичного описания. Процесс создания описания нового объекта может выполняться тремя основными способами.

1. Если процесс проектирования осуществляет человек, то проектирование называется *неавтоматизированным* или *ручным*.
2. Если процесс проектирования осуществляется путем взаимодействия человека и ЭВМ, то проектирование называется *автоматизированным*. Автоматизированное проектирование, как правило, осуществляется в режиме диалога человека с электронно-вычислительной машиной на основе применения специальных языков программирования. Системы, реализующие автоматизированное проектирование, принято обозначать сокращенной аббревиатурой САПР. Термин САПР является смысловым эквивалентом английского CAD (Computer Aided Design) и означает проектирование с помощью ЭВМ.
3. Проектирование, при котором все преобразования описания объекта и алгоритм его функционирования осуществляются без участия человека, называется *автоматическим*.

Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для несложных объектов. Преобладающим на сегодняшний день является автоматизированное проектирование, другими словами, САПР.

В настоящее время на мировом рынке ежегодно появляются все более новые и совершенные системы САПР, рассчитанные на различные сферы деятельности человека. Очень показательными, в плане подготовки будущих инженеров-механиков предприятий химической промышленности и промышленности стройматериалов являются конструкторские САПР общего машиностроения, и в частности пакет прикладных программ КОМПАС.

Система КОМПАС включает в себя следующие программы:

- чертежно-конструкторский редактор двухмерного проектирования **КОМПАС-ГРАФИК**, предназначенный для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности (машиностроение, архитектура, строительство т.п.);
- редактор трехмерного твердотельного моделирования **КОМПАС-3D**,

предназначенный для создания трехмерных параметрических моделей отдельных деталей и сборочных узлов любой степени сложности с целью передачи их геометрии в расчетные пакеты и в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, расчета геометрических и массо-центровочных характеристик деталей, взаимного преобразования 2D и 3D моделей;

- программу **КОМПАС-SPRING**, предназначенную для выполнения проектного, проверочного расчетов и последующего автоматического построения цилиндрических винтовых пружин растяжения и сжатия, а также тарельчатых пружин;
- программу **КОМПАС-Shaft Plus**, предназначенную для параметрического проектирования деталей машин типа «тел вращения» – валов, втулок, цилиндрических и конических шестерен, червячных колес и червяков, шкивов ременных передач любой степени сложности. Кроме этого, система может выполнять проектные и проверочные расчеты цилиндрических и конических зубчатых, цепных, червячных, ременных передач, автоматически формировать для них технические требования, таблицы параметров, выносные элементы с профилями зубьев, генерировать по построенному изображению трехмерную твердотельную модель тела вращения;
- программу **КОМПАС-Viewer**, предназначенную для просмотра фрагментов, листов чертежей, текстовых документов, спецификаций и трехмерных моделей (деталей и сборок) системы КОМПАС;
- программу **КОМПАС-МАСТЕР**, предназначенную для разработки приложений (библиотек конструктивных элементов, прикладных библиотек САПР) на базе чертежно-графического редактора КОМПАС-ГРАФИК.

Принимая во внимание большую значимость машиностроительных САПР в подготовке будущих инженеров-механиков, в данной работе подробно рассмотрим классификацию, структуру, основные принципы построения и проектирования в современных САПР, базовые приемы работы с одной из наиболее эффективных систем машиностроительного САПР – системой КОМПАС (в частности, КОМПАС-ГРАФИК). Приведенные здесь же лабораторные работы позволят студентам закрепить полученные

умения и навыки при двухмерном проектировании в системе КОМПАС деталей машин любой степени сложности.

## 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1. Основопологающие принципы построения современных САПР.** Этапы и стадии проектирования. Особенности процесса проектирования в современных САПР. Структура и основные принципы построения современных САПР.

**2. Современное состояние систем САПР.** Понятие инженерного проектирования. Краткий обзор современных машиностроительных САПР. Техника безопасности при работе на ПЭВМ. Пакет прикладных программ КОМПАС.

**3. Структура и функциональное назначение системы КОМПАС-ГРАФИК.** Общие сведения и структура главного окна программы КОМПАС-ГРАФИК.

**4. Базовые навыки и приемы работы с системой КОМПАС-ГРАФИК.** Единицы измерения. Управление курсором. Системы координат. Использование сетки. Буфер обмена. Оптимальная настройка системы и новых документов. Работа с типовыми объектами и типовыми документами КОМПАС-ГРАФИК.

**5. Геометрические построения базовых элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК.** Непрерывный ввод объектов. Построение точки, отрезка, вспомогательной прямой, окружности, дуги, эллипса, кривой, фасок, скруглений, прямоугольника и штриховки. Использование привязок.

**6. Нанесение и редактирование размеров, технологических обозначений на чертежах КОМПАС-ГРАФИК.** Создание и редактирование текста и таблиц. Нанесение линейных, диаметральных, радиальных и угловых размеров. Нанесение шероховатости, линии выноски и линий разреза/сечения. Обозначение базовой поверхности, допуска формы и центра пересечения осевых линий. Оформление основной надписи на чертежах.

**7. Измерение геометрических элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК.** Расчет МЦХ плоских фигур.

**8. Основные приемы выделения плоских фигур и их элементов на чертежах КОМПАС-ГРАФИК.** Выделение геометрических элементов указанием, рамкой, по типу, по стилю кривой, в текущем виде или слое.

**9. Основные приемы редактирования плоских фигур и их элементов на чертежах КОМПАС-ГРАФИК.** Сдвиг, поворот,

масштабирование, симметрия, копирование, деформация геометрических элементов. Усечение кривой, удаление фаски/скругления, выравнивание по границе. Разбить кривую. Эквидистанта к кривой. Преобразование в NURBS.

#### **10. Параметрические возможности КОМПАС-ГРАФИК.**

Вертикаль, горизонталь, выравнивать точки по .... Объединить точки, симметрия точек, параллельно, перпендикулярно, коллинеарно. Касание, равенство длин/радиусов. Зафиксировать точку, зафиксировать размер. Параметризовать объекты. Уравнения, переменные. Показать/удалить ограничения.

**11. Построение ассоциативных видов, вспомогательных видов и слоев в системе КОМПАС-ГРАФИК.** Дерево построения чертежа. Создание ассоциативных видов. Использование вспомогательных видов и слоев.

**12. Основные приемы работы с составными объектами КОМПАС-ГРАФИК.** Группы, макроэлементы, фрагменты. Вывод на печать типовых документов КОМПАС-ГРАФИК. Обмен графической информацией с другими САПР.

**13. Особенности трехмерного проектирования деталей машин на ПЭВМ.** Ограничения двухмерного и особенности трехмерного проектирования на ПЭВМ. Общие сведения и структура главного окна программы КОМПАС-3D.

**14. Основы трехмерного моделирования деталей машин в системе КОМПАС-3D.** Основные термины. Плоскости проекций. Система координат. Эскизы. Операции и вспомогательные построения. Основание модели. Создание гибкой модели детали. Выбор объектов и управление изображением детали в КОМПАС-3D. Настройка параметров детали в КОМПАС-3D.

**15. Основные элементы и операции трехмерного моделирования детали в системе КОМПАС-3D.** Требования, предъявляемые к построению эскизов трехмерной модели детали. Использование операций выдавливания, вращения, кинематической операции и операции по сечениям для построения основания трехмерной модели детали.

**16. Дополнительные операции трехмерного моделирования детали в системе КОМПАС-3D.** Построение фаски, скругления, круглого отверстия, уклона, ребра жесткости, оболочки, массива элементов. Отсечение части детали. Зеркальное копирование элементов.

**17. Вспомогательные построения в трехмерном моделировании деталей машин в системе КОМПАС-3D.** Построение вспомогательных конструктивных осей и плоскостей. Создание пространственных кривых (спирали, ломаной и сплайна) в КОМПАС-3D.

**18. Измерение и расчет МЦХ трехмерной модели в системе КОМПАС-3D.** Измерение расстояния, угла, длины ребра и площади грани. Расчет МЦХ модели.

**19. Параметрические возможности системы КОМПАС-3D.** Вариационная параметризация эскиза. Иерархическая структура подчинения элементов модели. Иерархическая параметризация трехмерной модели. Использование параметрических переменных.

**20. Основные приемы редактирования трехмерной модели детали в системе КОМПАС-3D.** Редактирование эскиза и параметров элементов модели. Редактирование вспомогательных элементов модели. Редактирование элементов модели при помощи указателя окончания построений путем их удаления и изменения порядка их построения. Предупреждения об ошибках в процессе редактирования.

**21. Создание заготовки рабочего чертежа на основании трехмерной модели детали, выполненной в системе КОМПАС-3D.** Вывод на печать типовых документов КОМПАС-3D. Обмен графической информацией с другими САПР.

**22. Использование OLE-технологии в системе КОМПАС.** Вставка типового документа КОМПАС из внешнего файла. Вставка типового документа КОМПАС с сохранением связи с файлом-источником. Изменение отображения вставленного объекта КОМПАС «на месте» и в отдельном окне. Редактирование вставленного в MS Word типового документа КОМПАС. Обновление связи вставленного в MS Word типового документа КОМПАС с файлом-источником. Удаление вставленного в MS Word типового документа КОМПАС.

**23. Основные направления развития современных систем автоматизированного проектирования.** Узкоспециализированные системы САПР. Универсальные системы САПР. Совместимость современных систем САПР.

## 2. СТРУКТУРА, ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ САПР

### 2.1. Классификация САПР

В настоящее время системы автоматизированного проектирования (САПР) широко используются в различных сферах деятельности человека. Исходя из этого, по функциональному назначению принято выделять следующие группы современных САПР:

- системы САПР, применяемые в отраслях общего машиностроения. Их часто называют *машиностроительными* или *инженерно-графическими* САПР или MCAD (Mechanical CAD) системами;
- системы САПР для радиоэлектроники. Их называют – ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation) системами;
- системы САПР для архитектуры и строительства или P-CAD системы;
- системы САПР больших интегральных схем или БИС;
- системы САПР летательных аппаратов;
- системы САПР электрических машин и т.п.

В свою очередь, системы машиностроительного САПР подразделяются на:

- системы САПР функционального проектирования, иначе САПР-Ф, или CAE-системы;
- конструкторские САПР общего машиностроения – САПР-К, или CAD-системы;
- технологические САПР общего машиностроения – САПР-Т, или CAM-системы.

Коротко охарактеризуем вышеупомянутые системы машиностроительного САПР.

Функции CAE-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. В состав машиностроительных CAE-систем входят программы, позволяющие обеспечить:

- моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего выполняется в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ);
- расчет состояний и переходных процессов на макроуровне;

- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

К системам моделирования полей физических величин в соответствии с МКЭ относятся системы: Nastran, Ansys, Cosmos, Nisa.

К системам моделирования динамических процессов на макроуровне: Adams и Dyna – в механических системах, Spice – в электронных схемах, ПА9 – для многоаспектного моделирования, т.е. для моделирования систем, принципы действия которых основаны на взаимодействии физических процессов различной природы.

В качестве основных функций САД-систем в машиностроении можно выделить функции двумерного (2D) и трехмерного (3D) проектирования. К функциям 2D-проектирования относятся черчение, оформление конструкторской документации; к функциям 3D-проектирования – получение трехмерных моделей, метрические расчеты, реалистичная визуализация, взаимное преобразование 2D- и 3D-моделей.

Среди САД-систем различают «легкие» и «тяжелые» системы САПР. Первые из них ориентированы преимущественно на двумерную графику, сравнительно дешевы и менее требовательные в отношении вычислительных ресурсов. Вторые ориентированы на трехмерное параметрическое моделирование, более универсальны и дороги. Оформление проектно-конструкторской документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трехмерных геометрических моделей объектов.

К основным функциям САМ-систем можно отнести: разработку технологических процессов; синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ; моделирование процессов обработки, в том числе построение траектории относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки; расчет норм времени обработки.

Как показывает практика, наиболее эффективным является геометрическое моделирование с использованием системы САПР, включающей в себя и конструкторское, и технологическое моделирование. Таким образом, есть смысл говорить об интегрированных САД/САМ-системах, позволяющих создавать модели и готовить программы для станков с ЧПУ. Примером такой интегрированной системы может служить пакет КОМПАС, включающий в себя программы: Компас-график, Компас-3D, Компас-

Менеджер, Компас-Каталог, Компас-Автопроект, Компас-Штамп, Компас-ЧПУ и многое другое.

В настоящее время наибольшую известность получили следующие САЕ/CAD/CAM-системы. «Тяжелые» системы: Unigraphics, Solid Edge, Solid Works, Pro/Engineer, CATIA, EUCLID и другие. «Легкие» системы: AutoCAD, АДЕМ, dCAD (ПроПро Группа, г. Новосибирск), Спрут (Sprut Technology, г. Набережные Челны), Кредо (НИВЦ АСК, г. Москва). К системам, занимающим промежуточное положение, относятся: Cimatron, Euclid Prelude, T-FlexCAD (Топ Системы, г. Москва), Компас (Аскон, г. С.-Петербург) и другие.

С ростом функциональных возможностей современных ПЭВМ грань между «тяжелыми» и «легкими» САЕ/CAD/CAM-системами постепенно стирается. Кроме того, сами фирмы-разработчики стремятся постоянно усовершенствовать свои системы САПР, повышая тем самым их функциональный уровень. Так, например, программу КОМПАС-ГРАФИК V 5.5 можно отнести к «легким» системам, в то время как программа Компас-3D V 6.0 вполне может претендовать на звание «средней» и даже «тяжелой» системы машиностроительного САПР [1, 2].

По данным международного института стандартов и технологии, использование в промышленном производстве «тяжелых» CAD/CAM-систем вместо «легких» позволяет:

- уменьшить время проектирования объекта на 30–70%;
- уменьшить время редактирования объекта на 65–90%;
- уменьшить сроки выхода на рынок готовой продукции на 20–90%;
- повысить качество готовой продукции на 200–600%;
- уменьшить сроки окупаемости готовой продукции на 20–120%.

## 2.2. Структура САПР

Как и любые сложные системы, большинство современных САПР состоят из подсистем, в частности, проектирующих и обслуживающих.

**Проектирующие подсистемы** непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

**Обслуживающие подсистемы** обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными (PDM – Product Data Management), управления процессом проектирования (DesPM – Design Process Management), пользовательского интерфейса для связи разработчиков с ЭВМ, CASE (Computer Aided Software Engineering) для разработки и сопровождения программного обеспечения САПР, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Кроме вышеприведенных, в состав интегрированных систем САПР «проектирование-изготовление» входят также подсистемы:

- конструирования;
- геометрического моделирования;
- разработки технологии изготовления проектируемых изделий.

**Конструирование** – разработка конструкции изделия по предварительно выполненным проектным расчетам, овеществленным в конструкторской документации. Цель конструирования – разработка и формирование изделий путем переработки геометрической, технологической и организационной информации.

В настоящее время можно выделить два подхода к конструированию на основе компьютерных технологий. Первый подход базируется на двухмерной геометрической модели, состоящей из графического изображения (чертежа) и использования компьютера как электронного кульмана, позволяющего значительно ускорить процесс конструирования и улучшить качество оформления конструкторской документации. В данном подходе чертеж служит средством графического представления изделия, содержащего информацию для решения графических задач, а также для изготовления изделия.

В основе второго подхода лежит компьютерная пространственная геометрическая модель изделия, которая является более наглядным способом представления оригинала и более мощным и удобным инструментом для решения геометрических задач. В этом случае чертеж играет вспомогательную роль, а методы его создания основаны на методах компьютерной графики, методах отображения пространственных моделей.

Под **геометрическим моделированием** понимают создание моделей геометрических объектов, содержащих информацию о геометрии изделия – функциональную и вспомогательную. Информация о геометрических характеристиках объектов используется не только для получения графического изображения – двумерной геометрической модели, но и для расчета различных характеристик объекта и технологических параметров его изготовления. Из этого следует, что геометрическое моделирование является *ядром* автоматизированного конструирования и технологической подготовки производства.

Различают двумерные и трехмерные геометрические модели. Двухмерное моделирование используется для подготовки чертежной документации в машиностроительных САПР, в САПР электронной промышленности и т.п. В настоящее время «тяжелые» и «средние» машиностроительные САПР используют как 2D, так и 3D моделирование для синтеза конструкций, представления траекторий рабочих органов станков при обработке заготовок, генерации сетки конечных элементов при анализе прочности и т.д.

В 3D моделировании различают модели

- каскадные (проволочные);
- поверхностные;
- объемные (твердотельные).

*Каскадная модель* представляет форму детали в виде конечного множества линий, лежащих на поверхностях детали. Для каждой линии известны координаты конечных точек и указана их инцидентность ребрам или поверхностям. Оперировать каскадной моделью на дальнейших операциях маршрутного проектирования неудобно, и поэтому каскадные модели в настоящее время используются редко.

*Поверхностная модель* отображает форму детали с помощью задания ограничивающих ее поверхностей, например, в виде совокупности данных о ребрах, гранях и вершинах.

Особое место занимают модели детали с поверхностями сложной формы, так называемыми *скульптурными поверхностями*. К таким деталям относятся корпуса многих транспортных средств (например, судов, автомобилей), детали, обтекаемые потоками жидкостей и газов (лопатки турбин, крылья самолетов), и др.

*Объемные модели* отличаются тем, что в них в явной форме содержатся сведения о принадлежности элементов внутреннему или внешнему по отношению к детали пространству.

**Разработка технологии изготовления проектируемых изделий** обеспечивает реализацию превращения этой информации в изделие. Основой объединения подсистем является использование общей базы данных. Кроме этого, каждая из подсистем должна иметь собственную базу данных, ориентированную на решение своих задач. Так, в системе конструирования должна быть ориентированная на конструирование система управления данными и база данных непосредственно по конструированию конкретного изделия.

Подсистемы САПР обладают всеми свойствами систем и могут функционировать самостоятельно [1, 3].

### **2.3. Виды обеспечения САПР**

Структурирование САПР по различным аспектам обуславливает появление **видов обеспечения САПР**. Принято выделять семь видов обеспечения САПР:

- техническое;
- математическое;
- программное;
- информационное;
- лингвистическое;
- методическое;
- организационное.

**Техническое обеспечение** включает различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства).

К техническим средствам САПР относятся:

- устройства ввода информации в систему, т.е. периферийное оборудование ЭВМ (клавиатура, сканер, дисковод, CD-ROM, CD-RW, модем и т.п.);
- устройства, отвечающие за хранение информации в системе (постоянная и оперативная память, дискеты, компакт диски и т.п.);
- устройства переработки информации (процессор, программное обеспечение и т.п.);
- устройства отображения и вывода информации в удобной для проектировщика форме (монитор, принтеры, плоттеры и т.п.);
- устройства управления процессами обработки информации (операционные и мониторные системы, обеспечивающие

выполнение команд пользователя или заданную последовательность выполнения операций, обмен информацией, включение в работу соответствующих технических средств, устройств и т.п.).

Перечисленные выше технические средства составляют комплекс средств автоматизации САПР любого назначения. Современные САПР, помимо назначения, различаются также числом и типом ЭВМ, периферийного оборудования, числом и содержанием баз данных, составом программного обеспечения. Производительность ЭВМ, ее структура, связь с другими ЭВМ, количество и номенклатура внешних устройств определяют техническую производительность САПР.

**Математическое обеспечение** современных САПР объединяет математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования.

Основу математического обеспечения составляют алгоритмы, по которым разработано программное обеспечение САПР. При автоматизированном проектировании математическое обеспечение в явном виде не используется, используется производный от него компонент – программное обеспечение.

Разработка математического обеспечения является самым сложным и ответственным этапом создания САПР, от которого (при использовании одинаковых технических средств) в наибольшей степени зависят производительность и эффективность САПР в целом.

Математическое обеспечение современных САПР по назначению и способу реализации делится на две части. Первую составляют математические методы и построенные на их основе математические модели, описывающие объекты проектирования или вычисляющие необходимые параметры объектов; вторую часть составляет формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

Способы и средства реализации первой части математического обеспечения весьма специфичны и зависят как от объектов проектирования, так и от САПР в целом.

Разработка второй части, формализации процессов автоматизированного проектирования, является более сложной задачей, чем первой части, т.к. при этом должна быть формализована вся логика технологии проектирования, например, логика взаимодействия проектировщиков друг с другом. Поэтому указанные

проблемы решаются, в основном, интуитивно и эмпирическим путем, главным образом методом проб и ошибок.

Проектирование следует рассматривать как процесс функционирования единой системы, в которой частные цели отдельных проектных операций, их содержание, логика и последовательность выполнения должны быть подчинены общей цели системы – получению качественного проекта изделия при минимальных затратах ресурсов всех видов. Поэтому математическое обеспечение САПР должно описывать во взаимосвязи объект, процесс и средства автоматизации проектирования.

Под **программным обеспечением** современных САПР понимается пакет компьютерных программ, обеспечивающих нормальное функционирование данных систем.

Различают системное и прикладное программное обеспечение.

*Системное программное обеспечение* управляет организацией вычислительного процесса на ЭВМ и обменом данными между различными устройствами и должно, прежде всего, удовлетворять требованиям организации режима диалоговой обработки информации.

**Эффективность САПР** в значительной мере определяется возможностями *прикладного программного обеспечения*, под которым обычно понимают набор программ, реализующих решение на ЭВМ конкретных задач проектирования. Анализ применения современных САПР показывает, что в них преобладают задачи изготовления рабочей конструкторской документации, инженерных расчетов и технологической подготовки производства. Сложность их алгоритмизации ведет к созданию соответствующих диалоговых систем.

**Удобство САПР** в значительной мере определяется видом связи с человеком. Наиболее эффективным видом связи является графический диалог, который обеспечивает большую наглядность в передаче информации и позволяет оптимально разграничить функции между человеком и ЭВМ при одновременном улучшении качества применяемых человеком решений.

**Гибкость САПР** с точки зрения расширения возможностей ее использования может быть увеличена, если программное обеспечение САПР является универсальным и открытым.

В целом же, программное обеспечение – это основной и по значимости и по трудоемкости создания объект разработки САПР.

Программное обеспечение является оригинальным инструментом и отражает всю специфику конкретной системы САПР.

Программное обеспечение современных САПР создается на основании компонентов математического обеспечения с использованием *базового программного обеспечения*. Причем базовое программное обеспечение ЭВМ не является объектом разработки при создании САПР (например, операционная среда DOS, Windows и т.п.).

**Информационное обеспечение** современных САПР состоит из баз данных (БД), систем управления базами данных (СУБД), а также других данных, используемых при проектировании. Здесь же следует отметить, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется *информационным фондом САПР*, а БД вместе с СУБД носит название *банка данных* (БнД).

Основу информационного обеспечения современных САПР составляет информация, которой пользуются проектировщики в процессе проектирования непосредственно для выработки проектных решений. Это может быть информация о прототипах проектируемых изделий или процессов, материалах, комплектующих изделиях, оборудовании, инструменте, которые могут быть применены в процессе проектирования. Вся эта информация, как правило, хранится в БнД.

Любой БнД должен обладать гибкостью, надежностью, наглядностью и экономичностью.

**Гибкость** БнД выражается в возможности наращивания и адаптации средств СУБД и изменения организации и структуры БД при минимальных затратах. Для одновременного использования группой пользователей должна быть обеспечена возможность параллельного доступа. В БнД должна осуществляться обработка алфавитной, цифровой и графической информацией.

**Надежность** БнД обеспечивается восстановлением информационных и программных средств в случае их разрушения и прекращение доступа к БнД в случае несанкционированного или ошибочного запросов.

**Наглядность** БнД или удобство пользования обеспечивается представлением информации в наиболее удобной для пользователя форме.

**Экономичность** БД обеспечивается исключением дублирования данных, автоматизацией сбора данных и наличием средств их тиражирования.

Состав БД определяется с учетом особенностей объекта проектирования, типовых проектных решений, характеристик рабочих мест и средств производства, нормативных и справочных данных. При составлении БД должны использоваться термины, символы, условные обозначения, размерности, программно-ориентированные языки, принятые в данных САПР.

Структура СУБД должна строиться с учетом реализации концептуального, внутреннего и внешнего уровней. *Концептуальный уровень* обеспечивает интегрированное представление о характере, содержании и структуре данных. *Внутренний уровень* отображает организацию данных в среде хранения. *Внешний уровень* характеризует параметры представления данных пользователю.

К основным функциям СУБД относятся:

- создание схемы БД;
- организация хранения данных;
- защита целостности БД;
- ограничение доступа к БД с помощью паролей в соответствии с уровнем доступа пользователя;
- поддержание готовности базы к загрузке данными;
- поддержание функционирования БД.

СУБД должна иметь собственное программное обеспечение, совместимое с программами САПР.

**Лингвистическое обеспечение** современных САПР выражается языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР.

Основу лингвистического обеспечения САПР составляют специальные языковые средства (языки программирования, например PASCAL, BASIC, DELPHI, C++, JAVA и др.), предназначенные для общения человека с ПЭВМ в процессе проектирования. Различают универсальные алгоритмические языки программирования и проблемно-ориентированные – менее универсальные, но более эффективные для применения в конкретной области. К алгоритмическим языкам относятся FORTRAN (для решения, преимущественно, технических задач) и PASCAL (для решения

широкого круга задач). Указанные языки из-за их универсальности позволяют программировать любые задачи, но весьма трудоемки и требуют специальных и знаний, и владения методами системного программирования. В связи с этим были созданы специализированные языки, ориентированные на определенные объекты и проектные процедуры. Характерным примером специализированного языка, ориентированного на автоматизацию СУБД, является SQL, VBA.

Ранее в каждой САПР использовались свои языковые средства. Однако большое разнообразие проблемно-ориентированных языков препятствует обмену информацией между потребителями САПР, требует обучения специалистов работе с несколькими языками.

**Методическое обеспечение** современных САПР включает в себя различные методики проектирования, иногда к нему относят также математическое обеспечение.

Под методическим обеспечением САПР понимают также входящие в ее состав документы, регламентирующие порядок ее эксплуатации. Причем документы, относящиеся к процессу создания САПР, не входят в состав методического обеспечения, т.е. методология разработки самой САПР не должна входить в ее методическое обеспечение. Вместе с тем, отдельные документы, выпущенные для создания САПР, могут войти в ее состав и используются при ее эксплуатации. Например, описание и структура БД, инструкции по их ведению и заполнению.

**Организационное обеспечение** современных САПР включает в себя штатные расписания, должностные инструкции и другие документы, регламентирующие работу проектного предприятия.

К организационному обеспечению современных САПР относятся также:

- приказы, инструкции, распоряжения, положения, регламентирующие деятельность службы САПР;
- квалификационные требования к персоналу службы САПР;
- штатное расписание службы САПР;
- финансирование службы САПР;
- ГОСТы и другие материалы, регламентирующие порядок разработки, согласование и утверждение технической документации;

- унификация и типизация объектов проектирования и их элементов, что позволяет создавать на этой основе соответствующие стандартные и типовые блоки, осуществлять компоновку средств различного назначения и содержания.

Развитие современных систем САПР осуществляется путем пополнения ее новыми подсистемами и компонентами, а также модернизацией действующих подсистем и компонентов.

Если раньше системы автоматизированного проектирования создавались для решения проблем, ориентированных на изделие или учитывающих специфику производства, то последние разработки свидетельствуют о все увеличивающейся переориентации САПР на создание универсальных методик и решение задач, выходящих за пределы отдельных отраслей производства [1, 2, 4].

#### **2.4. Этапы и стадии проектирования в современных САПР**

Создание проекта какого-либо объекта (изделия или процесса) подразумевает последовательный выбор структуры объекта, определение значения всех его параметров и представление конечных результатов в установленной форме. При временном распределении работ по созданию новых объектов процесс проектирования разделяется на стадии и этапы.

**Стадии проектирования** – наиболее крупные части проектирования как процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяют следующие стадии проектирования:

- проведение научно-исследовательских работ (НИР);
- создание эскизного проекта или опытно-конструкторские работы (ОКР);
- создание технического проекта;
- создание рабочего проекта;
- испытание опытных образцов или опытных партий.

Стадию НИР иногда называют предпроектными исследованиями или стадией технического предложения. Очевидно, что по мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают, и рабочий проект уже должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов.

Близким к определению стадии, но менее четко оговоренным понятием, является понятие **этапа проектирования**. Стадии (этапы)

проектирования подразделяются на составные части, называемые *проектными процедурами*. Примерами проектных процедур могут служить подготовка чертежей детализации, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи. В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые *проектными операциями*. Например, при анализе прочности детали сеточными методами операциями могут быть построение сетки, выбор или расчет внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов моделирования в графической и текстовой форме. Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур – *маршрутов проектирования*.

При создании новых объектов выделяют следующие этапы проектирования:

- этап научно-исследовательских работ (НИР). Объединяет следующие стадии: предпроектные исследования, техническое задание и часть технического предложения;
- этап опытно-конструкторских работ (ОКР). Объединяет следующие стадии: часть технического предложения, эскизный проект, технический проект;
- этап рабочего проектирования. Объединяет следующие стадии: рабочий проект, изготовление, отладка, испытания и ввод в действие.

Рассмотрим подробнее основные этапы проектирования с позиции обработки информации в современных САПР.

На стадии разработки **технического задания** основными видами операций обработки информации являются: поиск и выбор необходимой научно-технической информации о прототипах, патентных данных и т.д. из соответствующей базы данных (хранилища информации), анализ выбранной информации и формулировка на его основе технических требований к проектируемому объекту, оформление технических требований в соответствии с установленными нормативами. На данном этапе проектирования могут быть автоматизированы операции поиска информации и оформления технической документации. Может быть также автоматизирована некоторая часть вспомогательных операций проектирования по анализу выбранной информации, например,

группировка ее по заданным признакам, выбор наименования или наиболее сопоставимых друг с другом вариантов и т.п.

На этапе **эскизного проектирования** производят поиск и выбор наиболее детальной информации, на основе ее анализа принимают предварительные проектные решения и оформляют первые проектные документы. Для выработки проектных решений выполняют различные расчеты, содержание, объем и трудоемкость которых зависят от характеристики проектируемого объекта. Работы этого этапа, как правило, в наибольшей степени поддаются автоматизации, и их автоматизация дает наибольший технико-экономический эффект за счет оптимизации проектных решений. Вместе с тем, эти работы, в том числе, определение наиболее эффективного физического принципа действия создаваемого объекта, поиск наилучших технических решений, реализация выбранных физических процессов и, наконец, определение оптимальных значений параметров принятых технических решений представляет собой наиболее оригинальные проектные процедуры, которые в принципе не могут быть унифицированы и должны постоянно совершенствоваться. Автоматизация указанных работ достигается за счет применения оптимизационных математических методов.

На этапе разработки **технического проекта** объекта детализируют и уточняют решения, принятые при эскизном проектировании, и создают новые, более насыщенные проектные документы. Следовательно, снова производят поиск, выбор и анализ исходной информации (в основном, нормативно-технической и технико-экономической) и выполняют многочисленные расчеты, но уже, как правило, по иным, более точным методикам. Эти работы могут быть автоматизированы в значительной степени.

Большинство документов, оформленных на этапах эскизного и технического проектирования, используются только для рабочего проектирования и не входят в состав рабочей и эксплуатационной документации. То есть информация, наработанная на указанных этапах, является временной, промежуточной и поэтому целесообразно создавать хранилища временной информации по проектируемому объекту.

На этапе **рабочего проектирования** основным видом выполняемых работ является оформление проектных решений в виде чертежей и спецификаций к ним, а также эксплуатационной документации на объект. Современные средства вычислительной

техники позволяют полностью автоматизировать оформление чертежей и спецификаций и в определенной степени – формирование эксплуатационной документации. Если же система автоматизированного проектирования позволяет выполнять не только выпуск рабочего проекта, но и проектирование технологии, то становится целесообразным не выпускать чертежи и спецификации самостоятельно, а передавать технологом-проектировщикам информацию на электронных носителях в виде базы данных о проектируемом объекте.

Работы по проектированию **технологии изготовления** спроектированного объекта традиционно выполняют в процессе технологической подготовки производства изделия или его узлов и деталей на предприятии-изготовителе. На большинстве машиностроительных заводов действует групповая организация производства и применяются методы групповой технологии. В этих условиях неприемлемо индивидуальное проектирование технологии изготовления конкретного изделия. Проектируемая технология должна учитывать требования групповых методов обработки и характеристики каждого изделия. Однако даже указанные особенности не мешают выделить в проектировании технологии типовые, с точки зрения обработки информации, операции. При проектировании технологии производят:

- поиск и выбор исходной информации (об объекте, подлежащем изготовлению; о технологическом оборудовании предприятия; технологических и трудовых нормативах);
- анализ и обработку данных в целях определения маршрутов обработки, последовательности технологических операций и режимов их выполнения, потребности в инструменте, в создании специальной оснастки;
- оформление соответствующей технологической документации.

Работы, перечисленные во втором и третьем пунктах, идентичны многим операциям при проектировании изделия. Несмотря на то, что проектирование технологии требует оригинальных расчетов и решений для различных видов технологических операций и обрабатываемых материалов, методы формализации большинства таких работ разработаны и, следовательно, они могут быть автоматизированы.

В целом же для всех этапов проектирования изделий и технологии их изготовления можно выделить следующие виды типовых операций обработки информации:

- поиск и выбор из всевозможных источников необходимой информации;
- анализ выбранной информации;
- выполнение расчетов;
- принятие проектных решений;
- оформление проектных решений в виде, удобном для дальнейшего использования (на последующих стадиях проектирования, при изготовлении или эксплуатации изделия).

В результате проектирования из малого объема исходной информации – задания на проектирование – вырабатывается и перерабатывается огромный объем информации. Это обстоятельство показывает, насколько актуальна проблема управления использованием полученной информации.

Автоматизация перечисленных выше операций обработки информации и процессов управления использованием информации на всех этапах проектирования составляет сущность функционирования современных САПР [1, 2].

### 3. БАЗОВЫЕ ПРИЕМЫ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ КОМПАС-ГРАФИК

В настоящее время система КОМПАС является одной из наиболее эффективных конструкторских САПР общего машиностроения. Ядром данной системы является чертежно-конструкторский редактор двухмерного проектирования КОМПАС-ГРАФИК, предназначенный для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях промышленности. Рассмотрим подробнее базовые приемы работы с данной системой машиностроительного САПР.

#### 3.1. Структура главного окна системы КОМПАС-ГРАФИК

Запуск программы КОМПАС-ГРАФИК можно осуществить при помощи соответствующего ярлыка или через кнопку **Пуск** на рабочем столе компьютера. После запуска данной программы и открытия любого 2D-документа, на экране появляется главное окно системы со всеми элементами (рис. 1).

Главное окно системы КОМПАС-ГРАФИК включает в себя:

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| • строку главного меню;      | • панель переключения;       |
| • панель управления;         | • панель инструментов;       |
| • строку параметров объекта; | • панель расширенных команд; |
| • строку текущего состояния; | • панель спецуправления.     |
| • строку сообщений;          |                              |

**Строка меню** располагается в верхней части главного окна и включает в себя перечень всех команд системы. *Строка главного меню* системы состоит из следующих меню:

|  |  |
|--|--|
| • файл (команды открытия, сохранения, создания, печати, импорта, экспорта файлов); | • сервис (сервисные команды изменения масштаба, слоев, системы координат); |
| • редактор (команды отмены и повтора предыдущих действий);                         | • компоновка (команды оформления листов чертежа);                          |
| • выделить (команды выделения объектов чертежа или фрагмента);                     | • настройка (команды настройки параметров системы и нового документа);     |
| • удалить (команды удаления)   | • окно (команды управления)  |

|  |  |
|--|--|
| различных объектов);   | окнами с различными документами);  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>операции редактирования объектов чертежа или фрагмента);</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>справка (команды справочной системы КОМПАС).</li> </ul> |

Вызов какой-либо команды из *Строки главного меню* осуществляется простым щелчком левой кнопки мыши на имени соответствующей команды.

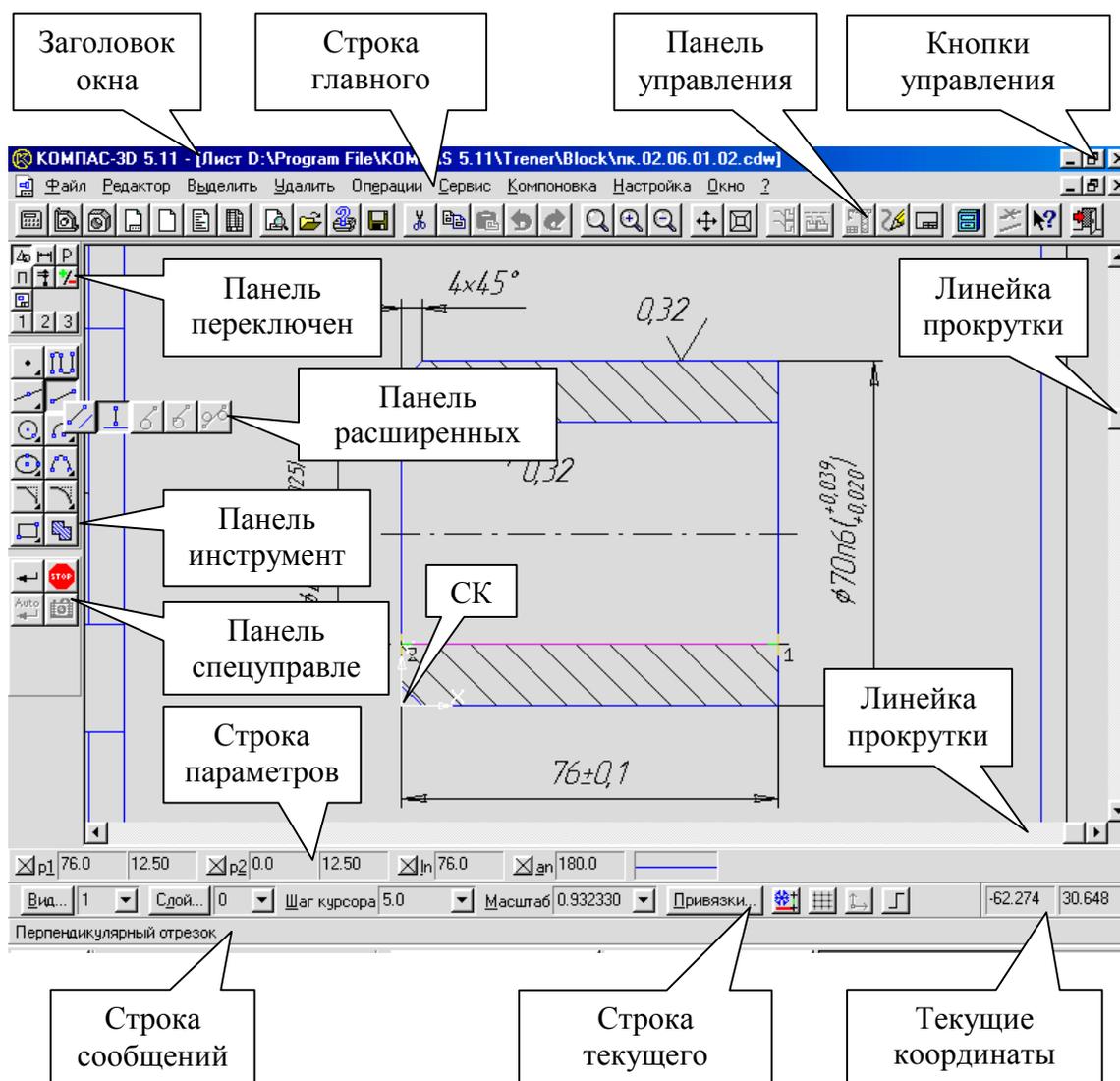


Рис. 1. Структура главного окна системы КОМПАС-ГРАФИК

На **панели управления** располагаются кнопки (пиктограммы), наиболее часто встречающихся в процессе работы команд. Перечень

кнопок на *Панели управления* зависит от режима работы системы (черчение, спецификация, текст, таблица) и может быть изменен с помощью средств настройки системы (рис. 2). Многие кнопки на *Панели управления* продублированы командами *Строки главного меню*. Запуск команд на *Панели управления* осуществляется простым щелчком мыши на соответствующей кнопке.

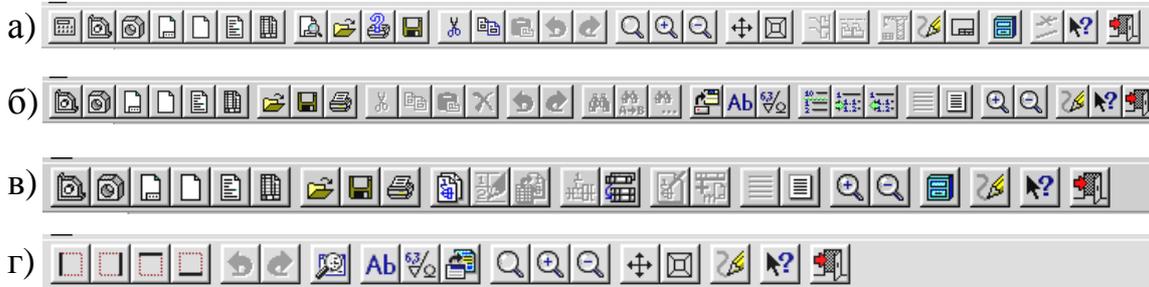
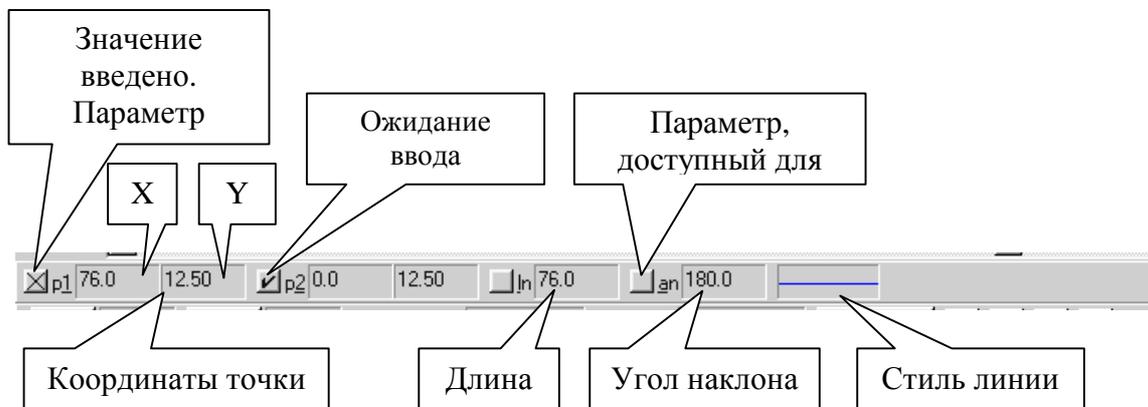


Рис. 2. Панель управления системы КОМПАС-ГРАФИК: а) при редактировании чертежа; б) при редактировании текста; в) при редактировании спецификации; г) при редактировании таблицы

**Строка параметров объектов** является важнейшим элементом интерфейса КОМПАС-ГРАФИК. Она автоматически появляется на экране (в нижней его части под окном документа) только после вызова какой-либо команды на *Панели инструментов* или в режиме редактирования геометрических объектов (рис. 1). Вид *Строки параметров объектов* зависит от типа создаваемого или редактируемого геометрического объекта. Так, параметрами прямой линии в случае ее построения по двум точкам являются: координаты X и Y начальной и конечной точек прямой, ее длина и угол наклона, а также стиль линии (основная, тонкая и т.п.) (рис. 3). После прекращения работы команды построения или редактирования объекта *Строка параметров* автоматически выключается и параметры объекта становятся недоступными.



В строке текущего состояния отображаются параметры текущего документа системы. Так, при редактировании чертежа в строке текущего состояния отображаются следующие параметры – вид, слой, масштаб документа, шаг курсора, привязки, текущие координаты курсора и т.д. Вид строки текущего состояния зависит от режима работы системы (рис. 4).



Рис. 4. Строка текущего состояния КОМПАС-ГРАФИК

В строке сообщений отображаются различные подсказки, сообщения и запросы системы в процессе работы (рис. 5). Это может быть: а) краткая информация об элементе экрана, к которому подведен курсор; б) сообщение о том, ввода каких данных ожидает система в данный момент; в) краткая информация по текущему действию, выполняемому системой. В процессе работы рекомендуется обращать пристальное внимание на информацию, отображаемую системой в строке сообщений. Это поможет избежать всевозможных ошибок при выполнении построений.

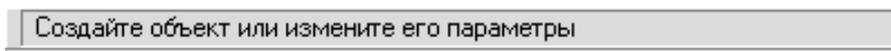
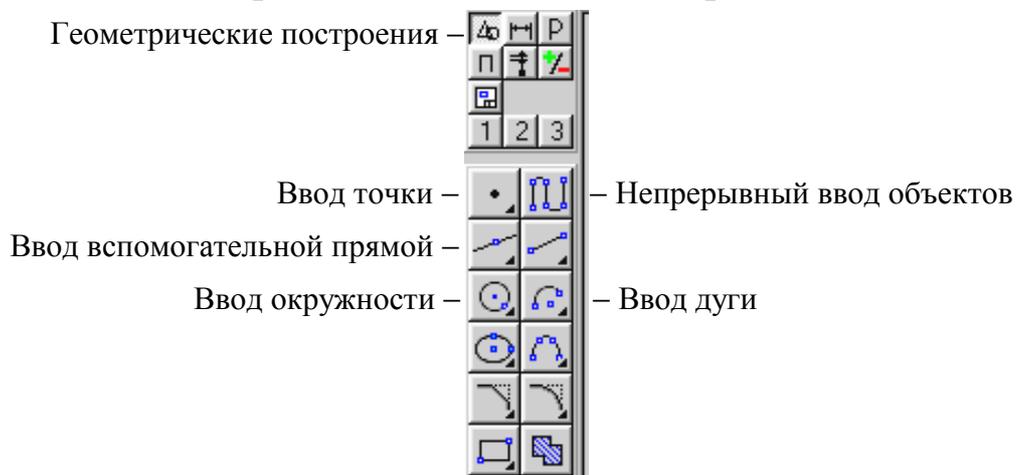


Рис. 5. Строка сообщений КОМПАС-ГРАФИК

**Инструментальная панель** по умолчанию находится в левой части главного окна системы и состоит из двух частей: **панели переключения** и **панели инструментов** (рис. 1). Каждой кнопке на *Панели переключения* соответствует одноименная страница *Панели инструментов*, а каждая страница содержит набор кнопок, сгруппированных по функциональному назначению. Состав кнопок на *Инструментальной панели* зависит от типа документа, с которым Вы работаете в настоящее время. Так, при создании нового листа чертежа

или фрагмента в системе КОМПАС-ГРАФИК автоматически включается кнопка **Геометрические построения** на *Панели переключения* и отображается соответствующая ей страница (рис. 6, а). На *Панели переключения* располагаются следующие кнопки и соответствующие им страницы:

- **геометрические построения**, содержит команды, позволяющие вычерчивать различные геометрические объекты (рис. 6, а);
- **размеры и технологические обозначения**, содержит команды, позволяющие наносить на чертеже всевозможные размеры и технологические обозначения (рис. 6, б);
- **редактирование**, содержит команды редактирования объектов чертежа или фрагмента (рис. 6, в). Некоторые из этих команд можно также вызвать из меню **Операции**;
- **параметризация**, содержит команды, позволяющие выполнять параметризацию геометрических объектов, т.е. накладывать ограничения на взаимосвязь объектов и удалять эти ограничения (рис. 6, г);
- **измерения**, содержит команды, позволяющие выполнять всевозможные измерения геометрических объектов (рис. 6, д);
- **выделение**, содержит команды, позволяющие выполнять выделение геометрических объектов и их частей (рис. 6, е). Некоторые из этих команд можно также вызвать из меню **Выделить**;
- **ассоциативные виды**, содержит команды построения ассоциативных видов трехмерной модели (рис. 6, ж). **Ассоциативный вид** – это вид чертежа, ассоциативно связанный с существующей моделью (деталью или сборкой). При изменении формы, размеров и топологии модели изменяется и изображение во всех связанных с ней видах;
- **пользовательская панель**, которая может содержать до трех собственных страниц с произвольными кнопками команд (не более двенадцати). Создать пользовательские наборы можно с помощью команды **Настройка системы** из меню **Сервис**.



– Ввод отрезка

Ввод эллипса –

– Ввод кривой Безье

Фаска –

– Скругление

Ввод прямоугольника –

– Штриховка

Рис. 6. Панель инструментов КОМПАС-ГРАФИК  
Размеры и технологические обозначения

б)



в)



г)



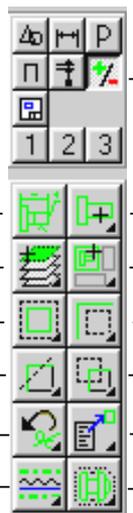
- Зафиксировать размер – – Установить значение размера
- Параметризировать объекты – – Показать/удалить ограничения

Рис. 6. Панель инструментов КОМПАС-ГРАФИК (продолжение)

д)

- 
- Измерения
  - Координаты точки –
  - Расстояние между 2 точками –
  - Расстояние между 2 точками на кривой –
  - Расстояние между 2 кривыми –
  - Угол по 3 точкам –
  - Площадь –
  - Расстояние между 2 точками –
  - Расстояние от кривой до точки –
  - Угол между 2 прямыми/отрезками –
  - Длина кривой –
  - Расчет МЦХ плоских фигур –

е)

- 
- Выделение
  - Выделить все –
  - Выделить слой указанием –
  - Выделить рамкой –
  - Выделить секущей ломаной –
  - Выделить прежний список –
  - Выделить по стилю кривой –
  - Выделить объект указанием –
  - Выделить вид указанием –
  - Выделить вне рамки –
  - Выделить секущей рамкой –
  - Выделить по типу –
  - Выделить группу –

ж)

- 
- Ассоциативные виды –
  - Создать новый вид –
  - Стандартные виды –
  - Проекционный вид –
  - Местный вид –
  - Произвольный вид –
  - Вид по стрелке –
  - Выносной элемент –

Рис. 6. Панель инструментов КОМПАС-ГРАФИК (окончание)

Большинство команд на страницах *Панели инструментов* допускает несколько вариантов выполнения. Например, отрезок в КОМПАС-ГРАФИК может быть построен несколькими различными способами (параллельно, перпендикулярно, касательно и т.п.). Чтобы получить доступ к прочим вариантам построения того же отрезка, необходимо вызвать на экран **панель расширенных команд** построения отрезков. Кнопки на страницах *Панели инструментов*, имеющие *Панель расширенных команд*, помечены черным треугольником в правом нижнем углу (рис. 1). Для того чтобы открыть *Панель расширенных команд*, необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке с черным треугольником и удерживать ее в нажатом положении.

**Панель специального управления** автоматически появляется на экране только после вызова какой-либо команды на *Панели инструментов* или в режиме редактирования объектов. На ней находятся кнопки, позволяющие управлять ходом выполнения той или иной команды (рис. 1). Содержание *Панели спецуправления* зависит от основной команды, вызванной с *Панели инструментов* и выполняемой в данное время. Например, на рис. 7 показано содержание *Панели спецуправления* в режиме ввода отрезка (рис. 7, а), построения вспомогательной параллельной прямой (рис. 7, б) и в режиме штриховки замкнутых областей (рис. 7, в). Некоторые кнопки на этих рисунках встречаются чаще остальных, например, **Прервать команду** и **Создать объект**. Выбор команды на *Панели спецуправления* осуществляется простым щелчком мыши на нужной кнопке. После завершения работы основной команды *Панель спецуправления* автоматически убирается с экрана [5–8].

- а)                      Создать объект –  STOP – Прервать команду  
 Автосоздание объекта –   – Запомнить состояние
- б)                      Создать объект –  STOP – Прервать команду  
                           Указать заново –   – Запомнить состояние  
                           К предыдущему объекту –   – К следующему объекту
- в)



Рис. 7. Панель спецуправления КОМПАС-ГРАФИК: а) в режиме ввода отрезка; б) в режиме построения вспомогательной параллельной прямой; в) в режиме

### 3.2. Типовые объекты и типовые документы КОМПАС-ГРАФИК

В системе КОМПАС-ГРАФИК можно создавать и редактировать следующие типы объектов:

- **геометрические объекты** (точка, прямая, отрезок прямой, окружность, дуга окружности, эллипс, многоугольник, контур, кривая Безье, NURBS-кривая, эквидистантная кривая, штриховка, макроэлемент);
- **объекты оформления** (многострочная текстовая надпись, таблица, размер линейный, размер угловой, размер радиальный, размер диаметральный, обозначение базы, допуск формы и расположения, символ шероховатости, линия выноски, стрелка направления взгляда, линия разреза или сечения, обозначение центра, атрибут);
- **объекты чертежа** (вид, технические требования, основная надпись, обозначение шероховатости неуказанных поверхностей).

Управлять типовыми документами КОМПАС-ГРАФИК можно при помощи соответствующих команд на *Панели управления* (рис. 8).

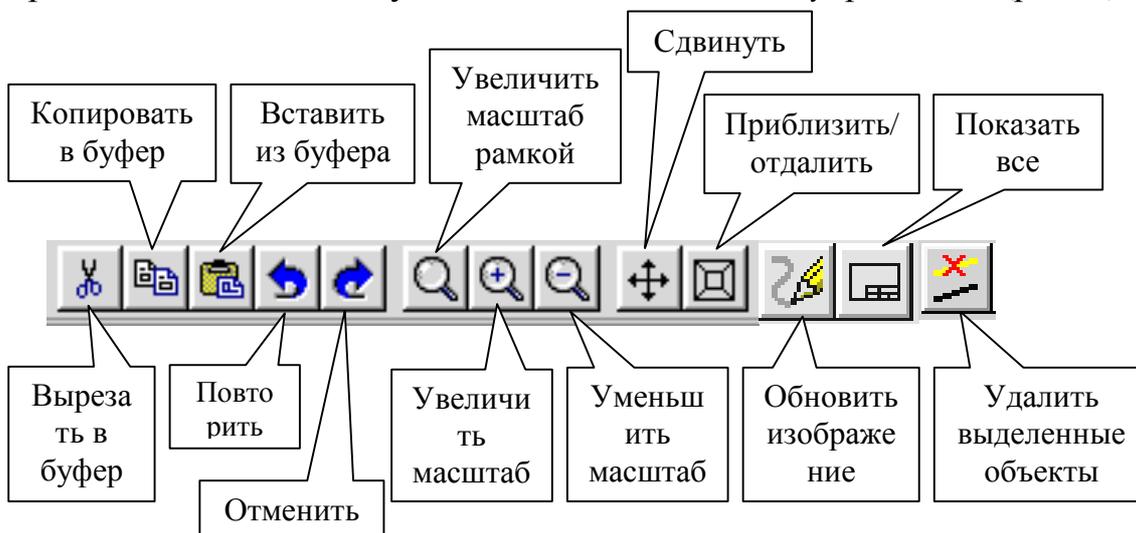


Рис. 8. Управление типовыми объектами КОМПАС-ГРАФИК при помощи *Панели управления*

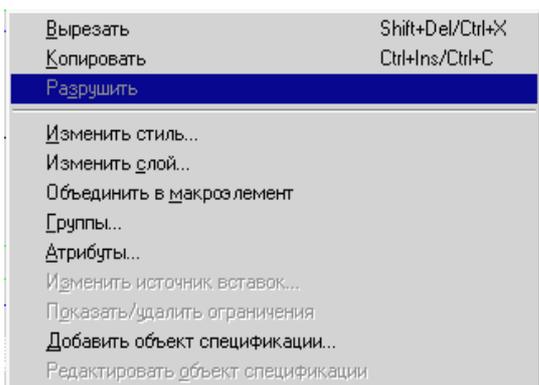


Рис. 9. Контекстное меню КОМПАС-ГРАФИК

КОМПАС-ГРАФИК позволяет упростить выполнение многих действий в процессе работы, предоставляя пользователю возможность вызывать **контекстные меню**. Эти меню появляются на экране при нажатии правой кнопки мыши. Состав меню может быть разным для различных ситуаций. При этом в нем будут собраны наиболее

типичные для данного момента работы команды. Например, если в документе выделено несколько объектов, то при щелчке правой кнопкой мыши на одном из них будет выдано меню со следующими командами обработки этих выделенных объектов (рис. 9). Таким образом, при выполнении различных действий можно быстро обратиться к нужной команде не только через верхнее меню или панели кнопок, но и через контекстно-зависимые меню, причем последний способ является наиболее быстрым.

В системе КОМПАС-ГРАФИК можно создавать и редактировать следующие типы документов (рис. 10):

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| • лист чертежа; | • текстово-графические документы; |
| • фрагмент;     | • спецификация.                   |

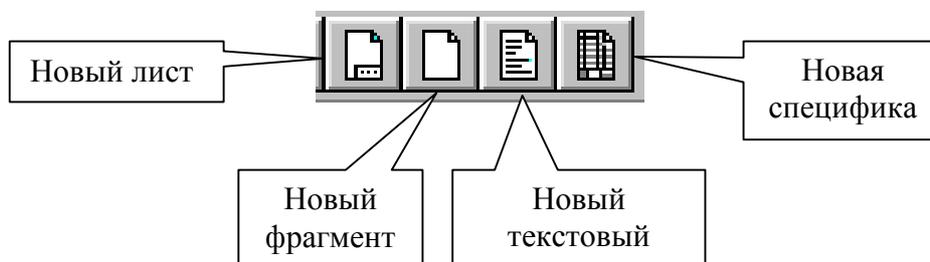


Рис. 10. Создание нового документа КОМПАС-ГРАФИК при помощи *Панели управления*

Основным документом в системе КОМПАС-ГРАФИК является **лист чертежа** (расширение файла \*.cdw).

Каждый чертеж состоит из видов, технических требований, основной надписи (штампа чертежа) и обозначения шероховатости неуказанных поверхностей детали (знака неуказанной шероховатости). Под **видом** в дальнейшем будем понимать любое

изолированное изображение на чертеже, а не обязательно какую-либо проекцию детали в строго геометрическом толковании. Положение каждого вида в системе координат чертежа (или абсолютной системе) определяется точкой привязки, углом поворота и масштабом.

Другим типом документа КОМПАС-ГРАФИК является **фрагмент** (расширение файла \*.frw). Он отличается от чертежа отсутствием объектов оформления. Во фрагменте нет рамки, основной надписи, знака неуказанной шероховатости и технических требований.

Фрагмент идеально подходит для хранения изображений, которые не нужно оформлять как лист чертежа (эскизные прорисовки, разработки и т.д.). Кроме того, во фрагментах удобно сохранять созданные типовые решения и конструкции для последующего использования в других документах. Отметим, что КОМПАС-ГРАФИК предоставляет возможность ссылаться на внешний фрагмент без его физического копирования в документ, при этом после редактирования внешнего фрагмента автоматически будет откорректирован и старший документ.

Встроенный текстовый редактор КОМПАС-ГРАФИК позволяет создавать **текстово-графические документы** (расширение файла \*.kdw). В таком документе помимо собственно текстовой части могут быть вставлены таблицы и графические иллюстрации (чертежи и фрагменты). Текстово-графический документ, как и чертеж, оформляется рамкой и основной надписью.

Следующим типом документа КОМПАС-ГРАФИК является **спецификация** (расширение файла \*.spw.)

Спецификация представляет собой таблицу, содержащую информацию о составе сборочной единицы, комплекса или комплекта. Заполнение этой таблицы и сортировка записей в ней производятся в соответствии с ГОСТ 2.108-68. Оформление спецификации включает рамку, основную надпись и таблицу [9–11].

Работа с типовыми документами КОМПАС-ГРАФИК практически ничем не отличается от подобной работы с типовыми документами в различных приложениях Windows (например, Word и Excel) (рис. 11).

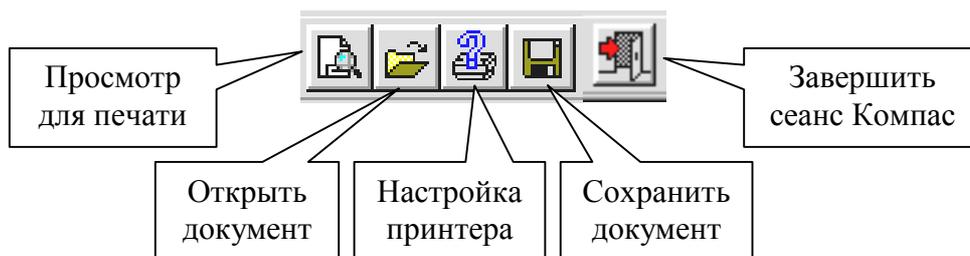


Рис. 11. Открытие, сохранение, просмотр, печать документа и выход из системы КОМПАС-ГРАФИК при помощи *Панели управления*

### 3.3. Геометрические построения базовых элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК

Для геометрических построений базовых элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК предусмотрен целый набор специальных команд, расположенный на *Панели инструментов Геометрические построения* (рис. 6, а). Рассмотрим подробнее работу каждой из этих команд.

#### 3.3.1. Непрерывный ввод объектов

Команда **Непрерывный ввод объектов** позволяет вычерчивать непрерывную последовательность отрезков, дуг и сплайнов (плавных кривых). Начальная точка следующего объекта автоматически устанавливается в конечную точку предыдущего.

Для вызова данной команды необходимо нажать кнопку **Непрерывный ввод объектов** на *Панели инструментов* (рис. 6, а). После этого в *Строке параметров объектов*, кроме собственно полей ввода параметров, появятся несколько дополнительных кнопок построения отрезка (параллельного, перпендикулярного, касательного), дуги (сопряженной и по трем точкам) и кривой (сплайна и NURBS) (рис. 12). Используя их, можно выполнить построение сегментов нужного типа. Например, для построения непрерывной ломаной линии необходимо нажать кнопку **Отрезок** в *Строке параметров объектов* и ввести в соответствующие поля ввода требуемые параметры отрезка.

Для того чтобы закончить непрерывный ввод ломаной линии, достаточно нажать на кнопку **Новый ввод** в *Строке параметров объекта* (рис. 12). Кнопка **Замкнуть** в этой же *Строке параметров* предназначена для замыкания вычерченной последовательности объектов. Она соединяет точку, введенную последней, с начальной точкой последовательности.

#### 3.3.2. Различные способы ввода данных в поля Строки

## параметров объектов

**1. Автоматический ввод параметров.** Введем координаты начальной точки отрезка. Установите курсор в произвольную точку чертежа и щелкните мышью. При этом в полях координат X и Y начальной точки отрезка автоматически будут внесены значения координат указанной точки на чертеже. Символ «галочка» (рис. 3) на кнопке поля сменится на символ «перекрестье» – введенные параметры зафиксированы. В *Строке сообщений* появится новый запрос: «Укажите конечную точку отрезка или введите ее координаты».

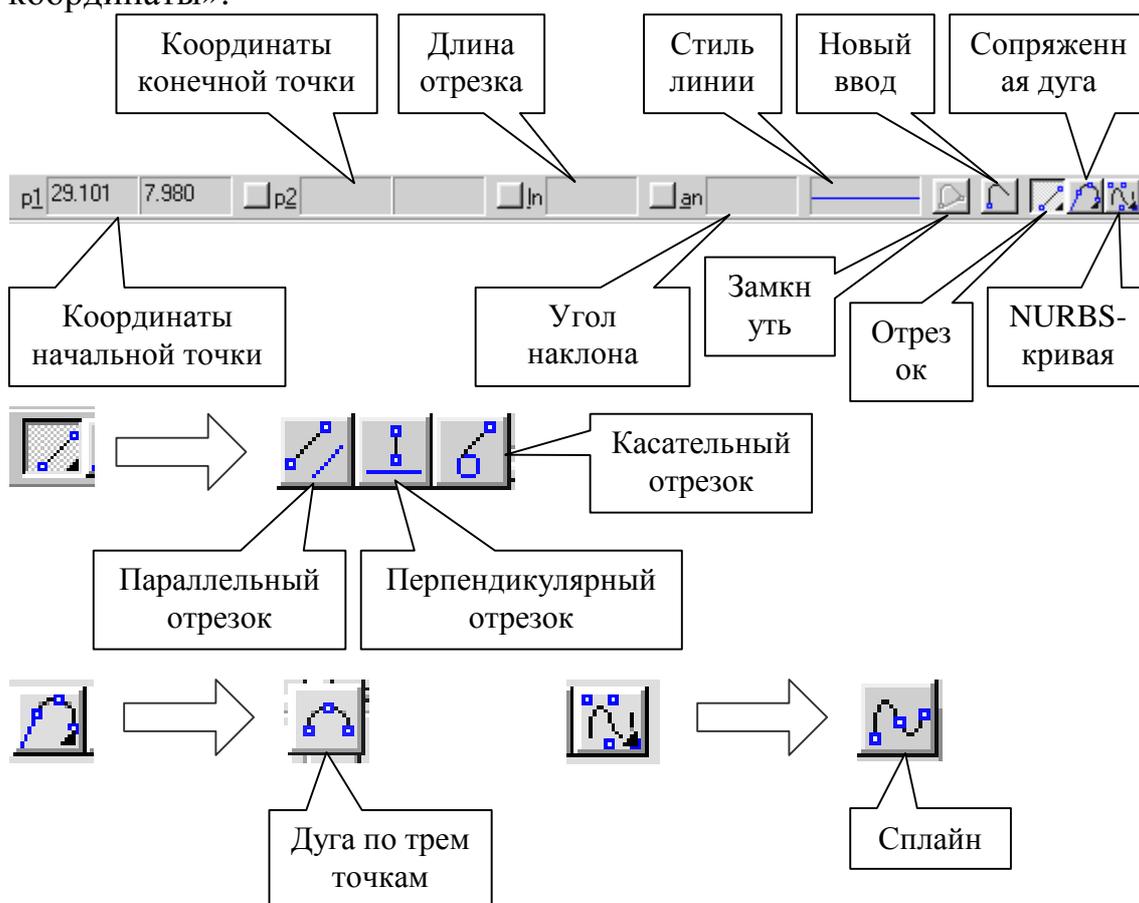


Рис. 12. Строка параметров при непрерывном вводе объекта в КОМПАС-ГРАФИК

**2. Ручной ввод параметров.** Для ручного ввода параметров необходимо активизировать соответствующее поле ввода путем одновременного нажатия комбинации клавиши [Alt] и клавиши, соответствующей подчеркнутому символу в имени поля. Для ручного

ввода координат конечной точки отрезка необходимо нажать комбинацию клавиш [Alt + 2] и ввести значения координаты X с клавиатуры. Далее, нажав на клавишу [Tab], перейдите в поле координаты Y, введите ее значение с клавиатуры и посредством клавиши [Enter] зафиксируйте параметр.

**3. Комбинированный ввод параметров.** При построении геометрических объектов можно свободно комбинировать автоматический и ручной ввод параметров. Например, комбинированный ввод такого параметра, как длина отрезка, производится путем двойного щелчка мыши в соответствующем поле *Строки параметров объектов* и ручного ввода ее значения с клавиатуры.

**4. Ввод параметров с использованием Геометрического калькулятора.** Ввести параметры геометрического объекта можно еще одним способом – непосредственно снимая их значения с других, ранее построенных объектов на чертеже. Для этого используется **Геометрический калькулятор**, который вызывается щелчком *правой* клавиши мыши на соответствующем поле *Строки параметров объектов*. Например, при непрерывном построении второго отрезка ломаной линии, необходимо подвести курсор к полю **Угол наклона**

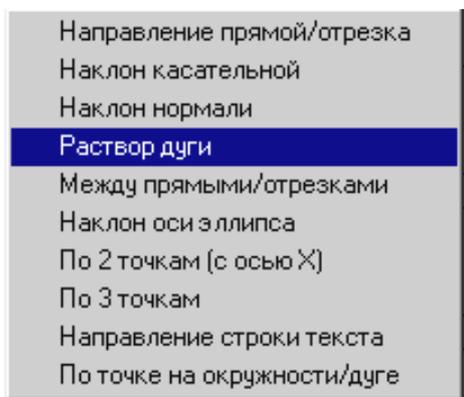


Рис. 13. Контекстное меню геометрического калькулятора

**отрезка** (рис. 12) и нажать на правую кнопку мыши, что приведет к вызову *Контекстное меню Геометрического калькулятора* (рис. 13). Из данного меню выберем команду **Наклон к нормали** и щелкнем мышью по первому отрезку ломаной линии. После этого система автоматически выберет угол  $90^\circ$  и начнет строить второй отрезок ломаной перпендикулярно к первому. Список команд в меню **Геометрического калькулятора** зависит от типа вводимого параметра.

### 3.3.3. Построение точки

Команда **Точка** позволяет начертить в КОМПАС-ГРАФИК одну или несколько точек и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Точки на кривой**; **Точки пересечения двух кривых**; **Все точки пересечений кривой** и **Точка**

на заданном расстоянии (рис. 14). После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) необходимо указать курсором местоположение точки на чертеже или ввести в соответствующее поле *Строки параметров объектов* ее координаты. После этого система автоматически построит точку.

**Замечание.** Завершить выполнение любой команды в системе КОМПАС-ГРАФИК (будь то команды **Геометрические построения**, **Редактирование**, **Размеры...** и т.п.) можно, нажав клавишу [Esc] на клавиатуре или кнопку **Прервать команду** на *Панели спецуправления* (рис. 7).

Команда **Точки на кривой** позволяет равномерно поставить точки на указанном геометрическом объекте (кривой). После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 14) в соответ-

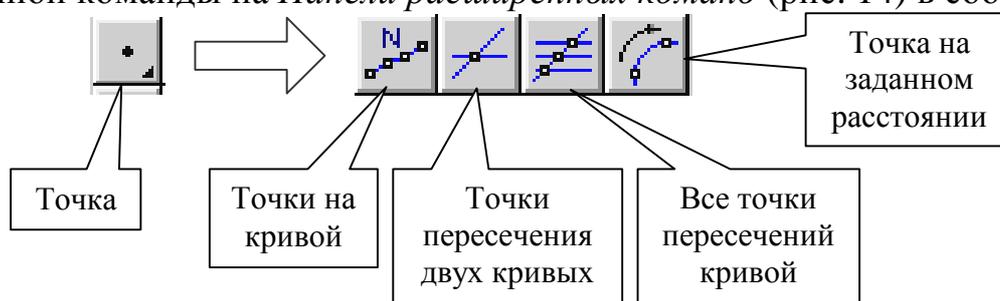


Рис. 14. Панель расширенных команд **Точка**

ствующем поле *Строки параметров объектов* необходимо задать количество участков, на которые точки должны разделить требуемую кривую. Далее в *Окне детали* выделяется кривая, на которой необходимо поставить точки. После этого система автоматически поставит точки на выделенной кривой.

Команда **Точки пересечения двух кривых** позволяет поставить точки в местах пересечений указанных геометрических объектов. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 14) в *Окне детали* необходимо указать первый геометрический объект для поиска пересечений. Затем последовательно указываются другие объекты, которые пересекаются с первым. После этого система автоматически определяет места пересечений и создает в них точки.

**Замечание.** Если необходимо заново указать объекты для поиска пересечений, вызовите команду **Указать заново** из *Контекстного меню* или нажмите одноименную кнопку на *Панели спецуправления* (рис. 7), а затем укажите курсором новые кривые.

Команда **Все точки пересечений кривой** позволяет поставить точки в местах пересечений указанной кривой со всеми кривыми ее типа и текущего вида. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 14) необходимо в *Окне детали* указать геометрический объект для поиска пересечений. После этого система автоматически определит места пересечений и создаст в них точки. При этом все созданные точки будут занесены в текущий вид детали.

Команда **Точка на заданном расстоянии** позволяет построить на указанной кривой точки, находящиеся на заданном расстоянии от базовой точки данной кривой (расстояние измеряется вдоль указанной кривой). После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 14) необходимо ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* численные значения количества точек и расстояние вдоль кривой, которое должно разделять базовую точку и первую из создаваемых точек. Далее в *Окне детали* необходимо выделить кривую, на которой нужно поставить точки, и указать курсором базовую точку на этой кривой, от которой измеряется расстояние, или ввести ее координаты в соответствующее поле *Строки параметров объектов*. Если создается несколько точек, то каждая из них будет располагаться на указанном расстоянии от предыдущей. После этого при перемещении курсора в разные стороны от базовой точки на экране появляются фантомы точек, которые могут быть построены. Выберите направление построения точек, щелкнув курсором с той стороны от базовой точки, с которой требуется создать точки.

#### 3.3.4. Построение отрезка

Команда **Отрезок** позволяет начертить один или несколько произвольных отрезков прямой линии и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Параллельный отрезок**, **Перпендикулярный отрезок**, **Касательный отрезок через внешнюю точку**, **Касательный отрезок через точку кривой** и **Отрезок, касательный к 2-м кривым** (рис. 15). После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты начальной и конечной точек отрезка, а также точную длину отрезка и угол его наклона к горизонтали. После этого система автоматически построит отрезок с заданными параметрами.

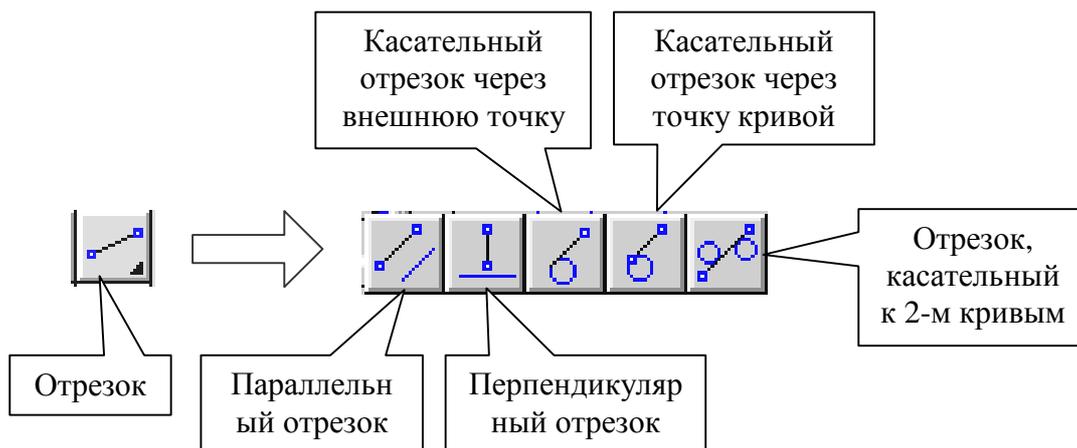


Рис. 15. Панель расширенных команд **Отрезок**

Команда **Параллельный отрезок/Перпендикулярный отрезок** позволяет начертить один или несколько отрезков, параллельных/перпендикулярных другим прямым или отрезкам. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 15) необходимо в *Окне детали* выделить курсором базовую прямую, параллельно/перпендикулярно которой должен пройти отрезок. Далее в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты начальной и конечной точек отрезка, а также при необходимости ввести точное расстояние от базовой прямой до отрезка/точную длину отрезка. После этого система автоматически построит отрезок с заданными параметрами.

Команда **Касательный отрезок через внешнюю точку/Касательный отрезок через точку кривой** позволяет начертить один или несколько отрезков, касательных к какой-либо кривой. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 15) необходимо выделить курсором в *Окне детали* базовую кривую, касательно к которой должен пройти отрезок/указать курсором точку на кривой, через которую должна пройти касательная. Далее в соответствующих полях *Строки параметров объектов* необходимо ввести координаты начальной точки отрезка, а также при необходимости точную длину отрезка и угол его наклона к горизонтали. После этого система автоматически построит отрезок с заданными параметрами.

Команда **Отрезок, касательный к 2-м кривым** позволяет начертить один или несколько отрезков, каждый из которых будет являться касательным к двум кривым. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 15) необходимо выделить

курсором в *Окне детали* сначала первую, а затем вторую кривую, касательно к которым должен пройти отрезок. Далее необходимо зафиксировать одну или несколько касательных, щелкая левой кнопкой мыши на нужном отрезке либо нажимая кнопку **Создать объект** на *Панели спецуправления* (рис. 7). После этого система автоматически построит отрезок с заданными параметрами.

### 3.3.5. Построение вспомогательной прямой

Введем понятие вспомогательной прямой. **Вспомогательная прямая** – это прямая линия бесконечной длины. **Отрезок** – это прямая линия, ограниченная в пространстве двумя точками.

Команда **Вспомогательная прямая** позволяет начертить одну или несколько произвольно ориентированных вспомогательных прямых линий и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Горизонтальная прямая**, **Вертикальная прямая**, **Параллельная прямая**, **Перпендикулярная прямая**, **Касательная прямая через внешнюю точку**, **Касательная прямая через точку кривой**, **Прямая, касательная к 2-м кривым**, **Биссектриса** (рис. 16). После вызова команды **Вспомогательная прямая** на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты начальной и конечной точек прямой, а также угол ее наклона к горизонтали. После этого система автоматически построит вспомогательную прямую с заданными параметрами.

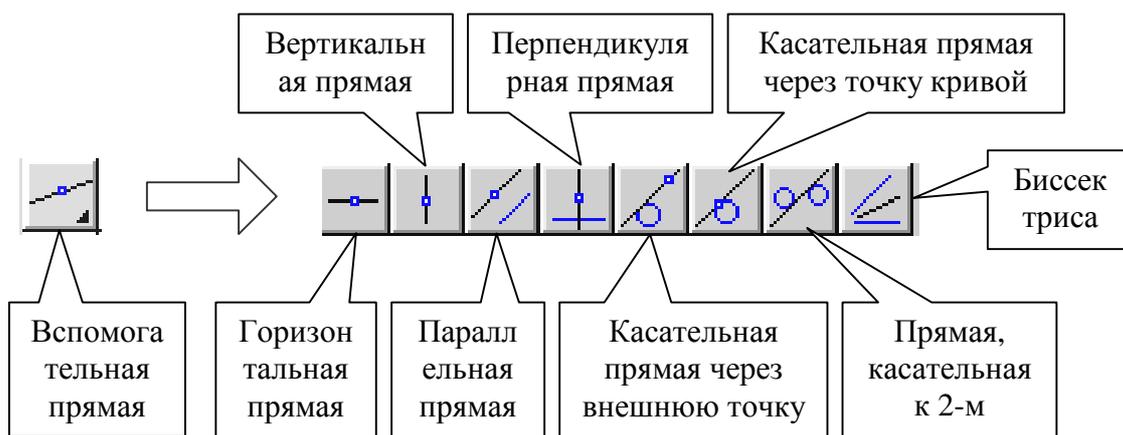


Рис. 16. Панель расширенных команд **Вспомогательная прямая**

Команда **Горизонтальная прямая/Вертикальная прямая** позволяет построить произвольное количество горизонтальных/вертикальных вспомогательных прямых. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 16) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты точки, через которую должна пройти вспомогательная прямая. После этого система автоматически построит вспомогательную прямую с заданными параметрами.

Команда **Параллельная прямая/Перпендикулярная прямая** позволяет начертить одну или несколько вспомогательных прямых, параллельных/перпендикулярных другим прямым или отрезкам. Алгоритм выполнения данных команд аналогичен алгоритму выполнения команд **Параллельный отрезок** и **Перпендикулярный отрезок** с тем лишь отличием, что при построении вспомогательной прямой необходимо указывать координаты только одной базовой точки (а не двух) и параллельная прямая может строиться по одну или по обе стороны от базового элемента.

Команда **Касательная прямая через внешнюю точку/Касательная прямая через точку кривой** позволяет начертить одну или несколько вспомогательных прямых, касательных к какой-либо кривой. Алгоритм выполнения данных команд аналогичен алгоритму выполнения команд **Касательный отрезок через внешнюю точку** и **Касательный отрезок через точку кривой** с тем лишь отличием, что при построении вспомогательной прямой необходимо указывать координаты только одной базовой точки (а не двух) и не указывается ее конечная длина.

Команда **Прямая, касательная к 2-м кривым** позволяет начертить одну или несколько вспомогательных прямых, каждая из которых будет являться касательной к двум кривым. Алгоритм выполнения данной команды полностью идентичен алгоритму выполнения команды **Отрезок, касательный к 2-м кривым**.

Команда **Биссектриса** позволяет построить биссектрису угла, образованного двумя указанными прямыми или отрезками. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 16) в *Окне детали* необходимо выделить курсором сначала первую, а затем вторую прямую или отрезок, образующий угол, биссектрису которого требуется построить. После этого система автоматически построит биссектрису сразу для двух углов, образованных заданными прямыми.

**Замечание.** Если при выполнении команды **Биссектриса** в *Окне детали* были выделены два параллельных друг другу отрезка (или две прямые), система автоматически построит вспомогательную прямую линию, равноудаленную от этих отрезков.

### 3.3.6. Построение окружности

Команда **Окружность по центру и точке** позволяет построить одну или несколько окружностей, зная ее/их центр и радиус, и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Окружность по 3-м точкам**, **Окружность с центром на объекте**, **Окружность, касательная к 1-й кривой**, **Окружность, касательная к 2-м кривым**, **Окружность, касательная к 3-м кривым** и **Окружность по 2-м точкам** (рис. 17). После вызова команды **Окружность по центру и точке** на *Панели инструментов* (рис. 6, а), в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты центра окружности и ее радиус. После этого система автоматически построит окружность с заданными параметрами.

Команда **Окружность по 3-м точкам/Окружность по 2-м точкам**

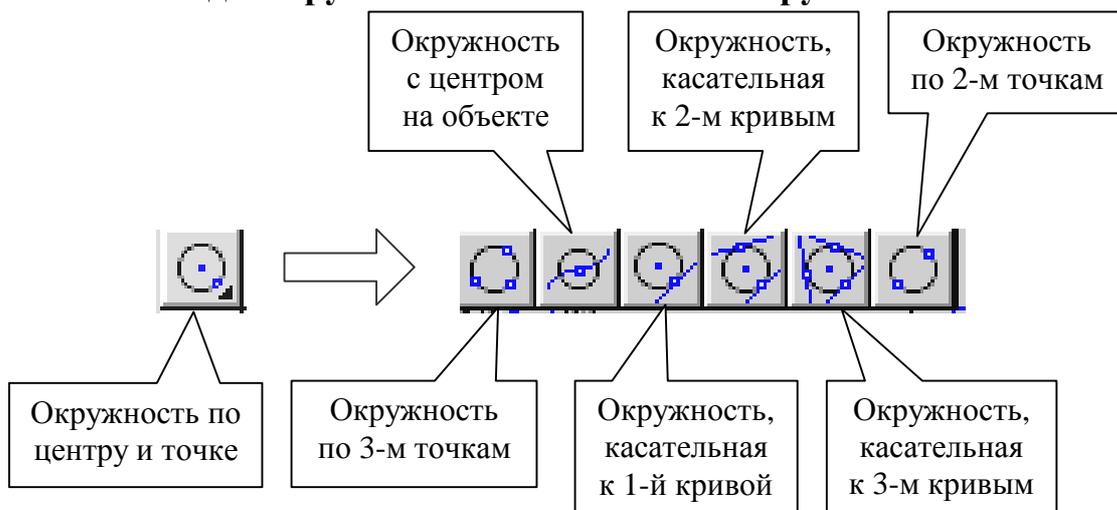


Рис. 17. Панель расширенных команд **Окружность**

**кам** позволяет построить окружность, проходящую через три/две заданные точки. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 17) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов*, координаты трех/двух точек, через которые должна пройти

окружность. После этого система автоматически построит окружность с заданными параметрами.

Команда **Окружность с центром на объекте** позволяет построить окружность, центр которой находится на заданном геометрическом элементе (отрезке, прямой, кривой и т.п.). После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 17) в *Окне детали* необходимо указать курсором элемент, на котором должен лежать центр окружности. Далее необходимо указать курсором точку, через которую должна пройти окружность, либо ввести ее радиус в соответствующее поле *Строки параметров объектов*. После этого система автоматически построит окружность с заданными параметрами.

Команда **Окружность, касательная к 1-й, 2-м, 3-м кривым** позволяет построить окружность, касательную к 1-й, 2-м, 3-м заданным элементам (отрезку, кривой и т.п.). После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 17) в *Окне детали* необходимо последовательно указать курсором элемент, которого должна коснуться окружность, и точку, через которую должна пройти окружность, либо ввести координаты точки или радиус окружности в соответствующих полях *Строки параметров объектов*. При построении окружности, касательной к 2-м или 3-м кривым, в *Окне детали* необходимо дополнительно указать курсором первый, второй и третий элемент, которых должна коснуться окружность. После этого система автоматически построит окружность с заданными параметрами.

### 3.3.7. Построение дуги

Команда **Дуга окружности** позволяет построить одну или несколько дуг окружности и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Дуга по 3-м точкам**, **Дуга, касательная к кривой**, **Дуга по 2-м точкам** и **Дуга по 2-м точкам и углу раствора** (рис. 18). После вызова команды **Дуга окружности** на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов*, координаты центра дуги, ее радиус, начальный и конечный углы дуги (углы между осью X текущей системы координат и радиус-вектором из центра дуги в ее начальную/конечную точку). После этого система автоматически построит дугу с заданными параметрами.

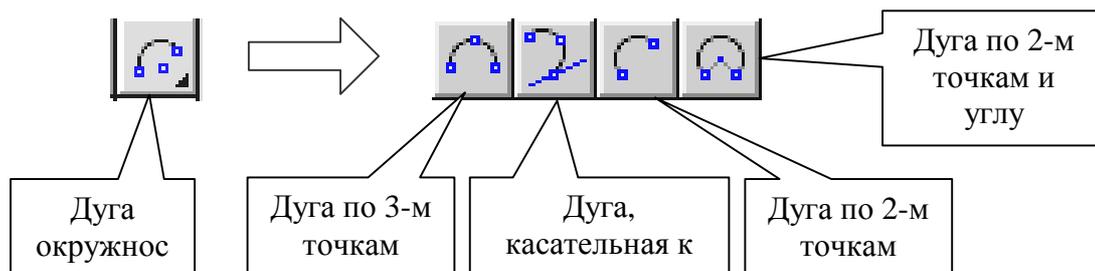


Рис. 18. Панель расширенных команд Дуга

Команда **Дуга по 3-м точкам/Дуга по 2-м точкам** позволяет построить дугу, проходящую через три/две заданные точки. Алгоритм выполнения данных команд идентичен алгоритму выполнения команд **Окружность по 3-м точкам** и **Окружность по 2-м точкам** соответственно.

Команда **Дуга, касательная к кривой** позволяет построить дугу, касательную к заданному элементу (отрезку, кривой и т.п.). Алгоритм выполнения данной команды полностью идентичен алгоритму выполнения команды **Окружность, касательная к кривой**.

Команда **Дуга по 2-м точкам и углу раствора** позволяет построить дугу с заданным углом раствора и проходящую через две указанные точки. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 18) в *Окне модели* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов*, координаты начальной и конечной точек дуги, а также – угол раствора дуги. После этого система автоматически построит дугу с заданными параметрами.

### 3.3.8. Построение эллипса

Команда **Эллипс по центру и полуосям** позволяет построить один или несколько эллипсов и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Эллипс по диагонали прямоугольника**, **Эллипс по центру и вершине прямоугольника**, **Эллипс по центру, середине стороны и вершине параллелограмма**, **Эллипс по трем вершинам параллелограмма**, **Эллипс по центру и 3-м точкам**, **Эллипс, касательный к 2-м кривым** (рис. 19). После вызова команды **Эллипс по центру и полуосям** на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях

*Строки параметров объектов* координаты центра эллипса, конечных точек первой и второй его полуосей, точную длину первой и второй полуосей эллипса, угол наклона первой полуоси. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

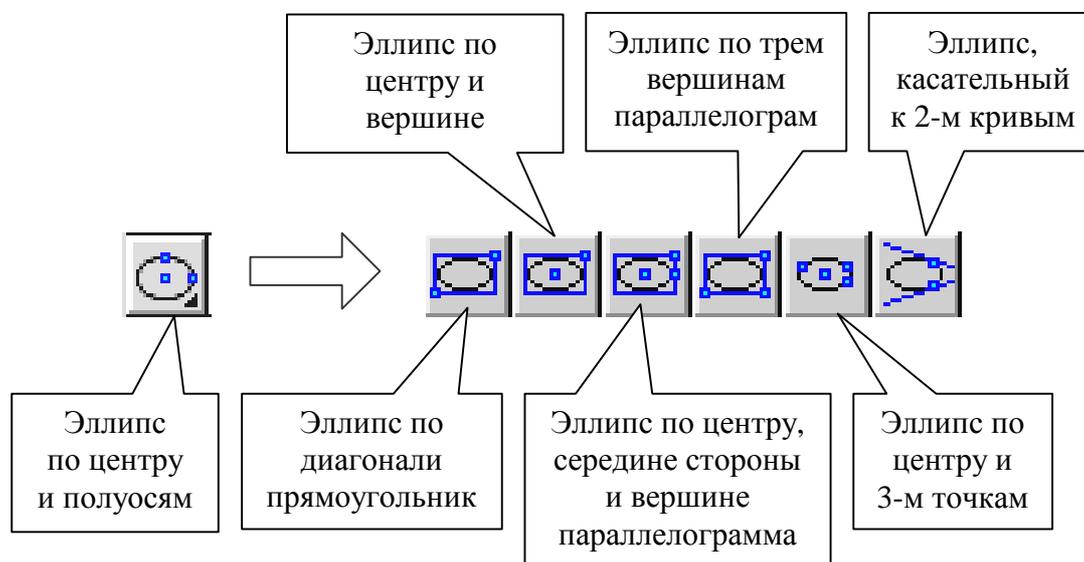


Рис. 19. Панель расширенных команд **Эллипс**

Команда **Эллипс по диагонали прямоугольника** позволяет построить эллипс, вписанный в прямоугольник, задавшись размером его диагонали. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 19) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты начальной и конечной точек диагонали описанного прямоугольника, а также угол наклона первой полуоси эллипса. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

Команда **Эллипс по центру и вершине прямоугольника** позволяет построить эллипс, вписанный в прямоугольник, задавшись положением центра и угловой точки прямоугольника. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 19) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты центра эллипса и конечной точки диагонали описанного прямоугольника, а также угол наклона первой полуоси эллипса. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

Команда **Эллипс по центру, середине стороны и вершине параллелограмма** позволяет построить эллипс, вписанный в параллелограмм, задавшись положением центра, середины стороны и угловой точки параллелограмма. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 19) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты центра эллипса, середины стороны и вершины описанного параллелограмма. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

Команда **Эллипс по 3-м вершинам параллелограмма** позволяет построить эллипс, вписанный в параллелограмм, задавшись положением трех угловых точек параллелограмма. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 19) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты трех вершин параллелограмма. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

Команда **Эллипс по центру и 3-м точкам** позволяет построить эллипс, задавшись положением его центра и трех лежащих на эллипсе точек. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 19) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты центра эллипса и трех точек, лежащих на нем. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

Команда **Эллипс, касательный к 2-м кривым** позволяет построить эллипс, который будет касаться 2-х заданных элементов (отрезков, кривых, дуг и т.п.). После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 19) в *Окне детали* необходимо последовательно указать курсором расположение ключевых точек, в которых эллипс должен касаться первого и второго элементов. Далее необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты еще одной точки, принадлежащей эллипсу. После этого система автоматически построит эллипс с заданными параметрами.

### 3.3.9. Построение кривой

Команда **Кривая Безье** позволяет построить одну или несколько кривых Безье. В КОМПАС-ГРАФИК под **кривой Безье** понимается кривая, состоящая из гладко состыкованных полиномов

четвертого порядка, каждый из которых построен по четырем опорным точкам. Крайние из этих четырех точек задаются пользователем, а средние автоматически вычисляются системой, исходя из условия непрерывности производной кривой, и лежат на векторе производной. Пользователь может отредактировать положение любой опорной точки. Команда **Кривая Безье** включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Ломаная линия**, **NURBS-кривая** (рис. 20). После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо последовательно указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты  $n$ -го количества точек кривой. После этого система автоматически построит кривую Безье с заданными параметрами.

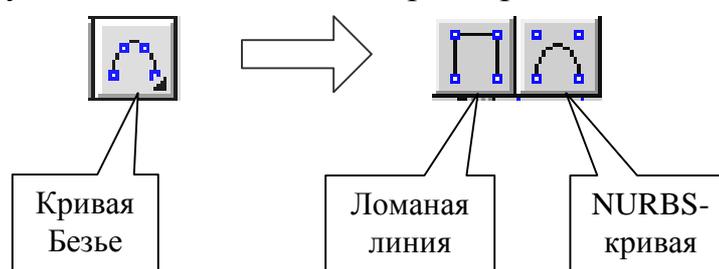


Рис. 20. Панель расширенных команд **Кривая Безье**

Команда **Ломаная линия** позволяет построить непрерывную ломаную линию, состоящую из отрезков прямых. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 20) в *Окне детали* необходимо последовательно указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты  $n$ -го количества вершин ломаной линии. После этого система автоматически построит непрерывную ломаную линию с заданными параметрами.

Команда **NURBS-кривая** позволяет построить кривую NURBS. **NURBS-кривая** – кривая В-сплайн, состоящая из гладко состыкованных полиномов заданного порядка. Конфигурация этой кривой определяется положением и весом ее опорных точек. **Вес точки** – коэффициент, определяющий влияние опорной точки кривой NURBS на конфигурацию этой кривой. Геометрический смысл этого коэффициента следующий: чем больше вес точки, тем ближе к ней расположена кривая. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 20) в *Окне детали* необходимо

последовательно указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты n-го количества точек кривой, вес точек и порядок кривой. После этого система автоматически построит кривую NURBS с заданными параметрами.

### 3.3.10. Построение фасок

Команда **Фаска** позволяет построить одну или несколько фасок между пересекающимися геометрическими элементами и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из одной единственной команды – **Фаска на углах объекта** (рис. 21). После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо последовательно указать курсором два геометрических элемента, между которыми необходимо построить фаску. После этого система автоматически построит фаску с заданными параметрами.

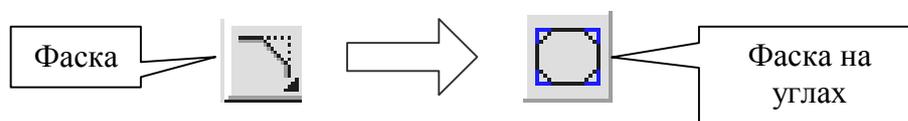


Рис. 21. Панель расширенных команд **Фаска**

Возможны два варианта задания параметров для построения фаски. В первом случае необходимо ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* длину фаски на первом элементе и ее угол (рис. 22, а). Во втором случае задаются численные значения длин фаски на первом и втором элементах (рис. 22, б). Для переключения на нужный вариант необходимо вызвать команду **Длина+угол** из *Контекстного меню* или нажать кнопку **Задание параметров фаски** в *Строке параметров объектов* (рис. 22, а). При переключении режима построения фаски внешний вид кнопки **Задание параметров фаски** изменяется, а рядом с командой **Длина+угол** в *Контекстном меню* появляется значок «галочки». Кроме вышерассмотренных кнопок в *Строке параметров* команды **Фаска** отображаются также две дополнительные кнопки **Усечь первый элемент** и **Усечь второй элемент**, с помощью которых можно управлять способом построения фаски (рис. 22, а). Данные кнопки определяют, нужно ли выполнять усечение остающихся частей первого и второго элемента при построении фаски. Данным кнопкам соответствуют одноименные команды *Контекстного меню*. При переключении внешний вид этих кнопок изменяется (рис. 22, б).

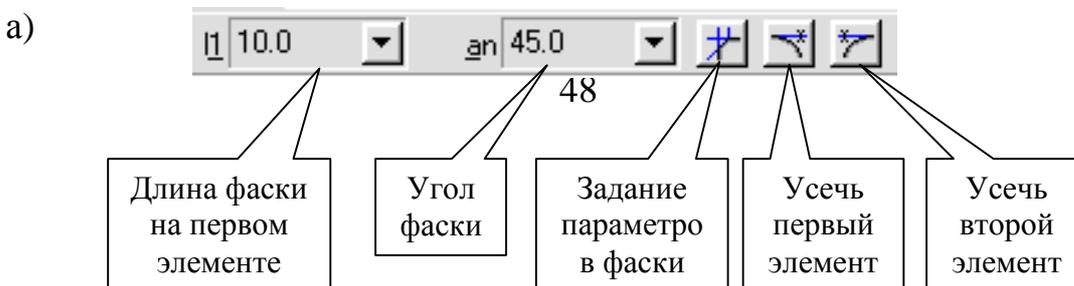




Рис. 22. Строка параметров команды **Фаска**

Команда **Фаска на углах объекта** позволяет построить фаски на углах ломаной линии, прямоугольника и многоугольника, построенных при помощи соответствующих команд. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 21) в *Окне детали* необходимо указать курсором угол контура, многоугольника или ломаной линии, на котором необходимо построить фаску. Первым элементом для построения фаски будет считаться ближайший к указанной точке сегмент. Для данной команды, как и для команды **Факса**, также возможны вышеописанные два варианта задания параметров для построения фаски. В *Строке параметров* команды **Фаска на углах объекта** отображается кнопка **Обработка углов контура**, а в *Контекстном меню* – команда **Все углы контура**, с помощью которой можно задавать одновременное построение фасок на всех углах контура или на одном угле (рис. 23, а, б). При переключении кнопки **Обработка углов контура** ее внешний вид изменяется, а рядом с командой **Все углы контура Контекстного меню** появляется значок «галочка».

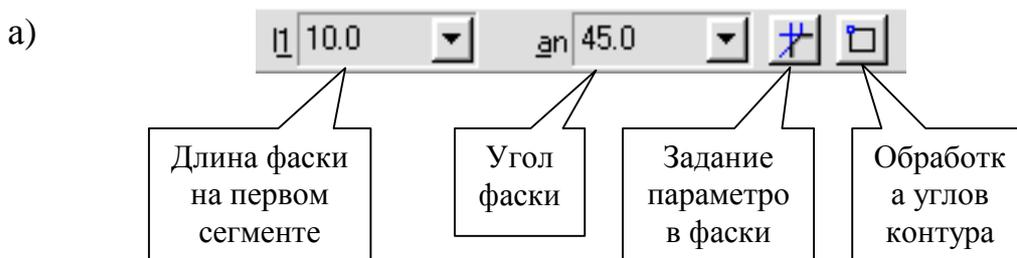




Рис. 23. Строка параметров команды **Фаска на углах объекта**

### 3.3.11. Построение скруглений

Команда **Скругление** позволяет построить скругление дугой окружности между двумя геометрическими примитивами и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из одной единственной команды – **Скругление на углах объекта** (рис. 24). После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо последовательно указать курсором два элемента, между которыми необходимо построить скругление, и ввести в соответствующем поле *Строки параметров объектов* значение радиуса скругления. После этого система автоматически построит скругление с заданными параметрами.

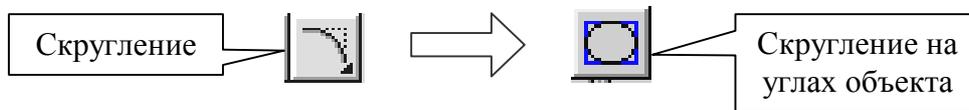


Рис. 24. Панель расширенных команд **Скругление**

В *Строке параметров* команды **Скругление**, также как и для фаски, отображаются две кнопки **Усечь первый элемент** и **Усечь второй элемент**, с помощью которых можно управлять способом построения скругления (рис. 25, а).

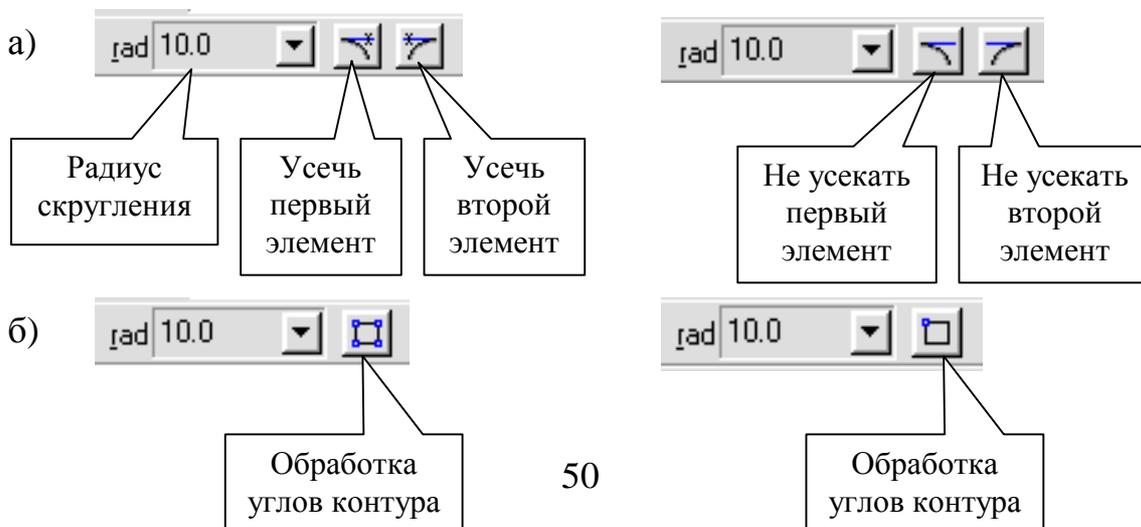


Рис. 25. Строка параметров команды **Скругление** (а) и **Скругление по углам объекта** (б)

Команда **Скругление на углах объекта** позволяет построить скругление дугой окружности на углах ломаной линии или многоугольника, построенных при помощи соответствующих команд. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 24) в *Окне детали* необходимо указать курсором угол контура, многоугольника или ломаной линии, на котором необходимо построить скругление. Необходимое значение радиуса скругления можно ввести в соответствующем поле *Строки параметров объектов* (рис. 25, б). В *Строке параметров* команды **Скругление на углах объекта** отображается одна кнопка **Обработка углов контура**, а в *Контекстном меню* – команда **Все углы контура**, с помощью которой можно задать одновременное построение скруглений на всех углах контура или на одном угле (рис. 25, б).

### 3.3.12. Построение прямоугольника

Команда **Прямоугольник по диагонали** позволяет построить один или несколько прямоугольников, задавшись положением начальной и конечной точек его диагонали, и включает в себя *Панель расширенных команд*, состоящую из следующих команд: **Прямоугольник по центру и вершине**, **Правильный многоугольник** (рис. 26). После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты начальной и конечной точек диагонали прямоугольника, а также точное значение его высоты и ширины. После этого система автоматически построит прямоугольник с заданными параметрами.



Рис. 26. Панель расширенных команд **Прямоугольник по диагонали**

Команда **Прямоугольник по центру и вершине** позволяет построить прямоугольник, задавшись положением его центра и угловой точки. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 26) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты центра и угловой точки прямоугольника, а также точное значение его высоты и ширины. После этого система автоматически построит прямоугольник с заданными параметрами.

Команда **Правильный многоугольник** позволяет построить один или несколько правильных многоугольников по вписанной или описанной окружностям. После вызова данной команды на *Панели расширенных команд* (рис. 26) в *Окне детали* необходимо указать курсором или ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты центра базовой окружности и точки на этой окружности, количество вершин многоугольника, значение радиуса окружности и угла наклона многоугольника. После этого система автоматически построит многоугольник с заданными параметрами.

Для переключения режима построения прямоугольника (по вписанной или описанной окружности) используется команда **По вписанной окружности** из *Контекстного меню* или кнопка **Способ построения** в *Строке параметров* команды **Прямоугольник** (рис. 27). Для отрисовки осей прямоугольника или многоугольника используется команда **Отрисовать оси** из *Контекстном меню* или кнопка **Отрисовка осей** в *Строке параметров* (рис. 27). Следует отметить, что построенный при помощи трех вышеописанных команд прямоугольник или многоугольник представляет собой единый объект и его можно выделять, редактировать и удалять только целиком.

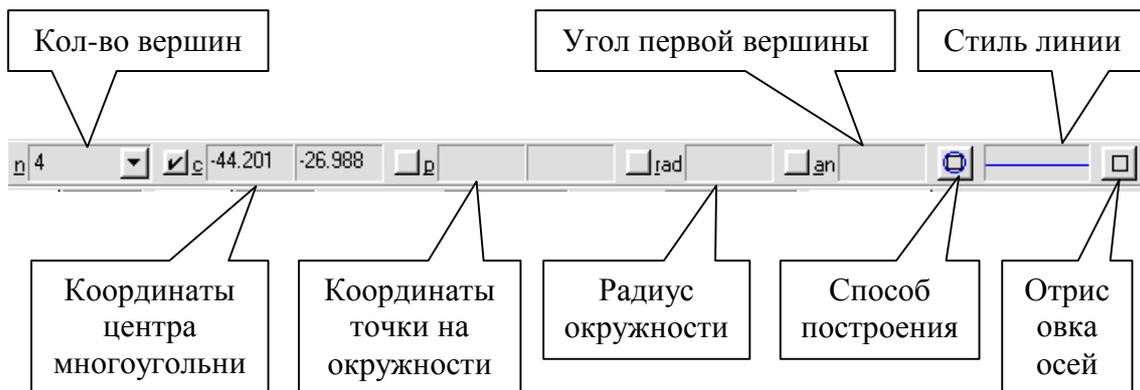


Рис. 27. Строка параметров команды **Прямоугольник**

### 3.3.13. Построение штриховки

Команда **Штриховка** позволяет заштриховать одну или несколько замкнутых областей в текущем виде чертежа или фрагмента КОМПАС-ГРАФИК. После вызова данной команды на *Панели инструментов* (рис. 6, а) в *Окне детали* необходимо указать курсором точку внутри области, которую требуется заштриховать, и ввести в соответствующих полях *Строки параметров объектов* координаты базовой точки штриховки, точное значение шага и угла наклона штриховки. В *Строке параметров* можно также задать текущий цвет и стиль штриховки. После этого система автоматически построит штриховку с заданными параметрами.

После вызова команды **Штриховка** на *Панели спецуправления* отображается ряд кнопок (рис. 7, в), при помощи которых можно задавать обрисовку границ области штриховки различными способами: обход границы по стрелке, ручное рисование границ [5, 9–11].

## Лабораторная работа № 1

### ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ КОМПАС-ГРАФИК

*Цель работы* – закрепить основные приемы геометрических построений базовых элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК.

#### 1. Задание

Используя инженерно-графические возможности КОМПАС-ГРАФИК, создайте в данной системе два технических рисунка по аналогии с рис. 28 и 29.

#### 2. Порядок выполнения работы

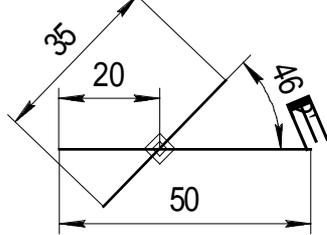
- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 1).
- Используя соответствующие команды *Панели инструментов Геометрические построения*, постройте в новом фрагменте в масштабе 1:1 набор геометрических фигур, приведенных на рис. 28. *Примечание.* Пояснительные надписи, изображенные над каждой из геометрических фигур (см. рис. 28), обозначают последовательность команд, которые необходимо использовать при построении того или иного объекта.
- Используя соответствующие команды *Панели инструментов Размеры и технологические обозначения*, нанесите на всех геометрических объектах данного фрагмента соответствующие размеры и выполните соответствующие пояснительные надписи (см. рис. 28).
- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 2).
- Используя соответствующие команды *Панели инструментов Геометрические построения* и *Размеры и технологические обозначения*, постройте в новом фрагменте по аналогии с рис. 29 в масштабе 1:1 набор геометрических фигур с размерами и пояснительными надписями.

#### 3. Содержание отчета

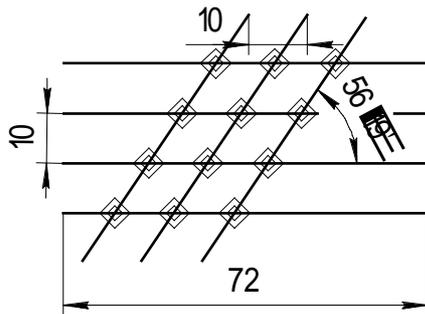
В качестве отчета по лабораторной работе студентам необходимо представить электронный вариант эскизов № 1 и 2 на ПЭВМ, выполненных по аналогии с рис. 28 и 29. Преподавателем оценивается объем и правильность выполнения лабораторной работы.



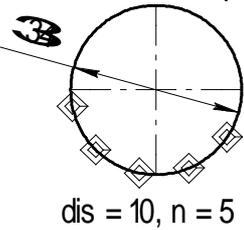
Ввод от резка и т очки пересечения двух кривых



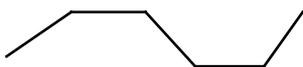
Параллельный отрезок и все т очки пересечения кривой



Окружность по центру и радиусу, т очка на заданном расст оянии



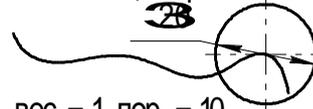
Непрерывный ввод от резка, ввод ломаной



Непрерывный ввод сплайна, ввод кривой Безье

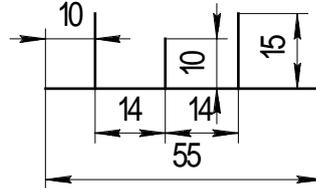


Ввод NURBS- кривой, окружность с цент ром на объекте

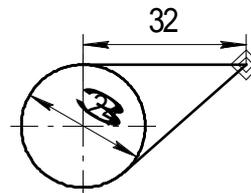


вес = 1, пор. = 10, кол- во т очек 10.

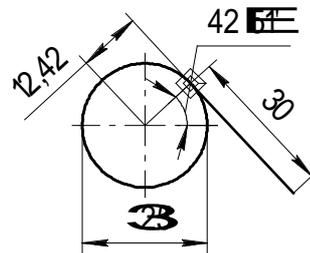
Перпендикулярный отрезок



Окружность по 3- м т очкам, касат ельный отрезок через внешнюю т очку



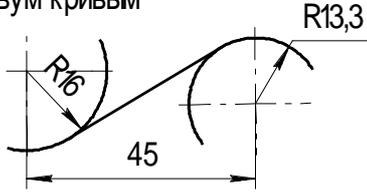
Окружность по 2- м т очкам, касат ельный отрезок через т очку кривой



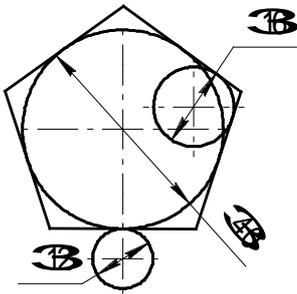
In = 30, an = 313°

Рис. 28. Технический рисунок № 1

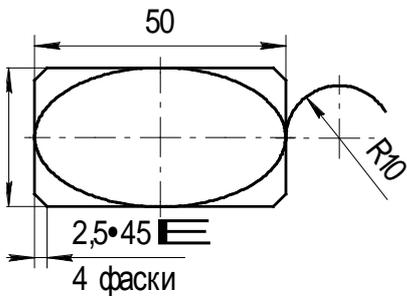
Дуга окружностей и дуга по 3-м точкам, отрезок, касательный к двум кривым



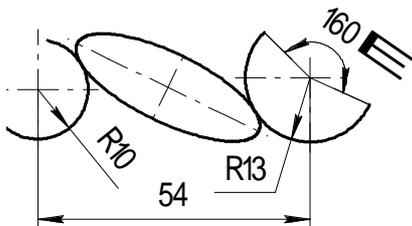
Ввод многоугольника, окружность, касательная к 1-й, 2-й и 3-й кривым



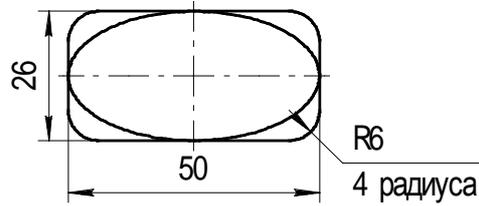
Прямоугольник по диагонали, эллипс по диагонали прямоугольника, дуга, касательная к кривой, фаска на углах объекта



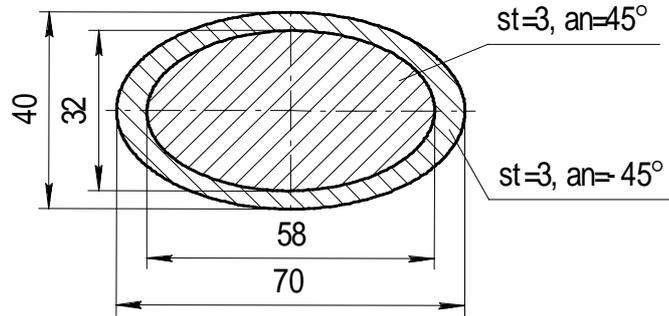
Дуга по 2-м точкам, дуга по 2-м точкам и углу раствора, эллипс, касательный к 2-м кривым



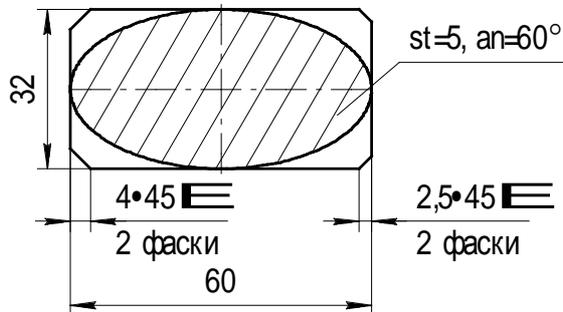
Прямоугольник по центру и вершине, скругление на углах объекта, эллипс по центру и вершине прямоугольника



Эллипс по центру и полуосям, эллипс по центру и 3-м точкам, штриховка



Прямоугольник по диагонали, эллипс по 3-м вершинам параллелограмма, фаска, штриховка



Прямоугольник по диагонали, эллипс по центру, середине стороны и вершине параллелограмма, скругление, штриховка

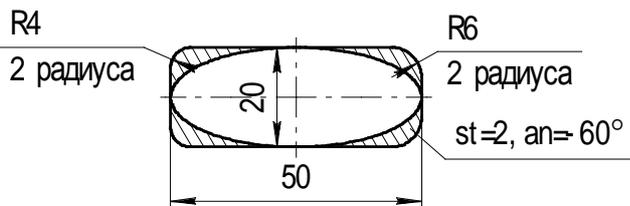


Рис. 29. Технический рисунок № 2

## Лабораторная работа № 2

### ВЫДЕЛЕНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ФИГУР И СОСТАВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЧЕРТЕЖАХ КОМПАС-ГРАФИК

*Цель работы* – закрепить основные приемы выделения и редактирования геометрических элементов и составных объектов в системе КОМПАС-ГРАФИК.

#### 1. Задание

Используя инженерно-графические возможности КОМПАС-ГРАФИК, создайте в данной системе пять технических рисунков по аналогии с рис. 30–34.

#### 2. Порядок выполнения работы

- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 1). В левом верхнем углу фрагмента выполните чертеж плоской фигуры в масштабе 1:1, представленной на рис. 30, а. Выделите любым известным Вам способом данную фигуру (без размеров) и объедините ее в макроэлемент. Далее скопируйте при помощи мыши или буфера обмена вышеначерченную фигуру и поместите ее справа относительно оригинала. После этого, используя команду **Сдвиг** на *Панели инструментов Редактирование*, переместите (сдвиньте) данную фигуру по оси X на 15,15 мм, а по оси Y – на 7,71 мм с сохранением исходного объекта (рис. 30, б). За базовую точку сдвига принять центр окружности диаметром 20 мм. Сделайте надпись «Сдвиг» над отредактированной фигурой.
- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру, представленную на рис. 30, а (без размеров) и поместите ее справа относительно рис. 30, б. Далее разрушите скопированную фигуру на отдельные элементы и выделите при помощи мыши окружность диаметром 20 мм. После этого, используя команду **Сдвиг по углу и расстоянию** на *Панели инструментов Редактирование*, переместите (сдвиньте) данную окружность на расстояние 17 мм и угол  $333^\circ$  без сохранения исходного объекта (рис. 30, в). Сделайте надпись «Сдвиг по углу и расстоянию» над отредактированной фигурой.

- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 2). В левом верхнем углу фрагмента выполните чертеж плоской фигуры в масштабе 1:1, представленной на рис. 31, а. Выделите любым известным Вам способом данную фигуру (без размеров) и объедините-

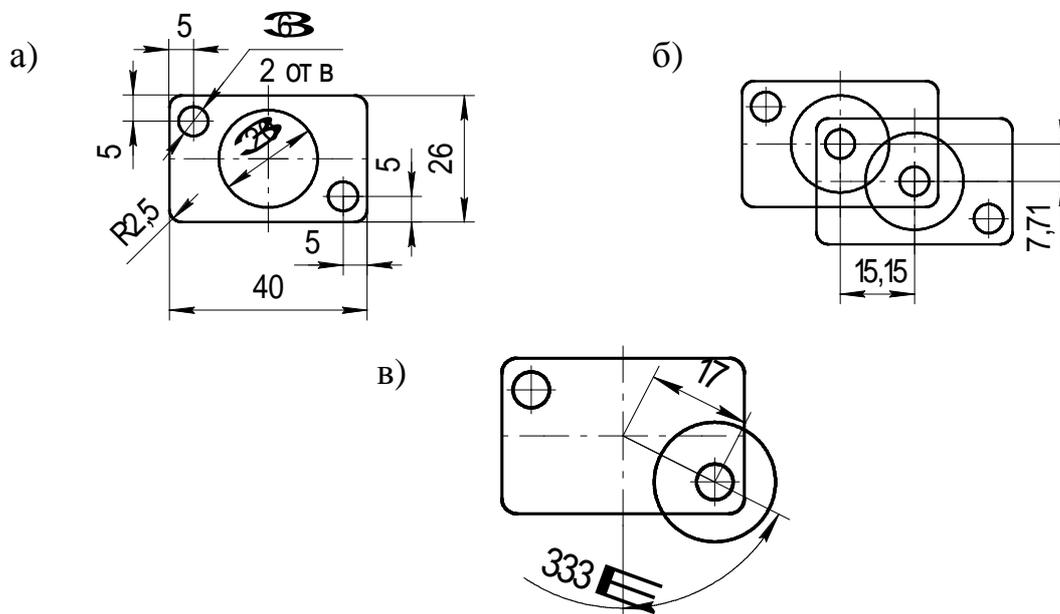


Рис. 30. Технический рисунок № 1: а) исходный объект; б) редактирование при помощи команды **Сдвиг**; в) редактирование при помощи команды **Сдвиг по углу и расстоянию**

ните ее в макроэлемент. Далее скопируйте при помощи мыши или буфера обмена выше начерченную фигуру и поместите ее справа относительно оригинала. После этого, используя команду **Поворот** на *Панели инструментов Редактирование*, поверните данную фигуру на угол  $-90^\circ$  относительно центра пересечения осей симметрии фигуры без сохранения исходного объекта (рис. 31, б). Сделайте надпись «Поворот» над отредактированной фигурой.

- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру, представленную на рис. 31, а, и поместите ее справа относительно рис. 31, б. Используя команду **Выделить рамкой** из меню **Выделить**, выделите данную фигуру целиком (вместе с размерами) и объедините ее в макроэлемент. После этого, используя команду **Масштабирование** на *Панели инструментов Редактирование*, увеличьте масштаб данной фигуры в 2 раза относительно центра

пересечения осей симметрии фигуры без сохранения исходного объекта, но с обязательным масштабированием выносных линий (рис. 31, в). Обратите внимание на увеличение в 2 раза численных значений размеров масштабируемой фигуры. Сделайте надпись «Масштабирование» над отредактированной фигурой.

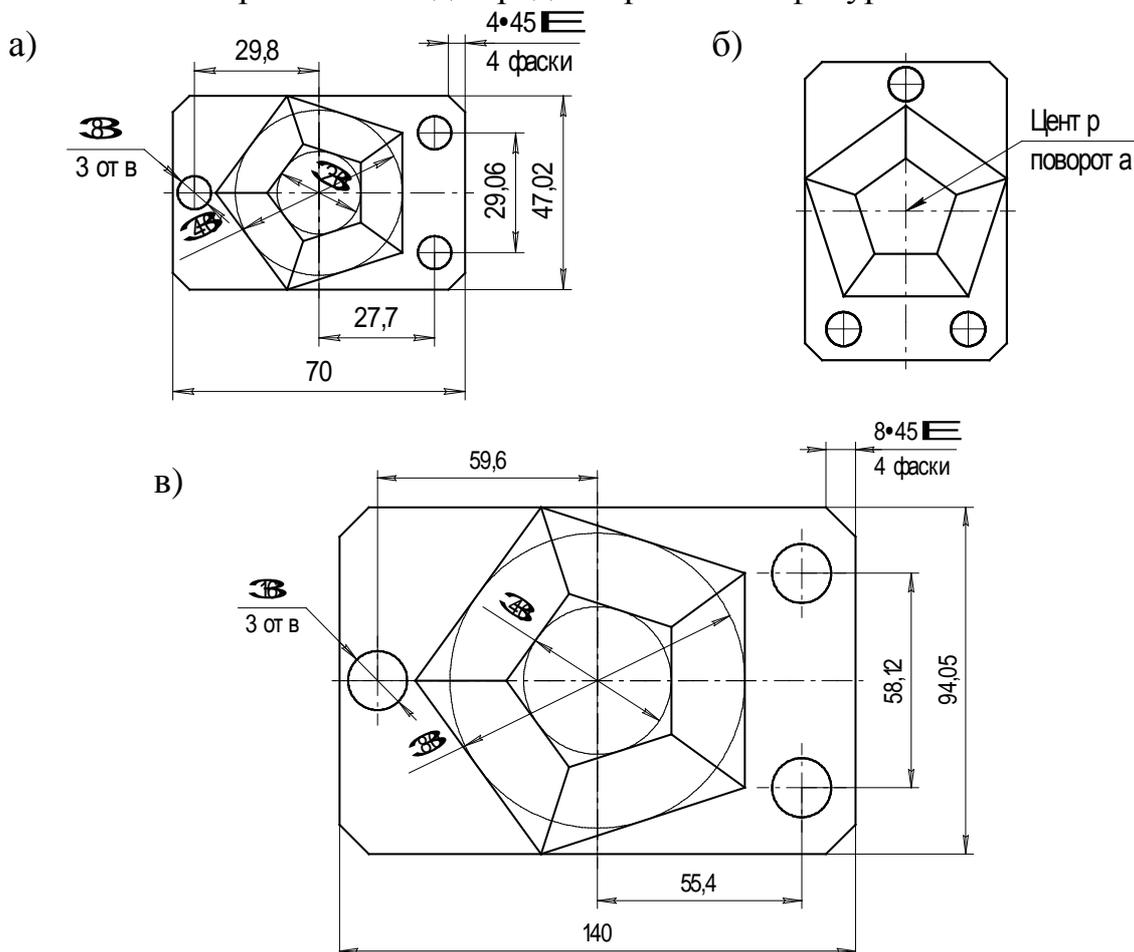


Рис. 31. Технический рисунок № 2: а) исходный объект; б) редактирование при помощи команды **Поворот**; в) редактирование при помощи команды **Масштабирование**

- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 3). В левом верхнем углу фрагмента выполните чертеж плоской фигуры в масштабе 1:1, представленной на рис. 32, а. Используя команду **Выделить секущей ломаной** из меню **Выделить**, выделите данную фигуру (без размеров) и объедините ее в макроэлемент. Далее скопируйте при помощи мыши или буфера обмена вышеначерченную фигуру и поместите ее справа

относительно оригинала. После этого, используя команду **Симметрия** на *Панели инструментов Редактирование*, выполните зеркальное отображение данной фигуры относительно ее оси симметрии с сохранением исходного объекта (рис. 32, б). Сделайте надпись «Симметрия» над отредактированной фигурой.

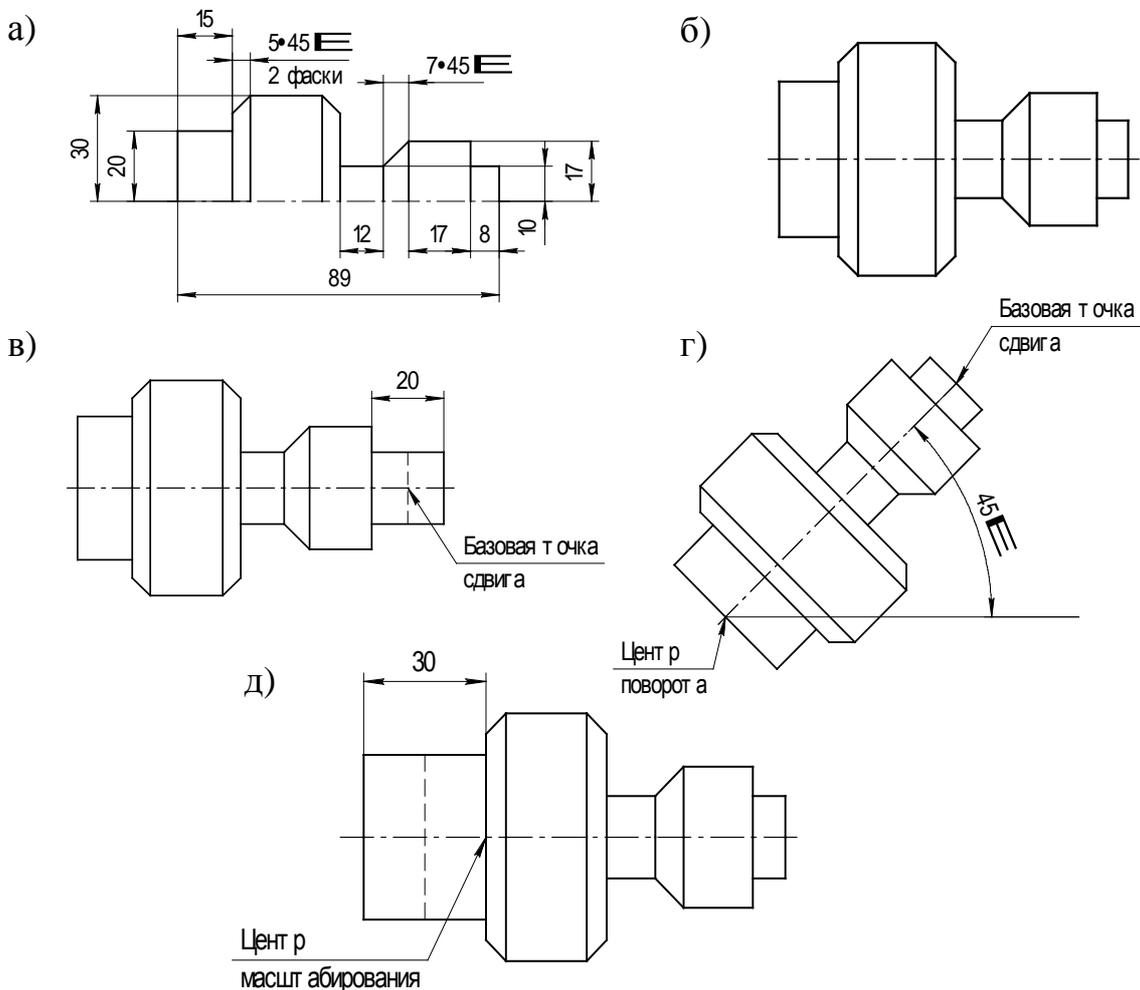


Рис. 32. Технический рисунок № 3: а) исходный объект; б) редактирование при помощи команды **Симметрия**; в) редактирование при помощи команды **Деформация сдвигом**; г) редактирование при помощи команды **Деформация поворотом**; д) редактирование при помощи команды **Деформация масштабированием**

- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру, представленную на рис. 32, б, и поместите ее справа относительно данного рисунка. После этого, используя команду **Деформация сдвигом** на *Панели инструментов Редактирование*, удлините крайнюю справа консоль вала на 12 мм в горизонтальном

направлении (рис. 32, в). За базовую точку сдвига принять точку пересечения оси симметрии с крайней правой консолью вала (см. рис. 32, в). Сделайте надпись «Деформация сдвигом» над отредактированной фигурой.

- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру, представленную на рис. 32, б, и поместите ее справа относительно рис. 32, в. После этого, используя команду **Деформация поворотом** на *Панели инструментов Редактирование*, поверните данную фигуру целиком на угол  $45^\circ$  относительно горизонтали (рис. 32, г). За центр поворота и базовую точку сдвига принять крайние точки оси симметрии вала (см. рис. 32, г). Сделайте надпись «Деформация поворотом» над отредактированной фигурой.
- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру, представленную на рис. 32, б, и поместите ее справа относительно рис. 32, г. После этого, используя команду **Деформация масштабированием** на *Панели инструментов Редактирование*, увеличьте в 2 раза длину крайней левой консоли вала (рис. 32, д). Для этого после запуска соответствующей команды редактирования необходимо выделить данную консоль вала и задать коэффициент ее масштабирования по оси X равным 2, а по оси Y – 1. За центр масштабирования необходимо принять точку пересечения оси симметрии с крайней левой консолью вала (см. рис. 32, д). Сделайте надпись «Деформация масштабированием» над отредактированной фигурой.
- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 4). В левом верхнем углу фрагмента выполните чертеж плоской фигуры в масштабе 1:1, представленной на рис. 33, а. Далее скопируйте при помощи мыши или буфера обмена вышеначерченную фигуру и поместите ее справа относительно оригинала. Используя команду **Выделить объект** из меню **Выделить**, выделите на данной фигуре окружность диаметром 10 мм, а также ее оси симметрии, и объедините их в макроэлемент. После этого, используя команду **Копирование** на *Панели инструментов Редактирование*, скопируйте данную окружность вдоль оси X на 60 мм, а вдоль оси Y – на 0 мм (рис. 33, б). При этом угол поворота копируемого элемента необходимо задать равным  $0^\circ$ , а коэффициент масштабирования – равным 1. За

базовую точку копирования необходимо принять точку пересечения осей симметрии круга (см. рис. 33, б). Аналогичным образом выполните копирование данной окружности: 1) вдоль оси Y на 40 мм, а вдоль оси X – на 0 мм. Угол поворота копируемого элемента принять равным  $0^\circ$ , а коэффициент масштабирования – 1; 2) вдоль оси Y на 40 мм, а вдоль оси X – на 60 мм. Угол поворота копируемого элемента принять равным  $0^\circ$ , а коэффициент масштабирования – 1. После этого, используя команду **Усечь кривую** на *Панели инструментов Редактирование*, обрежьте острые углы прямоугольника, предварительно разрушив его на отдельные элементы (см. рис. 33, б). Сделайте надпись «Копирование» над отредактированной фигурой.

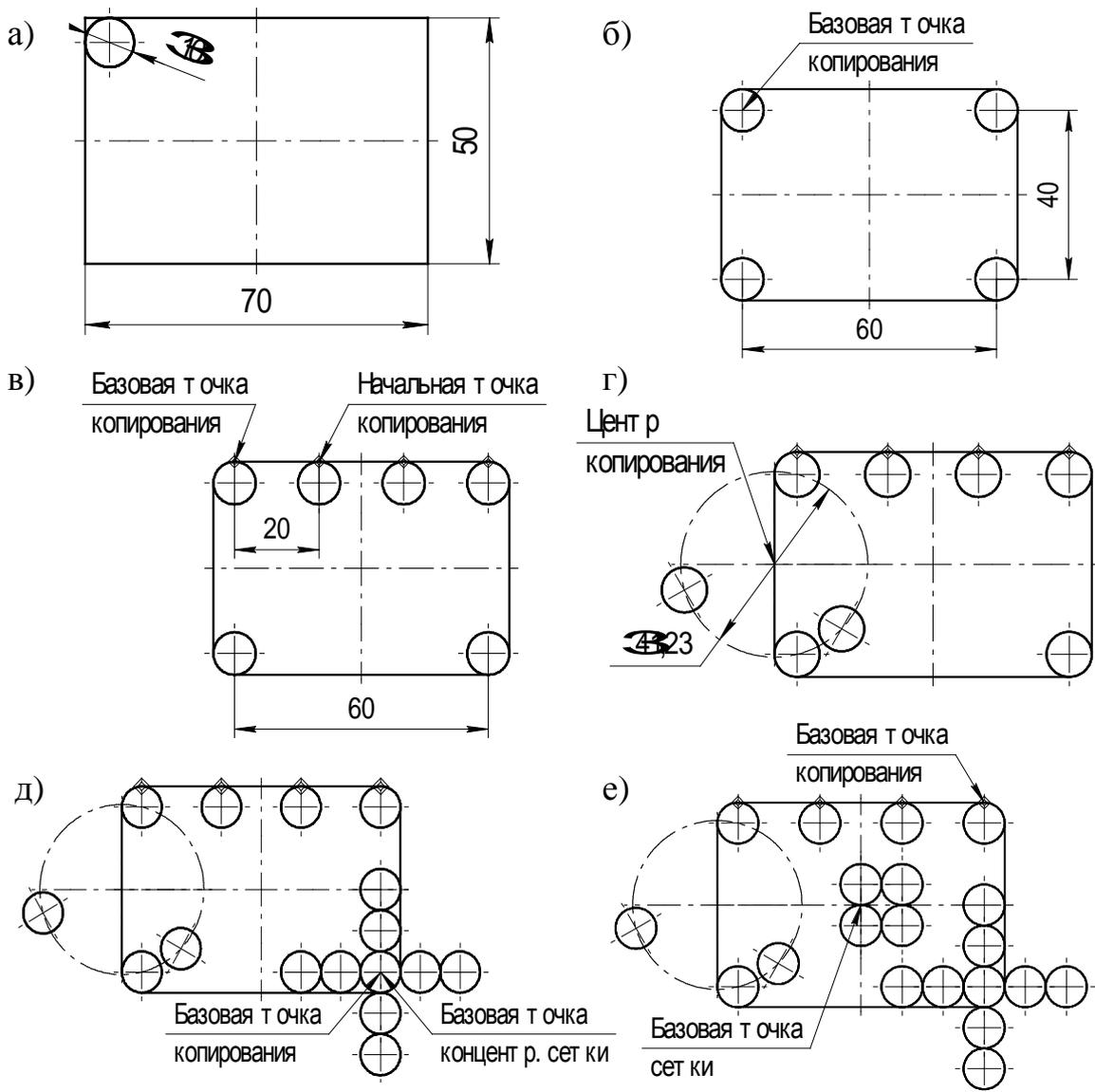


Рис. 33. Технический рисунок № 4: а) исходный объект; б) редактирование при помощи команд **Копирование, Усечь кривую ...**; в) редактирование при помощи команды **Копия вдоль кривой**; г) редактирование при помощи команды **Копия по окружности**; д) редактирование при помощи команды **Копия по концент-**

**рической сетке**; е) редактирование при помощи команды **Копия по сетке**

- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру (без размеров и выносных надписей), представленную на рис. 33, б, и поместите ее справа относительно данного рисунка. После этого, используя команду **Копия вдоль кривой** на *Панели инструментов Редактирование*, выполните копирование левой верхней окружности вдоль горизонтальной направляющей прямоугольника в количестве 2 штук с шагом между копиями вдоль кривой  $st = 20$  мм (рис. 33, в). При этом копии окружности доворачивать до нормали не следует, а копирование необходимо проводить в положительном направлении. За базовую точку копирования необходимо принять точку касания окружности с горизонтальной направляющей прямоугольника (см. рис. 33, в). Начальную точку копирования следует расположить вдоль вышеупомянутой кривой (предварительно разбив ее на три равные части при помощи команды **Точки на кривой** на *Панели инструментов Геометрические построения*) на расстоянии 20 мм от базовой точки копирования (см. рис. 33, в). Сделайте надпись «Копия вдоль кривой» над отредактированной фигурой.
- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру (без размеров и выносных надписей), представленную на рис. 33, в, и поместите ее справа относительно данного рисунка. После этого, используя команду **Копия по окружности** на *Панели инструментов Редактирование*, выполните копирование левой верхней окружности диаметром 10 мм вдоль воображаемого круга диаметром 41,23 мм (рис. 33, г). При этом копирование необходимо произвести равномерно вдоль воображаемой окружности в количестве 3 штук. За центр копирования следует принять точку пересечения горизонтальной оси симметрии прямоугольника с его левой вертикальной образующей (см. рис. 33, г). Сделайте надпись «Копия по окружности» над отредактированной фигурой.

- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру (без размеров и выносных надписей), представленную на рис. 33, г, и поместите ее справа относительно данного рисунка. После этого, используя команду **Копия по концентрической сетке** на *Панели инструментов Редактирование*, выполните копирование нижней правой окружности диаметром 10 мм по концентрической сетке со следующими параметрами: 1) начальный радиус сетки в радиальном направлении 10 мм; 2) шаг копирования в радиальном направлении 10 мм; 3) количество копий в радиальном направлении 2; 4) начальный угол 0°; 5) шаг копирования в кольцевом направлении 90°; 6) количество копий в кольцевом направлении 4 (рис. 33, д). Все вышеперечисленные параметры необходимо задать в специальном диалоговом окне после нажатия на кнопку **Параметры концентрической сетки** на *Панели спецуправления*. За базовую точку копирования и базовую точку концентрической сетки необходимо принять точку пересечения осей симметрии копируемой окружности (см. рис. 33, д). Сделайте надпись «Копия по концентрической сетке» над отредактированной фигурой.
- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру (без размеров и выносных надписей), представленную на рис. 33, д, и поместите ее справа относительно данного рисунка. После этого, используя команду **Копия по сетке** на *Панели инструментов Редактирование*, выполните копирование верхней правой окружности диаметром 10 мм по сетке со следующими параметрами: 1) угол наклона к горизонтали первой оси сетки 0°; 2) шаг копирования по первой оси сетки 10 мм; 3) количество копий по первой оси сетки 2; 4) угол раствора между первой и второй осями сетки 90°; 5) шаг копирования по второй оси сетки 10 мм; 6) количество копий по второй оси сетки 2 (рис. 33, е). Все вышеперечисленные параметры необходимо задать в специальном диалоговом окне после нажатия на кнопку **Параметры сетки** на *Панели спецуправления*. За базовую точку копирования необходимо принять точку касания окружности с горизонтальной направляющей прямоугольника (см. рис. 33, е). За базовую точку сетки необходимо принять точку пересечения осей симметрии прямоугольника (см. рис. 33, е). Сделайте надпись «Копия по сетке» над отредактированной фигурой.

- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый фрагмент чертежа (эскиз № 5). В левом верхнем углу фрагмента выполните чертеж плоской фигуры в масштабе 1:1, представленной на рис. 34, а. Далее скопируйте любым известным вам способом вышеначерченную фигуру и поместите ее справа относительно оригинала. Используя команду **Выровнять по границе** на *Панели инструментов Редактирование*, отредактируйте данную фигуру, как показано на рис. 34, б. При этом в качестве границы выравнивания следует выбрать осевую линию фигуры, а в качестве выравниваемых кривых – все вертикальные отрезки фигуры (см. рис. 34, б). Сделайте надпись «Выровнять по границе» над отредактированной фигурой.
- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру (без выносных надписей), представленную на рис. 34, б, и поместите ее

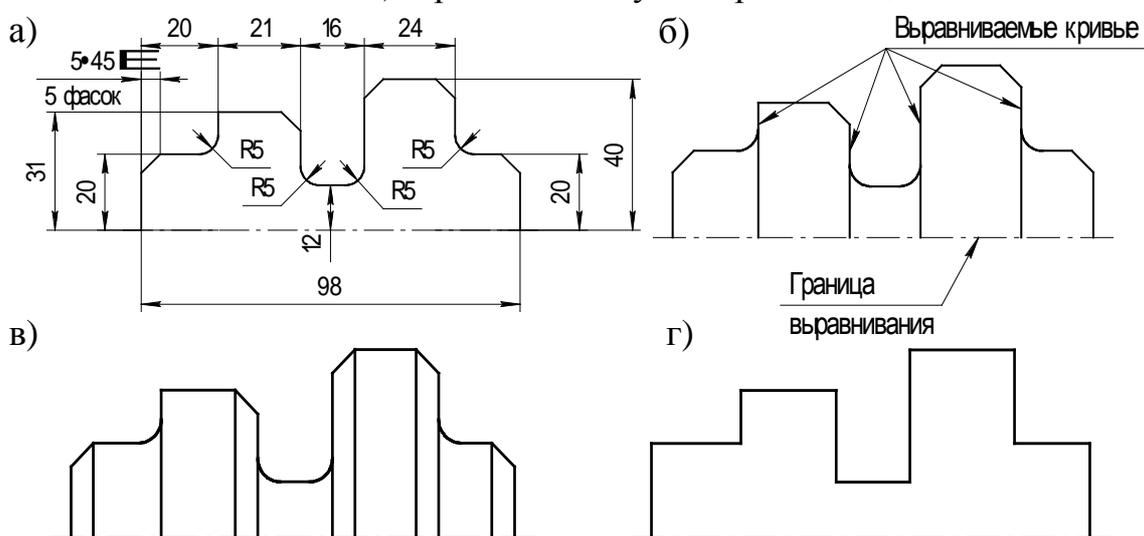


Рис. 34. Технический рисунок № 5: а) исходный объект; б) редактирование при помощи команды **Выровнять по границе**; в) редактирование при помощи соответствующих команд *Панели инструментов Геометрические построения*; г) редактирование при помощи команд **Усечь кривую двумя точками** и **Удалить фаску/скругление**

справа относительно данного рисунка. Используя соответствующие команды на *Панели инструментов Геометрические построения*, выполните построение вертикальных прямых линий для всех фасок данной фигуры (рис. 34, в).

- Скопируйте любым известным вам способом плоскую фигуру, представленную на рис. 34, в, и поместите ее справа относительно данного рисунка. Используя команду **Усечь кривую двумя точками** на *Панели инструментов Редактирование*, отредактируйте данную фигуру, удалив на ней все вертикальные прямые примыкающие к фаскам и скруглениям, получив в итоге фигуру идентичную представленной на рис. 34, а. После этого, используя команду **Удалить фаску/скругление** на *Панели инструментов Редактирование*, удалите на данной фигуре все фаски и скругления (рис. 34, г). Сделайте надпись «Усечь кривую двумя точками. Удалить фаску/скругление» над отредактированной фигурой.

### **3. Содержание отчета**

В качестве отчета по лабораторной работе студентам необходимо представить электронный вариант эскизов № 1–5 на ПЭВМ, выполненных по аналогии с рис. 30–34. Преподавателем оценивается объем и правильность выполнения лабораторной работы.

### **Лабораторная работа № 3**

## **СОЗДАНИЕ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В СИСТЕМЕ КОМПАС-ГРАФИК**

*Цель работы* – закрепить основные приемы двухмерного проектирования рабочих чертежей деталей машин в системе КОМПАС-ГРАФИК.

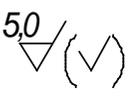
### **1. Задание**

Используя инженерно-графические возможности КОМПАС-ГРАФИК, создайте в данной системе рабочий чертеж детали червяк цилиндрический по аналогии с рис. 35.

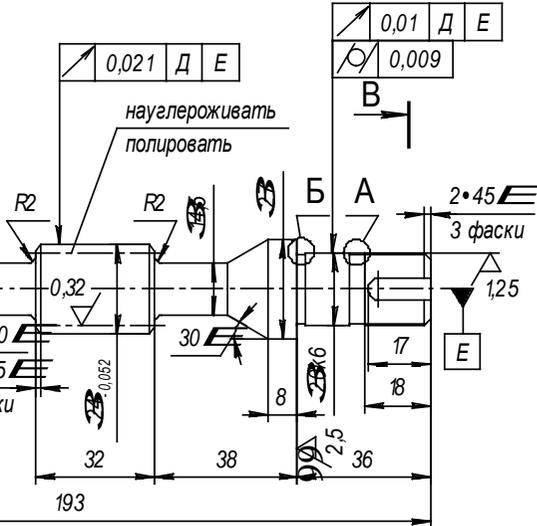
### **2. Порядок выполнения работы**

- Создайте в КОМПАС-ГРАФИК новый лист чертежа формата А3 с горизонтальной ориентацией.
- Используя соответствующие команды *Панели инструментов Геометрические построения*, постройте на новом листе чертежа в масштабе 1:1 контуры главного вида детали, представленной на рис. 35.

- Используя команду **Создать вид...** из меню **Компоновка**, создайте в рамках текущего листа чертежа четыре дополнительных вида, соответствующего масштаба каждый.
- Используя соответствующие команды **Панели инструментов Геометрические построения**, постройте в рамках четырех дополнительных видов контуры выносных элементов А и Б, и контуры сечений В-В, Г-Г (см. рис. 35).
- Используя соответствующие команды **Панели инструментов Размеры и технологические обозначения**, нанесите на главном виде детали, на ее выносных элементах и сечениях, необходимое количество размеров и технологических обозначений (см. рис. 35).
- При помощи команды **Технические требования – Ввод** из меню **Компоновка** воспроизведите на рабочем чертеже детали червяк цилиндрический текст технических требований по аналогии с рис. 35.
- Используя соответствующую команду **Панели инструментов Размеры и технологические обозначения**, постройте и заполните на рабочем чертеже детали таблицу с ее технической характеристикой.
- При помощи команды **Неуказанная шероховатость – Ввод** из меню



|   |   |  |
|---|---|--|
| Модуль                                      | <i>m</i>  | 2                                      |
| Число витков                                | <i>z<sub>1</sub></i>  | 4                                      |
| Вид червяка                                 | -   | ZK1                                    |
| Делительный угол под ема                    |  | 21 1/3°                                |
| Направление линии витка                     | -   | правое                                 |
| Исходный червяк                             | -   | ГОСТ 19036-81                          |
| Степень точности по ГОСТ 3675-81            | -   | 7-С                                    |
| Делительная толщина по хорде витка          | <i>s<sub>01</sub></i>   | 2,917 <sup>-0,14</sup> <sub>-0,2</sub> |
| Высота до хорды витка                       | <i>h<sub>01</sub></i>   | 2,015                                  |
| Допуск на радиальное биение витка           | <i>F<sub>r</sub></i>  | 0,021                                  |
| Допуск на погрешность профиля витка         | <i>f<sub>f</sub></i>  | 0,018                                  |
| Суммарное пятно контакта                    | по высоте зуба  | 65,10%                                 |
|   | по длине зуба   | 60,10%                                 |
| Делительный диаметр                         | <i>d<sub>f</sub></i>  | 20                                     |
| Ход витка                                   | <i>P<sub>21</sub></i>   | 25,133                                 |
| Коэффициент диаметра                        | <i>q</i>  | 10                                     |
| Высота витка                                | <i>h<sub>f</sub></i>  | 4,4                                    |
| Межосевое расстояние                        | <i>a<sub>w</sub></i>  | 50                                     |
| Число витков сопряженного червячного колеса | <i>z<sub>2</sub></i>  | 40                                     |

науглероживать  
полировать

3 фаски

1,25

2\*45

30

17

18

36

2,5

8

38

32

0,32

0,052

R2

3 фаски

1,25

0,021

0,01

0,009

50

0,021

0,01

0,009

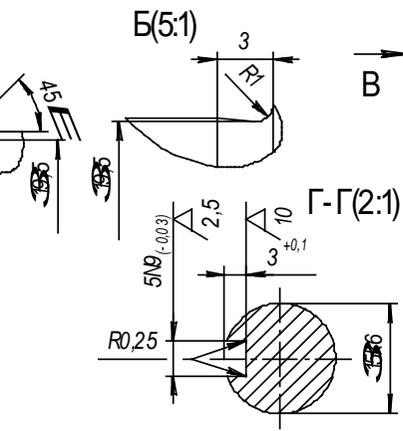
50

1. Острые кромки затупить

2. Науглероживать на глубину 0,3 ÷ 0,4 мм с последующей термообработкой до твердости 56 ÷ 60 HRC

3. Твердость сердцевины - 35 ÷ 45 HRC

4. Неуказанные предельные отклонения размеров: охватываемых - h14, охватывающих - H14 прочих - ±0,5 IT14



Б-Б(5:1)

3

R

45

5H8 (-0,03)

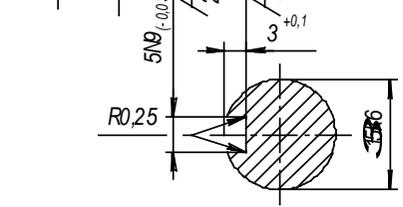
2,5

10

3+0,1

R0,25

9H8



Г-Г(2:1)

10

3+0,1

R0,25

9H8

**Компоновка** создайте на рабочем чертеже детали неуказанный знак шероховатости.

- При помощи команды **Основная надпись** из меню **Компоновка** заполните основную надпись рабочего чертежа детали по аналогии с рис. 35.

### 3. Содержание отчета

В качестве отчета по лабораторной работе студентам необходимо представить электронный вариант рабочего чертежа детали червяк цилиндрический на ПЭВМ, выполненный по аналогии с рис. 35. Преподавателем оценивается объем и правильность выполнения лабораторной работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Римский Г. В. Теория САПР. Интеллектуальные САПР на базе вычислительных комплексов и сетей. – Мн.: Навука і тэхніка, 1994. – 385 с.
2. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования. – М.: МГТУ, 2000. – 322 с.
3. Аллик Р. А., Бородянский В.И., Бурин А. Г. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
4. Красильникова Г., Самсонов В., Тарелкин С. Автоматизация инженерно-графических работ. – СПб.: Питер, 2000. – 226 с.
5. Потемкин А. Инженерная графика. Просто и доступно. – М.: ЛОРИ, 2000. – 494 с.
6. Потемкин А. Трехмерное твердотельное моделирование. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 296 с.
7. Потемкин А. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
8. Кудрявцев Е. М. КОМПАС-3D V6. Основы работы в системе. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 528 с.
9. Богуславский А. А. Система автоматизированного проектирования. Образовательная система КОМПАС-3D LT: Учебное пособие. – Коломна; Москва: КолГПИ, 2001. – 215 с.
10. Пачкория О. Н. Начертательная геометрия и инженерная графика: Учебное пособие. Часть 1. – М.: МГТУГА, 2001 – 91 с.
11. Пачкория О. Н. Начертательная геометрия и инженерная графика: Учебное пособие. Часть 2. – М.: МГТУГА, 2001 – 92 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение .....  | 3  |
| 1. Содержание дисциплины .....  | 5  |
| 2. Структура, основные принципы построения и проектирования в современных САПР .....                                    | 8  |
| 2.1. Классификация САПР .....   | 8  |
| 2.2. Структура САПР .....   | 10 |
| 2.3. Виды обеспечения САПР .....  | 13 |
| 2.4. Этапы и стадии проектирования в современных САПР ..  | 18 |
| 3. Базовые приемы работы с системой КОМПАС-ГРАФИК .....   | 23 |
| 3.1. Структура главного окна системы КОМПАС-ГРАФИК .....  | 23 |
| 3.2. Типовые объекты и типовые документы КОМПАС-ГРАФИК .....  | 31 |
| 3.3. Геометрические построения базовых элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК .....  | 34 |
| 3.3.1. Непрерывный ввод объектов .....  | 34 |
| 3.3.2. Различные способы ввода данных в поля Строки параметров объектов .....   | 34 |
| 3.3.3. Построение точки .....   | 36 |
| 3.3.4. Построение отрезка .....   | 38 |
| 3.3.5. Построение вспомогательной прямой .....  | 39 |
| 3.3.6. Построение окружности .....  | 41 |
| 3.3.7. Построение дуги .....  | 43 |
| 3.3.8. Построение эллипса .....   | 44 |
| 3.3.9. Построение кривой .....  | 46 |
| 3.3.10. Построение фасок .....  | 47 |
| 3.3.11. Построение скруглений .....   | 49 |
| 3.3.12. Построение прямоугольника .....   | 50 |
| 3.3.13. Построение штриховки .....  | 52 |
| Лабораторная работа № 1 «Геометрические построения базовых элементов в системе КОМПАС-ГРАФИК» .....                     | 53 |
| Лабораторная работа № 2 «Выделение и редактирование плоских фигур и составных объектов на чертежах КОМПАС-ГРАФИК» ..... | 56 |
| Лабораторная работа № 3 «Создание рабочих чертежей деталей машин в системе КОМПАС-ГРАФИК» .....                         | 65 |

Литература ..... 68