



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

**А. В. Сычев**

**ОСНОВЫ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**КУРС ЛЕКЦИЙ**

**по одноименной дисциплине  
для студентов специальностей  
1-43 01 03 «Электроснабжение»  
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация  
энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2008**

УДК 658.5:621.3(075.8)  
ББК 30.2-5-05я73  
С95

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 20.02.2006 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Информационные технологии»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. И. Токочаков*

**Сычев, А. В.**

С95 Основы систем автоматизированного проектирования в энергетике : курс лекций по одноим. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Сычев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 117 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-674-5.

Курс лекций охватывает основные разделам рабочей программы дисциплины «Основы систем автоматизированного проектирования в энергетике». Изложены теоретические вопросы использования САПР в решении задач электроэнергетики и практические методы работы в системе AutoCAD-2004, а также с промышленными программами MUSTANG для расчетов режимов электрических сетей и токов короткого замыкания ТКЗ-3000.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 658.5:621.3(075.8)  
ББК 30.2-5-05я73

ISBN 978-985-420-674-5

© Сычев А. В., 2008  
© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Состояние и уровень развития теории проектирования технических объектов зависят, в первую очередь, от требований, предъявляемых к результатам проектирования. Последние, в свою очередь, определяются имеющимися возможностями технологической реализации проектов и доступными средствами проектирования. Указанные факторы меняются в ходе научно-технического прогресса и соответственно этому совершенствуется и развивается теория исследования и проектирования технических объектов.

Для начального периода проектирования (примерно до 40-х гг. прошлого столетия) характерна форма, которую можно назвать *ручным индивидуальным проектированием*. В этот период производилась ограниченная номенклатура технических изделий, имеющих сравнительно простую конструкцию. Многие изделия создавались впервые, без прототипов, и требовали принятия оригинальных проектных решений. Труд проектировщиков в целом был творческим, доля рутинных работ, т. е. работ нетворческого, механического характера, составляла не более 30 %. Методы и средства проектирования были также простейшими. Расчетные методики в значительной мере опирались на приближенные зависимости и эмпирические коэффициенты. Технические средства проектирования ограничивались кульманом, логарифмической линейкой, готовальной и т. п. Проектная документация во многих крупных организациях имела свою собственную систему оформления и обращения, что затрудняло передачу документации в другие организации.

Индивидуальное проектирование сыграло прогрессивную роль в становлении технических отраслей, создании качественно новых, высокоэффективных для того времени технических устройств и систем. Однако с ростом количества типоразмеров, расширением номенклатуры выпускаемых изделий и усложнением их конструкции индивидуальная форма проектирования начала тормозить дальнейшее развитие промышленности. Противоречия между потребностями промышленности и возможностями индивидуального проектирования были устранены путем перехода к новой форме проектирования, которую в общем принято называть ручным типовым проектированием.

Период *ручного типового проектирования* охватывает примерно 40–60-е гг. и характеризуется внедрением методов группового проектирования, агрегирования и унификации.

Метод группового проектирования заключается в том, что проектируется не одно конкретно требуемое изделие, а целое семейство (параметрические ряды) конструктивно подобных изделий, которое удовлетворяет всем существующим и прогнозируемым условиям их использования. Благодаря однотипности объектов и процессов проектирования производительность группового проектирования параметрических рядов изделий значительно выше, чем при индивидуальном проектировании отдельных изделий.

Сущность методов агрегирования и унификации первоначально заключалась в разработке минимального количества типовых конструктивных деталей и узлов, которые затем будут многократно использованы при проектировании различных изделий. В последующем унификация охватила все сферы проектирования, включая и организационные, и оказала существенное влияние также на организацию специализированных производств составных частей изделий. Благодаря агрегированию и унификации повысилась не только производительность труда проектировщиков. Появились также новые возможности повышения надежности изделий путем реализации принципов функциональной и монтажной взаимозаменяемости их составных частей.

В 50-е гг. осуществлен переход к Единой системе конструкторской документации (ЕСКД), которая установила единые правила ее оформления и обращения.

Одновременно с методами проектирования получили развитие также технические средства проектирования. Появились арифмометры, быстродействующие печатающие устройства типа «Оптима», различные средства быстрого размножения проектной документации. Началась механизация процесса проектирования. Таким образом, возможности процесса проектирования в целом резко возросли и при соответствующем росте числа проектировщиков оказались в определенный период достаточными для удовлетворения потребностей промышленности в новых разработках.

Наряду с важными преимуществами типового проектирования проявились и его недостатки, связанные в основном с ручной формой

обработки информации. Внедрение методов унификации и стандартизации привело к резкому сокращению доли творческого труда в работе проектировщика. Использование многочисленных справочников, стандартов и других нормативных документов, а также типовых проектных решений существенно увеличило трудоемкость проектирования.

Доля рутинных работ в проектировании превысила 60 %, а сроки проектирования сравнялись со сроками изготовления и испытаний. Увеличилась численность среднего звена инженерно-технических работников, снизилась привлекательность и престижность труда проектировщиков. Постоянно растущие потребности в новых проектных разработках нельзя было удовлетворить за счет пропорционального роста проектных организаций при сохранении форм типового проектирования. Возникла необходимость в коренной перестройке форм проектирования, направленной на повышение качества проектов, сокращение сроков и трудоемкости проектирования.

Применение ЭВМ и их периферийных устройств в качестве принципиально новых технических средств проектирования явилось основой для радикального преобразования процесса проектирования. С этого времени (60-е гг.) начался период автоматизированного проектирования, который характеризуется следующими важными преимуществами:

- возможность для практического использования принципиально новых методов проектирования (методов математического моделирования, методов оптимизации, принятия решений и т. п.);
- использование сложных, но более точных моделей объектов проектирования;
- возможность анализа большого числа вариантов проектных решений;
- исключение ошибок в расчетах и при формировании проектной документации;
- многократный рост производительности труда проектировщиков и повышение качества проектов;
- характер труда проектировщиков стал более творческим.

Методы и средства проектирования, в свою очередь, определяющим образом влияют на состояние теории проектирования. Применительно к электрическим системам (ЭС) теория проектирования развивалась следующим образом. В период ручного проектирования основное

внимание уделялось математическому описанию электрофизических и электроэнергетических процессов и созданию соответствующих расчетных методов. В это время были сформулированы задачи и методы расчета установившихся и переходных процессов, резонансных явлений, автоматического регулирования напряжения и частоты, передачи максимальной мощности, диспетчерского управления и т. п. В качестве теоретической базы использовались классические теории электрических цепей, устойчивости и колебаний и др. С целью упрощения и доступности расчетных методов для инженерной практики широко применялись схемы замещения, эквивалентные преобразования и линеаризация проектируемых систем.

Сложившаяся таким образом теория ЭС использовалась на стадии проектирования, в основном для анализа функциональных процессов в заданных системах. Само задание проектного варианта системы осуществлялось проектировщиком на основе опыта и интуиции методом проб и ошибок. Однако такой подход к проектированию в середине прошлого столетия (50–60-е гг.) перестал удовлетворять требованиям научно-технического прогресса. Вторая мировая война дала мощный толчок развитию электрических систем в направлении интеграции и включения большого класса нелинейных элементов. Сложные энергетические и информационные системы принципиально невозможно проектировать на должном уровне ручным способом. Противоречия между уровнем теории проектирования и потребностями народного хозяйства начали устраняться только с развитием вычислительной техники и наступлением периода автоматизированного проектирования.

Первоначально появилась тенденция простого перевода расчетных алгоритмов проектирования на ЭВМ. Стали усиленно развиваться численные методы расчета дифференциальных уравнений и нелинейных зависимостей на ЭВМ. Резко увеличилась производительность труда в расчетном проектировании даже на ЭВМ первого поколения. Но возникло новое противоречие между возможностью ЭВМ просчитать большее число проектных вариантов и физической невозможностью проектировщика задавать (генерировать) эти варианты. Это противоречие было устранено с появлением ЭВМ второго поколения и развитием кибернетических методов принятия решений. Увеличение быстродействия и объема памяти ЭВМ в сочетании с методами поиска оптимума по-

зволили перейти к решению ряда оптимизационных задач проектирования. Сократилось время и повысилось качество расчетных проектов. Тем не менее круг проектных задач, решаемых с помощью ЭВМ, в целом сохранился прежним.

Только с появлением ЭВМ третьего поколения, оснащенных средствами машинной графики и другими инструментальными средствами, появилась принципиальная возможность автоматизации не только расчетной, но и конструкторско-технологической стадии проектирования. Ускоренными темпами стали создаваться программно-технические средства, ориентированные на коллективную деятельность проектировщиков различного профиля (расчетчиков, конструкторов, технологов), не имеющих глубоких познаний в программировании и вычислительной технике. Проблема конвейерной автоматизации всех процессов проектирования путем создания САПР приобрела практическую актуальность.

## **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

### **1.1. Системы автоматизированного проектирования как средство ускорения и оптимизации решений при проектировании**

При проектировании объектов электроэнергетики, относящихся к различным подсистемам (электрические сети, электрическая часть станции и подстанций, электроснабжение промышленных предприятий и др.), требуется обрабатывать большой объем разнообразной информации. Трудоемкость проекта резко возрастает при выявлении оптимальных параметров и режимов работы систем электроснабжения (СЭС) на основе многовариантных электрических и технико-экономических расчетов.

Эффективность принятого решения во многом определяется квалификацией и опытом проектировщиков. Однако даже опытные специалисты не застрахованы от ошибок и принятия неоптимальных вариантов. Таким образом, традиционные способы решения проектных задач приводят к неоправданно большим затратам труда и времени проектировщиков на подготовку проектной документации. При этом не всегда принятые в проекте решения будут оптимальными и безошибочными.

Качество инженерных разработок может быть существенно повышено при применении систем автоматизированного проектирования (САПР). *САПР представляет собой организационно-техническую систему, которая состоит из комплекса средств автоматизации на базе ЭВМ, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации.*

При применении САПР технические решения принимаются в режиме диалога проектировщика с ЭВМ на основе математического моделирования объектов проектирования. Это позволяет:

- повысить точность и исключить ошибки в расчетах;
- обеспечить выбор оптимального варианта;
- ускорить подготовку проектной документации.

Построение САПР объектов электроэнергетики представляет собой достаточно сложную проблему, т. к. СЭС является иерархической и состоит из большого числа взаимосвязанных элементов. При внедрении САПР нужно, прежде всего, решить, для каких задач проектирования наиболее эффективно ее применять. Эти задачи должны иметь математические методы решения, на основе которых разрабатываются алгоритмы и программы для ЭВМ.

При создании САПР используются следующие общесистемные принципы [1]:

- комплексный подход к созданию САПР;
- модульность структуры и непрерывность развития САПР;
- информационное единство и полная управляемость потоками информации;
- инвариантность (компоненты САПР должны быть по возможности универсальными и неизменяющимися по отношению к объектам проектирования и используемой вычислительной техники);
- совместимость (техническая, информационная и программная);
- использование новейших методов решения задач и комплексность их решения;
- типизация и стандартизация используемых элементов и решений;
- математическая определенность проектных задач;
- наличие универсальной оптимизационной подсистемы.



## 1.2. Основные цели и задачи систем автоматизированного проектирования

Основными целями создания САПР являются:

- 1) повышение качества и технико-экономического уровня проектируемых объектов на основе применения математических методов и моделей, отражающих специфические особенности проектируемых объектов, алгоритмов, программ и современных средств вычислительной техники, а также за счет применения многовариантного проектирования и оптимизации;
- 2) увеличение производительности труда проектировщиков путем автоматизации процессов поиска, обработки и выдачи информации;
- 3) сокращение сроков подготовки проектной документации и улучшение качества оформления проектной документации;
- 4) повышение доли творческого труда проектировщиков за счет автоматизации повторяющихся однотипных (рутинных) работ.

Автоматизация процесса проектирования может применяться на всех или отдельных стадиях создания проектной документации для объектов электроэнергетики в целом или их составных частей. Наибольшая эффективность от внедрения САПР достигается при автоматизации всего процесса проектирования, начиная от постановки задачи и заканчивая выпуском рабочей проектной документации. Использование САПР позволяет сократить сроки разработки проектов в 3–4 раза и повысить качество принимаемых решений.

Основными проектными задачами в области электроэнергетики являются следующие:

1. **Анализ и выбор приемников электроэнергии (ПЭ).** Исходной информацией для решения этой задачи являются требования технологического процесса и технологического оборудования, для обеспечения функционирования которых предназначена СЭС (электропривод; электротермические установки; светотехническое оборудование; устройства и системы контроля работы технологических установок; специальное оборудование), а также справочно-нормативные данные по электрооборудованию, с помощью которого выполняются эти требования.

На базе перечня ПЭ составляются группы потребителей электроэнергии и рассчитываются нагрузки отдельных групп электроприемни-

ков на различных уровнях системы электроснабжения с учетом всех возможных режимов работы, включая аварийные режимы, выбираются ответвления к электроприемникам, а также пускозащитная аппаратура.

**2. Выбор и размещение узловых точек электроэнергетических систем (ЭЭС).** При этом выполняется построение структурной схемы СЭС, которая показывает направления передачи электроэнергии от первичных источников ко вторичным и ПЭ, и выбор классов напряжений на различных уровнях СЭС. Обычно ПЭ питаются электроэнергией:

– *на уровне энергосистемы* – от источников питания (ИП) через систему понижающих трансформаторных подстанций (ПС), связанных с ИП и между собой районными и местными электрическими сетями высокого напряжения;

– *на уровне СЭС промышленных предприятий* – от главных понижающих подстанций или распределительных пунктов (ГПП или ГРП), распределительных устройств (РУ) и распределительных пунктов (РП), связанных распределительной сетью 6–10 кВ;

– *на уровне внутрицехового электроснабжения* – от цеховых ТП (ЦТП), распределительных и силовых пунктов (СП).

В целом ПС, ГПП, ГРП, РУ, ЦТП, СП так же, как и первичные и вторичные источники, в рамках структурных схем можно рассматривать как узловые точки, через которые происходит передача энергии от источников к ПЭ.

Выбор и размещение указанных узловых точек, в основном, зависит от трех факторов: 1) структурной схемы ЭЭС; 2) размещения потребителей электроэнергии по территории района или предприятия; 3) типовой конфигурации электрической сети (разомкнутая, замкнутая и т. п.). Все три фактора при решении данной задачи предполагаются известными. Тогда множество вариантов выбора и размещения узловых точек определяется допустимыми зонами и трассами прокладки электрических сетей. Выбор конечного варианта из указанного множества также является решением оптимизационной задачи, удовлетворяющей критерию минимуму приведенных затрат, а также требованиям надежности электроснабжения. В самом простейшем случае за критерий оптимальности можно принять минимум суммарной длины электрических сетей.

**3. Разработка принципиальных электрических схем.** Эта задача требует детализации схем подстанций и других узловых элементов ЭЭС путем выбора силового и коммутационного оборудования, исполнения электрических сетей (воздушные, кабельные, токопроводы, шинопроводы), количества трансформаторов на ПС. Выбор, как правило, осуществляется на заданном множестве соответствующих элементов, выпускаемых промышленностью, и типовых схем подстанций. В целом задача может иметь ряд вариантов решения и в общем случае также относится к классу оптимизационных задач. В результате решения должны быть получены принципиальные электрические схемы и полный перечень всех элементов, входящих в схему.

**4. Выбор элементов и функциональный анализ ЭЭС.** После разработки принципиальных схем необходимо выбрать элементы ЭЭС – типы и мощность трансформаторов, типы и сечение проводов и кабелей ЛЭП, а также трасс их прокладки, типы выключателей и другого подстанционного оборудования. Выбор элементов осуществляется по ряду технических и экономических критериев (для проводников – экономической плотности тока, допустимому нагреву расчетным током и др., для силовых выключателей – рабочим током, коммутационной способностью и др.).

Выбор элементов сопровождается проверкой работоспособности схем ЭЭС с учетом требований качества и надежности электроснабжения в рабочих и аварийных режимах. Например, при проектировании электрических сетей энергосистемы необходимо проверить выполнение требований к качеству напряжения в узлах сети в режиме минимальных и максимальных нагрузок, при проектировании СЭС предприятий – к провалам напряжения при кратковременных набросах нагрузки при пуске и самозапуске высоковольтных электродвигателей или внезапных токах короткого замыкания в различных режимах и т. д.

Функциональный анализ обычно осуществляется путем математического моделирования работы ЭЭС на ЭВМ.

Последовательное решение указанных выше задач определяет основное содержание этапов проекта. Завершаются эти этапы выпуском проектной документации, в которой должны быть отражены спецификация электрооборудования ЭЭС на уровне принципиальных однолинейных схем, схемы размещения узловых подстанций в географическом пространстве, принципиальные схемы, расчетные нагрузки, технико-экономическое обоснование проекта.

### 1.3. Функциональная структура систем автоматизированного проектирования

Функциональную структуру САПР ЭС укрупнено можно представить схемой на рис. 1.1. Центральное место в структуре занимает система управления процессом проектирования – **монитор**, которая работает на базе штатной операционной системы ЭВМ. Монитор представляет собой программу, организующую взаимодействие между всеми остальными программными компонентами САПР. Монитор вызывает необходимые программы, дает им задания на исполнение, получает результаты исполнения и т. п. Таким образом, монитор обеспечивает передачу данных между программами через оперативную память, т. е. организует конвейерный процесс проектирования.

Связь конструктора ЭС с монитором осуществляется через систему ввода-вывода данных, которая включает комплекс аппаратных (алфавитно-цифровые и графические дисплеи, графопостроители и т. д.) и программных (трансляторы, редакторы, загрузчики и т. д.) средств.



Рис. 1.1. Функциональная схема систем автоматизированного проектирования

Вся информация, необходимая для организации и реализации процесса проектирования, хранится в автоматизированной базе данных (АБД). Последняя управляется монитором через специальную систему управления базой данных (СУБД). АБД включает три основных раздела данных: 1) справочно-нормативные данные; 2) данные текущего проекта ЭС; 3) данные архивных проектов. Архивные данные можно хранить не только в долговременной памяти ЭВМ, но и на отдельных магнитных носителях и устанавливать в САПР по мере необходимости. В свою очередь в разделах АБД можно выделить ряд подразделов. Например, в проектных данных можно выделить отдельно геометрическую модель монтажного пространства. Связь между разделами АБД и разбиение на подразделы в основном определяется логической структурой построения информационной модели ЭС. Следует особо подчеркнуть, что в АБД и, в частности, в справочно-нормативной базе данных должны храниться данные не только в алфавитно-цифровой форме, но и в графической форме, например, стандартные изображения элементов схем или типовые схемные решения.

Для обработки различных видов данных в процессе проектирования и обеспечения его реализации в полном объеме в структуре САПР предусмотрены специальные программы – инструментальные средства. В состав программного инструмента входят кроме СУБД системы машинной графики, выпуска графической и алфавитно-цифровой конструкторской документации и организации диалога при вводе и выводе графической и текстовой документации. Применение единых инструментальных средств существенно облегчает процесс разработки новых прикладных модулей и внесения изменений в действующие модули, делая тем самым САПР открытой системой, готовой к постоянному совершенствованию.

Используя имеющийся арсенал инструментальных средств и АБД, монитор управляет работой прикладных программных комплексов (ПК), предназначенных для решения отдельных задач проектирования как в автономном, так и в конвейерном режимах работы. Прикладные ПК могут строиться по различным сценариям организации процесса проектирования в САПР в зависимости от моделирования задач, алгоритмов их решения и общности отдельных процедур проектирования.

## 1.4. Подсистемы систем автоматизированного проектирования

Системы автоматизированного проектирования относятся к числу сложных систем, характеризующихся большим разнообразием составных элементов и решаемых задач. Для удобства пользования средства автоматизированного проектирования объединяются в подсистемы САПР. Подсистема – это выделенная по определенным признакам часть САПР, обеспечивающая получение законченных решений и соответствующих проектных документов.

Основным структурным элементом САПР любого уровня сложности является функциональная проектирующая подсистема. По отношению к объекту проектирования можно выделить два вида подсистем: **объектно-ориентированные (объектные) и объектно-независимые (инвариантные).**

*Функциональные объектные подсистемы* выполняют определенные проектные процессы на основе конкретных исходных данных с учетом специфики объекта проектирования.

*Инвариантные проектирующие подсистемы* позволяют получать технические решения, не зависящие от отрасли промышленности (схемы управления, компоновки РУ, раскладка кабелей в туннеле и т. п.).

Проектирующие подсистемы включают компоненты САПР, под которыми понимаются средства обеспечения, выполняющие определенные функции.

В САПР электрической части промышленного предприятия в качестве основных функциональных подсистем могут быть выделены подсистемы проектирования электроснабжения, силового электрооборудования, электрического освещения, электроремонта, линий электропередачи, подстанций и т. п.

Функциональные подсистемы САПР должны быть взаимосвязаны и опираться на общую информационную базу. Каждая функциональная подсистема базируется на едином комплексе средств автоматизации проектирования, включающем вычислительные системы, автоматизированные банки данных и т. п.

Функциональная часть САПР обслуживается комплексом подсистем общего назначения. К ним относятся подсистемы:

- графического отображения объекта и его элементов;

- кодирования, контроля и преобразования информации;
- выпуска сметной документации;
- оформления и тиражирования проектной документации;
- управления базами данных;
- информационного поиска и т. п.

Свойства и возможности САПР существенно зависят от обеспечивающих подсистем.

Среди функциональных подсистем САПР электрической части промышленного предприятия одной из основных является подсистема проектирования электроснабжения. С ее помощью в интерактивном режиме проводятся необходимые расчеты и решаются информационно-логические задачи с целью выпуска проектной документации.

Подсистема строится на следующих основных принципах:

- 1) минимальное количество исходных данных для получения требуемой выходной документации;
- 2) возможность общения проектировщика с ЭВМ на различных этапах обработки информации;
- 3) допустимость корректировки исходной и нормативно-справочной информации, а также программного обеспечения без нарушения функционирования подсистемы в целом;
- 4) возможность построения новой конфигурационной модели электрической сети на основе ранее введенной информации;
- 5) получение от ЭВМ документов, пригодных для непосредственной комплектации проекта.

Подсистема проектирования электроснабжения функционально и информационно связана с другими подсистемами САПР электрической части промышленного предприятия: силового электрооборудования, электрического освещения и др. Поэтому эти подсистемы должны иметь общую информационную базу.

## **1.5. Виды обеспечения систем автоматизированного проектирования**

Средства автоматизации проектирования можно сгруппировать по видам обеспечения САПР.

**Техническое обеспечение** представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств (ЭВМ различ-

ных классов, устройств оперативной связи с ЭВМ, ввода и вывода информации, машинной графики и т. п.), предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования.

**Математическое обеспечение** включает математические модели проектируемых объектов, методы и алгоритмы для решения задач и обработки информации с применением вычислительной техники. Элементы математического обеспечения САПР весьма разнообразны. К ним относятся методы численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, поиска экстремума, оптимизации, а также решения разнообразных задач электроэнергетики. Практическое использование математического обеспечения осуществляется на основе разработки программ для ЭВМ.

**Программное обеспечение** – это совокупность программ для обработки данных на машинных носителях информации и сопровождающих их эксплуатационных документов. Программное обеспечение САПР делится на общесистемное и прикладное (специальное).

*Общесистемное программное обеспечение* предназначено для организации функционирования технических средств и представлено в САПР операционными системами ЭВМ и вычислительных комплексов.

*Прикладное программное обеспечение* предназначено для решения разнообразных задач проектирования. Его состав зависит от проектируемого объекта, специфики и объема задач, решаемых конкретной САПР. Прикладные программы разрабатываются на основе математического обеспечения. Разработка программ является одним из наиболее трудоемких и ответственных процессов при создании САПР.

Так, например, основной задачей проектирования электроснабжения предприятия является создание оптимального проекта системы электроснабжения, соответствующей действующим нормам и правилам, имеющей наименьшие затраты при строительстве и монтаже электротехнических сооружений и обеспечивающей надежную, удобную и экономичную эксплуатацию электроустановок.



Для этого в составе программного обеспечения САПР необходимо иметь пакет прикладных программ для ЭВМ, позволяющий решать частные задачи проектирования СЭС:

- расчет электрических нагрузок;
- выбор числа, мощности и места размещения подстанций;
- выбор напряжения питающей и распределительной сети;
- распределение электрических нагрузок по подстанциям;
- компенсация реактивной мощности;
- выбор сечений проводников электрических сетей;
- расчет токов КЗ и т. п.

Структура подсистемы проектирования электроснабжения определяется составом пакета прикладных программ. В пакете прикладных программ могут выделяться управляющая и обрабатывающие части. Непосредственно решение задач проектирования выполняется с помощью ЭВМ по рабочим программам, хранящимся на машинных носителях информации.

**Информационное обеспечение** представляет собой совокупность единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных систем документации и массивов информации, используемых в САПР. Информационное обеспечение объединяет разнообразные данные, представленные в виде тех или иных документов на различных носителях информации.

**Лингвистическое обеспечение** включает специальные языковые средства (языки проектирования), предназначенные для описания процедур автоматизированного проектирования и проектных решений. Основную часть лингвистического обеспечения составляют языки общения человека с ЭВМ.

**Методическое обеспечение** охватывает документы, отражающие состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизированного проектирования.

**Организационное обеспечение** включает документы (положения, инструкции, приказы, штатные расписания, квалификационные требования и т. п.), регламентирующие организационную структуру подразделений проектной организации и их взаимодействие с комплексом средств автоматизированного проектирования.

## 2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ AUTOCAD – ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИЕМЫ РАБОТЫ

### 2.1. Организация работы в AutoCAD

#### 2.1.1. Интерфейс AutoCAD

Запуск системы осуществляется с помощью двойного щелчка левой кнопки мыши по ярлыку **AutoCAD 2004**, расположенному на рабочем столе, или из меню ПУСК рабочего стола Windows. Сразу после старта системы открывается стандартное диалоговое окно «Создание нового рисунка» (рис. 2.1).

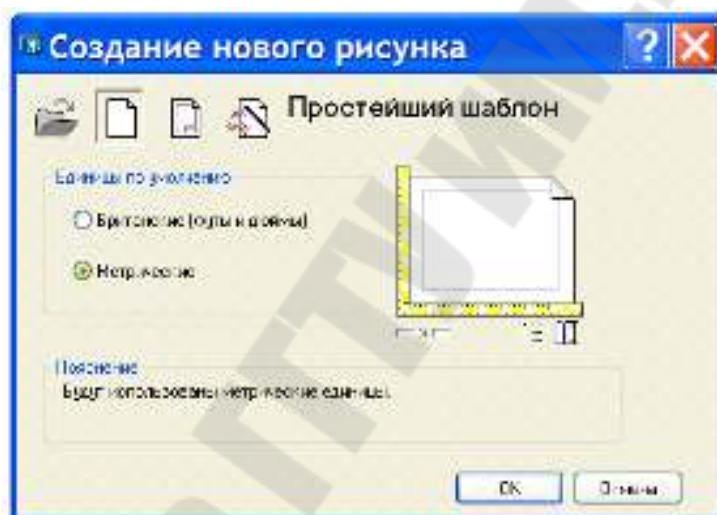


Рис. 2.1. Диалоговое окно «Создание нового рисунка»

В диалоговом окне пользователю необходимо с помощью указателя мыши и одной из кнопок выбрать режим начала работы:



**Открытие рисунка.**



**Простейший шаблон** – создается новый пустой рисунок с минимумом установок (предлагается по умолчанию). Пользователю нужно указать, в каких единицах измерения он будет работать: *британские* (футы и дюймы) или *метрические*.



**По шаблону** – начало работы с каким-либо наполнением нового рисунка (рамки, штампы и какие-то другие линии или установки).



**Вызов мастера** – вызов одной из программ-мастеров настройки нового рисунка.

Для завершения работы с диалоговым окном щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке ОК.

При создании рисунка по *пустому шаблону* появляется рабочее окно программы, настроенное по умолчанию (рис. 2.2).

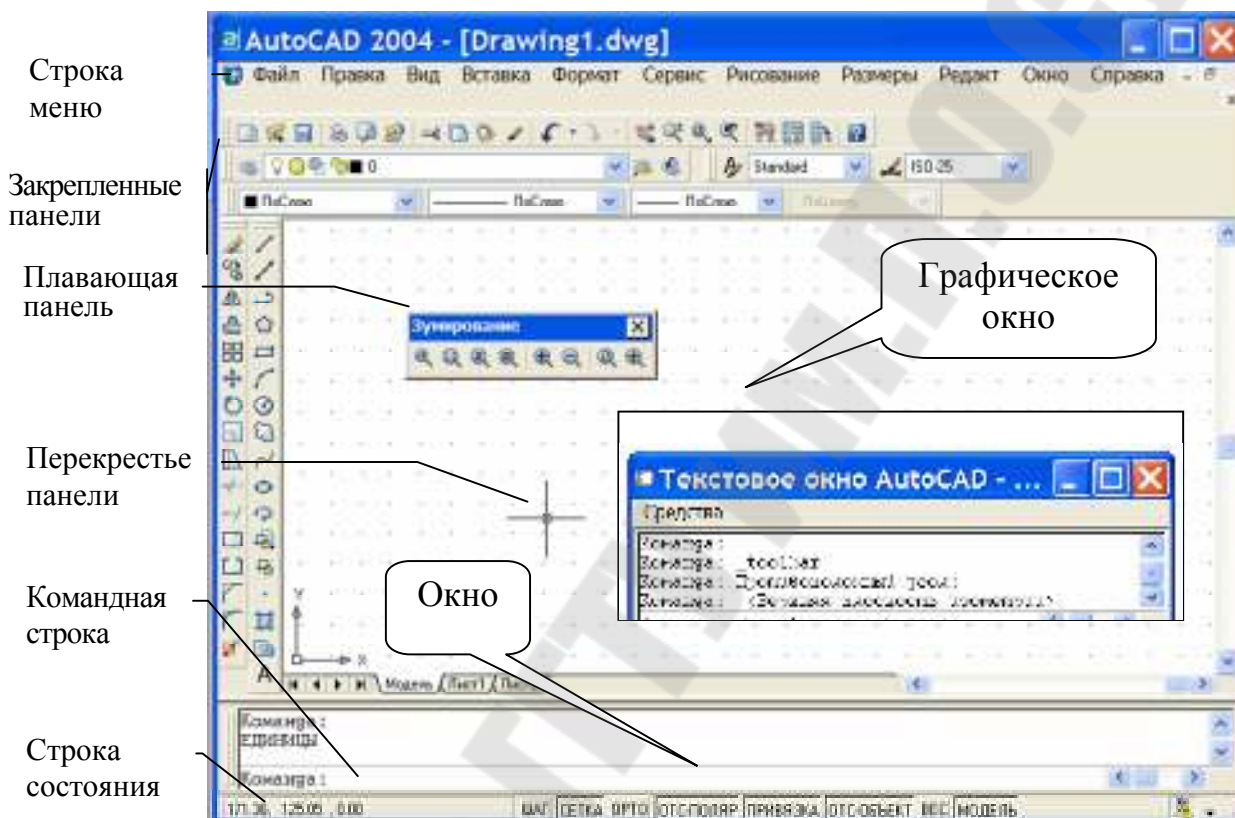


Рис. 2.2. Рабочее окно AutoCAD

В *строке меню* высвечиваются заголовки падающих меню. Вызов конкретного пункта осуществляется щелчком мыши сначала на заголовке меню, а затем на имени нужного пункта. Другой способ – нажатие клавиши ALT совместно с буквенной клавишей, соответствующей выделенной букве в имени меню, после чего необходимо клавишами-стрелками установить курсор на нужный пункт и нажать ENTER.

В *строке состояния* отображаются координаты перекрестья курсора и состояние режимов рисования, таких как «Шаг» и «Сетка». Имена режимов постоянно присутствуют в статусной строке в виде экранных кнопок. Двойной щелчок на кнопке переключает указанный на ней режим в противоположное состояние.

В *графическом окне* отображается рисунок AutoCAD и ведутся все операции по его редактированию.

*Перекрестье курсора*, которое управляется устройством указания (обычно в качестве последнего используется мышь), предназначено для указания точек и выбора объектов рисунка.

*Окно команд* служит для ведения диалога с пользователем и вывода сообщений ACAD при выполнении команд. В окне имеется командная строка, в которой пользователь указывает команды для управления работой ACAD.

Просмотреть большую часть протокола работы команд можно, переключившись в текстовое окно нажатием клавиши F2. При наличии в окне команд более одной строки перемещение по строкам осуществляется с помощью полосы прокрутки.

*Текстовое окно* служит для показа протокола введенных пользователем команд и сообщений, выданных программой. В нем, как и в окне команд, можно вводить команды и наблюдать подсказки и сообщения. В отличие от окна команд, в текстовом окне содержится полный протокол текущего сеанса. Переход в текстовое окно обычно выполняется при просмотре результатов команд с интенсивным текстовым выводом.

Нажатие F2 при активном текстовом окне вызывает всплытие окна приложения поверх текстового окна. Если какое-либо из окон свернуто, нажатие F2 приводит к восстановлению его полного размера. Если открыты и графическое окно, и текстовое окно, клавиша F2 работает как переключатель между ними.

*Панели инструментов* – содержат наборы различных видов команд AutoCAD, представленных в виде пиктограмм (рис. 2.3). Отображение панелей можно отключать и включать. Кроме того, существует функция создания новых панелей. Панель может быть *плавающей* или *закрепленной*. Плавающие панели могут располагаться в любом месте области рисования окна AutoCAD. Плавающие панели можно перемещать в любое другое место и закреплять, а также изменять их размеры. Закрепленные панели примыкают к одному из краев области рисования. Размеры закрепленной панели нельзя изменить. Закрепленную панель можно отбуксировать в другое место.

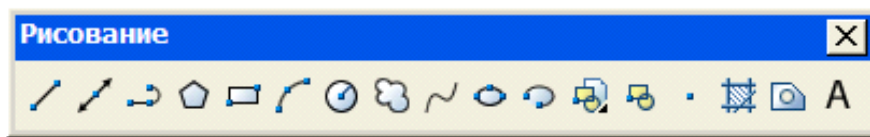


Рис. 2.3. Панель инструментов «Рисование»

Некоторые действия и наборы команд доступны через *контекстные меню*, которые вызываются нажатием правой кнопки мыши в различных зонах экрана. Как правило, контекстные меню предлагают следующие действия:

- повтор последней команды;
- прерывание текущей команды;
- вырезание и копирование в буфер обмена, вставка из буфера обмена;
- выбор различных опций команды;
- вызов диалоговых окон «Настройка», «Адаптация» или «Свойства»;
- отмена результата действия последней выполненной команды.

### 2.1.2. Ввод команд

Ввод команд AutoCAD может производиться любым из следующих способов: выбором пункта меню, щелчком на пиктограмме панели инструментов, вводом имени команды с клавиатуры.

Большая часть команд AutoCAD доступна либо посредством меню, либо через панель.

Для ввода команды с клавиатуры и ее выполнения следует ввести полное имя команды в командной строке, затем нажать клавишу ENTER или ПРОБЕЛ либо щелкнуть правой кнопкой устройства указания.

Большинство команд в ходе выполнения требует от пользователя задания различных режимов их работы – опций. Ввод опций для некоторых команд производится в командной строке, в то время как другие команды предоставляют для этого специальные *диалоговые окна*. Для задания опции в командной строке достаточно напечатать хотя бы часть ее, выделенную заглавными буквами, после чего необходимо нажать клавишу ENTER. Для выбора опции в диалоговом окне нужно щелкнуть на ней устройством указания, а затем нажать кнопку ОК.

Например, при вводе КРУГ в командной строке выдается подсказка:  
3Т/2Т/ККР/<Центр>:

Угловые скобки, в которые заключено слово «*Центр*», означают, что данная опция является текущей. Задать точку центра можно либо набором координат  $X, Y$  на клавиатуре, либо указанием точки на экране.

Для выбора опции достаточно ввести ее часть, выделенную прописными буквами. Регистр здесь значения не имеет. Например, для построения круга по трем точкам (опция **3Т**) нужно ввести **3т**.

Удаление лишних символов в командной строке производится клавишами **BACKSPACE** и **DEL**.

Для повторного вызова последней команды следует нажать либо **ENTER**, либо **ПРОБЕЛ**, либо кнопку ввода устройства указания (правая клавиша мыши). Та же цель может быть достигнута вводом **МНОГОРАЗ** в командной строке перед именем команды (через пробел), например: **МНОГОРАЗ КРУГ**.

Для прерывания команд используется клавиша **ESC** или комбинация клавиш **CTRL+C**, установив соответствующую опцию в диалоговом окне «Установки».

В AutoCAD имеется возможность отмены действия последней или нескольких последних команд. Отмена одной команды производится командой **О**. Повторное выполнение операций, отмененных командами **О** и **ОТМЕНИ** возможно с помощью команды **ВЕРНИ**, которая должна вызываться сразу же после отмены.

Некоторые команды могут вызываться «*прозрачно*», т. е. в процессе выполнения других команд. К их числу относятся, например, команды смены режимов рисования, такие как **ШАГ**, **СЕТКА** или **ПОКАЗАТЬ**.

Для «*прозрачного*» вызова перед именем команды должен следовать апостроф (**'**). Например, для изменения видимой области рисунка в ходе работы команды **ОТРЕЗОК** следует ввести **'ПОКАЗАТЬ**. После завершения команды **'ПОКАЗАТЬ** выполнение команды **ОТРЕЗОК** возобновляется.

Команда **СЕТКА** управляет режимом отображения на экране вспомогательной разметки в виде точек. Команда имеет следующие опции:

**Вкл/Откл** – включение/отключение сетки на экране;

**Шаг** – задает шаг сетки равный шагу перемещения курсора;

**Аспект** – позволяет задать шаг перемещения курсора с различным значением перемещения по осям  $X, Y$ .

Пример обращения к команде из командной строки:

Команда: СЕТКА

Вкл/Откл/Шаг/Аспект <10.0>: (число)

### **2.1.3. Настройка рабочей среды и единиц измерения**

При открытии имеющегося рисунка все системные настройки рабочей среды принимают значения, которые они имели в ходе последнего сеанса работы с ним. То же происходит и при настройке рабочей среды *по шаблону*.

Если же рисунок начинается вновь, пользователю следует задать ряд параметров рабочей среды и режимов работы (рабочих установок), к которым относятся следующие:

*Единицы* изменения – задают систему мер при построении и редактировании объектов: футы и дюймы, миллиметры, мили и т. п.

*Сетка* координатная – выводится на экран для удобства ориентации в текущих единицах и представляет собой набор точек, расположенных на заданном расстоянии друг от друга. Это, в частности, предохраняет от грубых ошибок рисования в случаях частой смены экранного увеличения рисунка.

*Лимиты* чертежа – указывают, какая часть графической области AutoCAD предназначена для рисования. Сетка изображается только в пределах лимитов. Кроме того, лимиты воздействуют на некоторые из операций по изменению видимой части рисунка.

*Шаговая привязка* (дискретное перемещение курсора) позволяет производить точное указание координат. Величина шага не обязательно должна равняться расстоянию между узлами сетки; так, например, при интервале сетки, равном 4 мм, можно установить шаг 1 мм.

AutoCAD позволяет менять установки и в ходе сеанса, если в этом возникает необходимость. Для этого используют следующие команды: **ЕДИНИЦЫ, ШАГ, СЕТКА, ЛИМИТЫ**.

По ходу работы изменение параметров рабочей среды можно выполнить с помощью управляющего окна «Режимы рисования» (рис. 2.4), которое вызывается из раздела главного меню СЕРВИС / РЕЖИМЫ РИСОВАНИЯ.

Если требуется, чтобы создаваемые линии проходили параллельно горизонтальной или вертикальной оси координат, следует включить режим ОРТО.

Установленный набор параметров сеанса можно сделать доступным и в последующих вновь создаваемых рисунках. Для этого следует сохранить рисунок как шаблон. *Шаблон* обычно представляет собой рисунок, не содержащий никаких графических объектов и используемый только для хранения стандартных значений системных переменных.

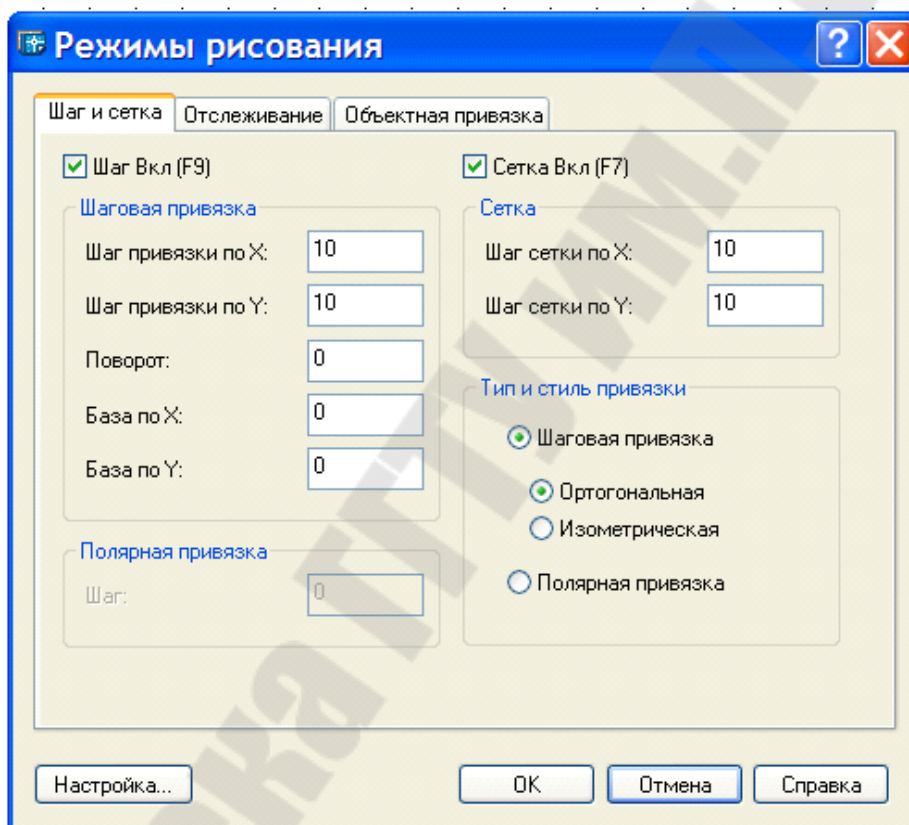


Рис. 2.4. Управляющее окно «Режимы рисования»

При начале работы по *простейшему шаблону* (рис. 2.3) AutoCAD предлагает выбрать систему мер длины (*Британскую* или *Метрическую*) и выполняет настройку рабочей среды, принятую по умолчанию, которая хранится в файле *acad.dwg*, входящий в пакет AutoCAD.

В AutoCAD имеются так называемые *Мастера* – служебные средства для создания нового рисунка. С их помощью можно, используя за основу текущий шаблон, модифицировать некоторые из базовых установок.



*Мастер* вызывается из диалогового окна «Начало работы» (рис. 2.5) и позволяет выполнить *быструю* или *детальную* подготовку рабочей среды.

*Мастер быстрой подготовки* (рис. 2.6) позволяет задать для нового рисунка тип единиц измерения и область рисования. Поддерживаются следующие типы единиц для рисования и вычерчивания: *десятичные, технические, архитектурные, с дробной частью, научные*. Указывая длину и ширину области рисования, пользователь тем самым задает граничные пределы рисунка (так называемые *лимиты*). Именно лимитами определяется размер выведенного впоследствии на плоттер чертежа. После того, как все параметры заданы, *Мастер быстрой подготовки* запускает сеанс рисования.

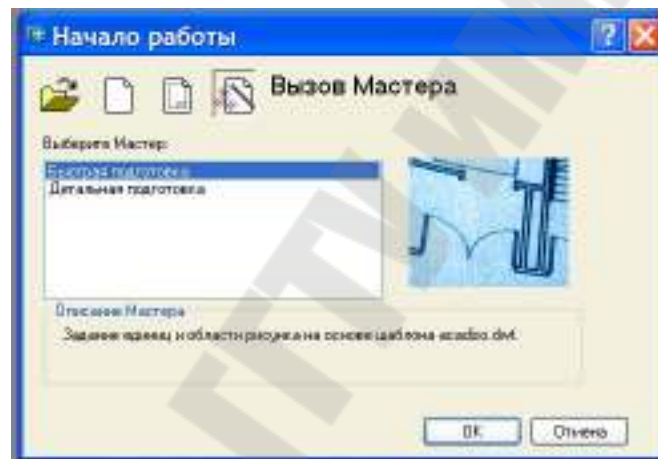


Рис. 2.5. Диалоговое окно «Начало работы»

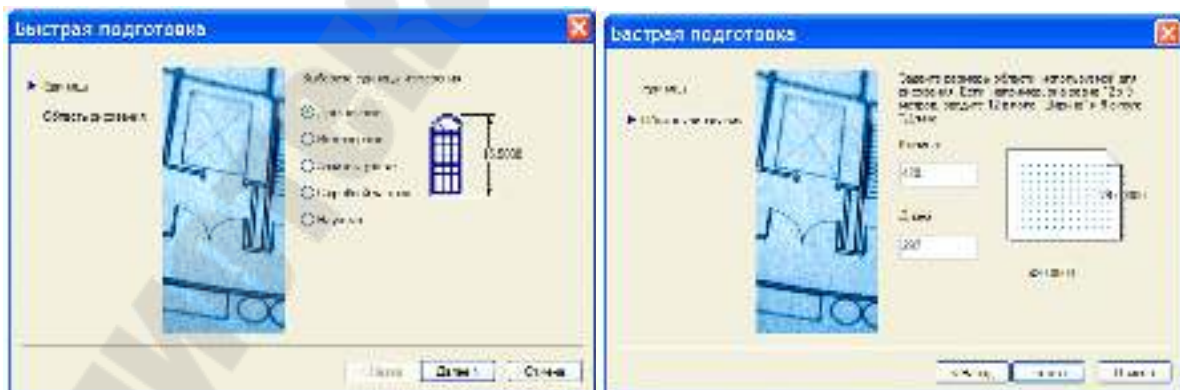


Рис. 2.6. Диалоговое окно «Быстрая подготовка»

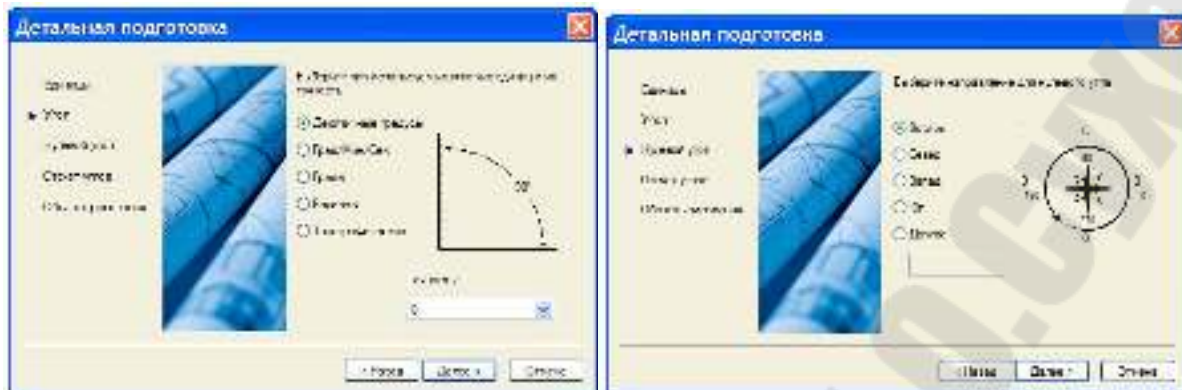


Рис. 2.7. Диалоговое окно «Детальная подготовка»

Мастер детальной подготовки (рис. 2.7) позволяет задать для нового рисунка тип линейных и угловых единиц измерения, точность измерения, способ измерения углов (направление нулевого угла и направление отсчета), размеры области черчения.

#### 2.1.4. Координаты – виды, способы указания и контроля

При работе в двумерном пространстве задание точек производится в плоскости  $XU$ . Эта плоскость называется также плоскостью построений и подобна листу бумаги в клетку. Координата  $X$  определяет расстояние от начала координат по горизонтали, координата  $Y$  – по вертикали. Началом координат  $(0,0)$  считается точка пересечения координатных осей.

Двумерные координаты некоторой точки могут вводиться как в *декартовой* (прямоугольной), так и в *полярной* форме.

*Декартовы координаты*  $X$  и  $Y$  характеризуют смещение точки от начала координат в положительном направлении по оси абсцисс  $X$  и оси ординат  $Y$ . При вводе декартовы координаты разделяются запятой –  $X, Y$ .

*Полярные координаты*  $R$  и  $\alpha$  характеризуют длину отрезка  $R$ , соединяющего описываемую точку с началом координат и угол наклона этого отрезка к горизонтальной оси  $\alpha$ . При вводе полярные координаты разделяются символом открывающей угловой скобки ( $\langle$ ). Например, для указания точки, находящейся на расстоянии 1 единица и под углом  $45^\circ$ , нужно ввести  $1\langle 45$ .

В обоих случаях координаты можно задавать либо в *абсолютном*, либо в *относительном* виде. **Абсолютные** координаты отсчитываются от начала координат (0, 0), **относительные** – от последней указанной точки (т. е. за начало координат принимается последняя указанная точка). Для указания координат в относительном виде перед координатами указывается символ @, например, декартовы координаты @-4,2; полярные – @1<45.

На рис. 2.7 иллюстрируются координаты точек в плоскости XY. Координаты (8,5) говорят о том, что точка смещена от начала координат на 8 единиц в положительном направлении оси X и на 5 единиц в положительном направлении оси Y. Координатами (-4,2) представляется точка, находящаяся в 4-х единицах в отрицательном направлении оси X и в 2-х единицах в положительном направлении оси Y от начала координат.

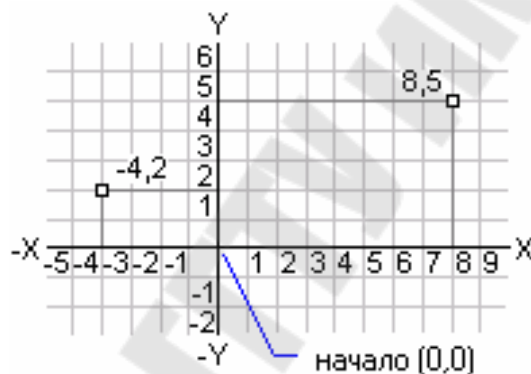


Рис. 2.8. Прямоугольная система координат

Если какая-либо из команд AutoCAD предлагает указать точку, это можно сделать либо *с помощью устройства указания*, либо *вводом значений координат* (явное задание) в командной строке.

**Отображение значений координат.** AutoCAD отображает текущие значения координат курсора в статусной строке. В зависимости от характера обновления имеется три режима отображения координат:

- в **динамическом режиме** обновление координат происходит постоянно по мере перемещения курсора;
- в **статическом режиме** координаты обновляются только при указании точки;
- в режиме «**расстояние-угол**» координаты (в полярном формате *расстояние<угол*) обновляются по мере перемещения курсора.

Переключение режима отображения координат производится клавишей F6 или комбинацией CTRL+D.

**Указание координат** точки при запросе команд может производиться с клавиатуры или курсором с помощью устройства указания. Для точного указания точки в рабочей области чертежа с помощью курсора используются *шаговая* или *объектная привязка* курсора.

**Шаговая привязка** включается для задания перемещения курсора только по определенным точкам, расположенным в узлах воображаемой сетки, ячейки которой задаются с помощью команды **ШАГ**. Команда имеет следующие опции:

**Вкл/Откл** – включение/отключение шага;

**Аспект** – позволяет задать шаг перемещения курсора с различным значением перемещения по осям  $X$ ,  $Y$ ;

**Поворот** – размещает координатную сетку под заданным углом к оси абсцисс;

**Стиль** – задает стандартный или изометрический шаг.

Пример вызова команды:

Команда: **ШАГ**

Вкл/Откл/Аспект/Поворот/Стиль <10.0>: (*число*)

**Объектная привязка курсора** позволяет привязывать курсор к характерным точкам уже имеющихся объектов на рабочем пространстве чертежа (центры кругов, середины отрезков, места пересечения линий и др.). Примеры некоторых характерных точек приведены на рис. 2.9.

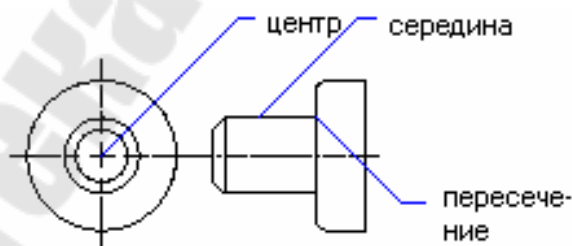


Рис. 2.9. Характерные точки объектной привязки

При перемещении курсора вблизи характерной точки привязки указатель «примагничивается» к такой точке, изменяет свой цвет и форму в зависимости от типа характерной точки. Настройка режима привязки осуществляется в диалоговом окне «Режимы объектной привязки»

(рис. 2.10), которое активизируется при двойном щелчке по кнопке «Привязка» в строке состояния.

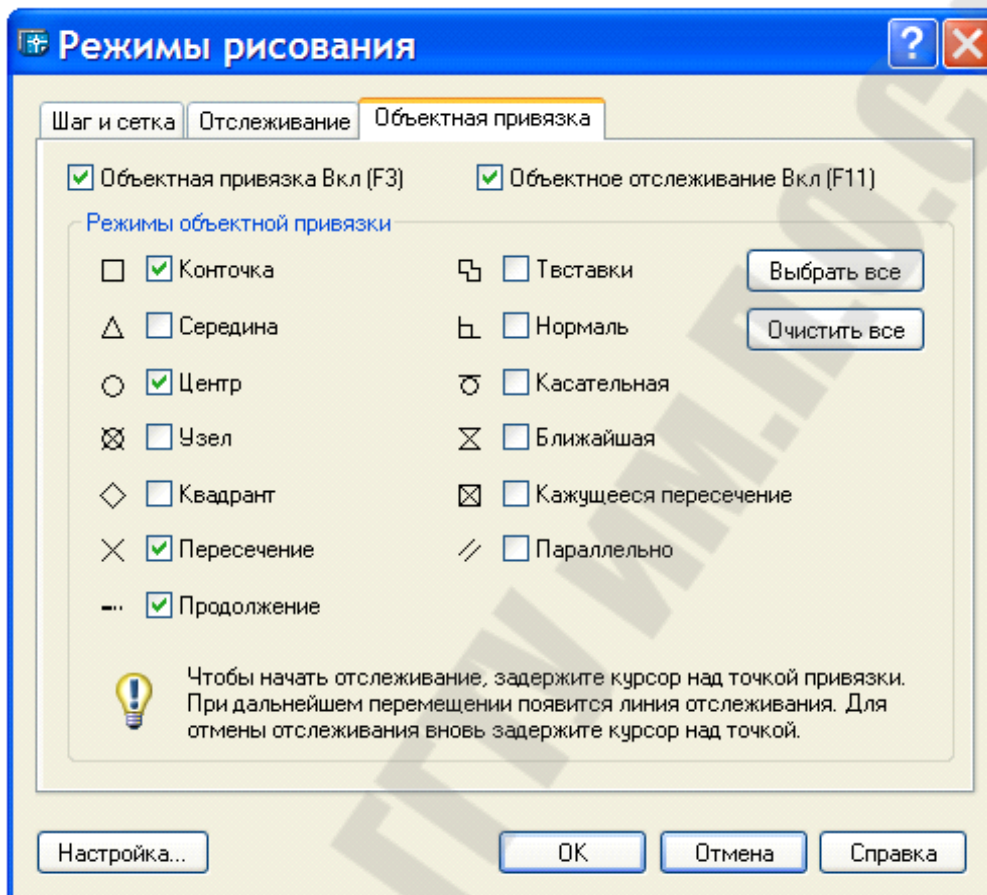


Рис. 2.10. Панели диалогового окна «Режимы объектной привязки»

### 2.1.5. Управление выводом на печать

После завершения компоновки чертеж выводится на принтер или плоттер с помощью команды **ЧЕРТИ** или из меню **ФАЙЛ / ПЕЧАТЬ**. При вводе команды на экран выводится диалоговое окно «Печать» (рис. 2.11) для управления и настройки режимов печати. С помощью этого диалогового окна можно вывести рисунок на плоттер, предварительно задав *область черчения, масштаб, поворот чертежа и положение бумаги*, а также установить соответствия номеров перьев плоттера и цветов графических объектов чертежа.

При нажатии кнопки «Выбор устройства и умолчаний» можно увидеть или изменить информацию об устройстве, сохранить или счи-

тать значения по умолчанию из PSC-файла, увидеть или изменить конфигурацию чертежа, зависящую от конкретного устройства.

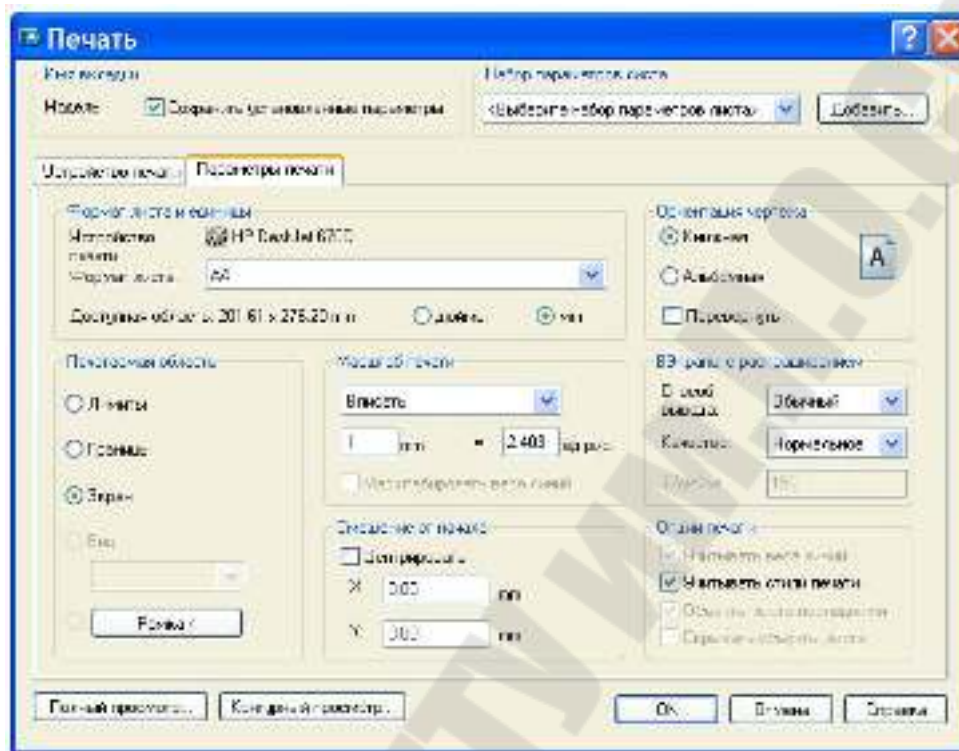


Рис. 2.11. Панель диалогового окна «Печать»

Кнопка «Присвоения перьев» используется для задания цветам чертежа соответствующих перьев, типов линий, скоростей перемещения и толщин пера в зависимости от имеющегося плоттера.

Для указания прямоугольной области чертежа, подлежащей выводу на печать, используются следующие переключатели:

*Экран* – печать области чертежа, видимой в рабочем окне;

*Границы* – печать чертежа в пределах границ объектов;

*Лимиты* – область печати ограничивается лимитами чертежа.

Кнопка «Рамка» позволяет пользователю указать с помощью устройства указания область для вывода на печать в виде прямоугольной рамки на чертеже.

Переключателями «Дюймы» и «ММ» выбирается единица измерения для построения чертежа.

Используя область управляющих элементов «Ориентация чертежа», можно установить угол поворота чертежа по часовой стрелке на 0,

90, 180 или 270°, а в группе «*Смещение от начала*» указать смещение начала отсчета чертежа по оси *X* и *Y* относительно левого нижнего угла листа бумаги.

С помощью установок области «*Масштаб печати*» пользователь может задать масштаб рисунка при выводе на печать, либо указав соотношение единиц чертежа и единиц рисунка, либо выбрав желаемый масштаб из выпадающего списка. Для того, чтобы полностью заполнить пространство чертежного листа рисунком AutoCAD, необходимо установить масштаб печати «*Вписанный*».

Кнопка «*Полный просмотр*» позволяет предварительно просматривать на экране монитора вычерчиваемую область или ее контур («*Контурный просмотр*») виртуально распечатанным на выбранном формате бумаги, чтобы проверить правильность текущих настроек печати перед выводом на бумагу.

### **2.1.6. Управление изображением на экране**

При выполнении чертежей, рисунков или схем из-за ограниченного пространства экрана монитора возникает необходимость управления изображением на экране. Команда **ПОКАЗАТЬ** увеличивает изображение на экране так, что становятся видны мелкие детали, или уменьшает его (для просмотра большого рисунка в целом на ограниченном пространстве монитора).

Команда **ПОКАЗАТЬ** имеет различные способы управления изображением чертежа в видовом экране, которые доступны через следующие опции:

**Все** – вывод всего рисунка в видовом экране;

**Центр** – центровка изображения относительно некоторой точки;

**Динамика** – позволяет выбрать область рисунка для вывода на экран с помощью динамической рамки, размеры которой всегда пропорциональны размерам видового экрана. Положение рамки и ее площадь относительно всего чертежа можно изменять, используя устройство указания;

**Границы** – изображает текущий рисунок на видовом экране;

**Предыдущий** – восстанавливает предыдущий изображение;

**Масштаб (X / XL)** – масштабирование отображения чертежа абсолютно (*X*) или относительно текущего (число *X*) отображения;

**Рамка** – вывод части рисунка, ограниченной задаваемой пользователем рамкой, во весь экран;

**Реальное время** – непосредственное изменение размеров чертежа на видовом экране пропорционально перемещению мыши вверх (увеличение) или вниз (уменьшение) при нажатой левой кнопке.

Доступ к команде **ПОКАЗАТЬ** и ее различным опциям возможен из меню ВИД / ПОКАЗАТЬ, а также через пиктограммы на панели инструментов «Стандартная».

При выполнении чертежа на экране появляются маркеры, отмечающие указываемые точки. Для очистки изображения на экране от таких элементов и обновления монитора его можно *перерисовывать* или *регенерировать*. При регенерации, кроме перерисовки изображения текущего видового экрана, производится пересчет экранных координат всех объектов базы данных рисунка. Таким образом, перерисовка происходит быстрее, чем регенерация.

*Перерисовка* изображения осуществляется командой **ОСВЕЖИТЬ**, которая активизируется пользователем из командной строки, или из меню ВИД / ОСВЕЖИТЬ, а также с помощью соответствующей пиктограммы на панели «Стандартная».

*Регенерации* рисунка осуществляется командой **РЕГЕН** или из меню ВИД / РЕГЕНЕРИРОВАТЬ.

## 2.2. Построение объектов в AutoCAD

С помощью средств рисования AutoCAD можно создавать различные объекты – от простейших отрезков и окружностей до сплайновых кривых, эллипсов и заштрихованных областей. При рисовании объектов AutoCAD требует указывать опорные точки для их построения, а также некоторые размеры, которые пользователь должен указать либо с помощью устройства указания, либо вводом значений координат или размеров в командной строке. Команды построения объектов доступны из меню РИСОВАНИЕ.

### 2.2.1. Построение линейных объектов

Линии могут быть выполнены *отрезками* (одиночными или объединенными в ломаную линию) или *полилиниями*.

*Отрезки* используются, если требуется работа с каждым сегментом линии в отдельности. Если же необходимо, чтобы набор линейных сегментов был единым объектом, лучше применять *полилинии*.



Команда **ОТРЕЗОК** выполняет построение одного или нескольких отрезков и имеет следующие опции:

**Отмени** – отменяет построение последнего сегмента;

**Замкни** – соединяет начало первого построенного отрезка с концом последнего.

Для рисования нового отрезка с началом в конечной точке последнего из нарисованных отрезков нужно вновь вызвать команду **ОТРЕЗОК** и в ответ на запрос указания первой точки нажать ENTER.

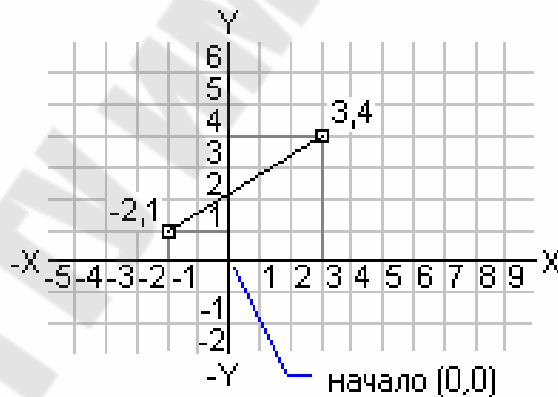
В примерах построения отрезков, приведенных ниже, для указания положения точек использованы декартовы и полярные координаты в абсолютном и относительном виде.

**Пример 2.1.** Построить отрезок с началом в точке  $(-2,1)$  и концом в точке  $(3,4)$ .

Команда: **ОТРЕЗОК**

От точки:  $-2,1$

К точке:  $3,4$



**Пример 2.2.** Построить равносторонний треугольник, одна из вершин которого имеет координаты  $(30,60)$ , а основание длиной 50 мм наклонено к горизонтали на угол  $30^\circ$ .

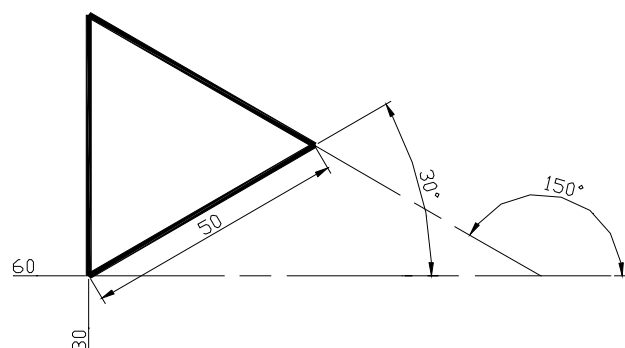
Команда: **ОТРЕЗОК**

От точки:  $30,60$

К точке:  $@50<30$

К точке:  $@50<150$

К точке: Замкни



Линия, состоящая из прямолинейных и дуговых сегментов, образующих единый объект, строится с помощью команды **ПЛИНИЯ**.

*Полилиния* используются, если предполагается работа с набором линейных и дуговых сегментов как единым объектом. Причем различные сегменты могут иметь различную ширину (как по всей длине, так и в начале и конце каждого участка) и кривизну.

Команда **ПЛИНИЯ** имеет следующие опции:

*Дуга* – переключение в режим создания дуговых сегментов полилиний. Дуги описываются заданием *угла, центра, направления* или *радиуса* с помощью соответствующих подопций. Кроме того, дугу можно построить указанием второй и конечной точек (см. команду **ДУГА**). Переход в режим создания линейных сегментов выполняется опцией **ОТРЕЗОК**;

*Замкни* – создание замкнутых полилиний;

*Полуширина* – создание широких полилиний. Для каждого сегмента можно задать свое значение ширины; кроме того, сегменты могут сужаться или расширяться, если значения ширины в начальной и конечной точках различны. Опцией *Полуширина* можно задавать расстояние от осевой линии широкой полилинии до ее края;

*Длина* – задает длину сегмента;

*ОТМени* – отменяет ввод последнего сегмента;

*Ширина* – аналогично опции *Полуширина* можно задавать расстояние от осевой линии широкой полилинии до ее края.

**Пример 2.3.** Построить указатель направления в виде стрелки, выходящий из точки с координатами (20,50). Размеры указателя приведены на рис. 2.12.

Команда: **ПЛИНИЯ**

От точки: 20,50

Текущая ширина полилинии равна 0.0000

ДУ/З/П/ДЛ/ОТМ/Ш/<Конечная точка сегмента>: Ш

Начальная ширина <0.0000>: 5

Конечная ширина <5.0000>:

ДУ/З/П/ДЛ/ОТМ/Ш/<Конечная точка сегмента>: @40,0

ДУ/З/П/ДЛ/ОТМ/Ш/<Конечная точка сегмента>: Ш

Начальная ширина <5.0000>: 20

Конечная ширина <20.0000>: 0

ДУ/З/П/ДЛ/ОТМ/Ш/<Конечная точка сегмента>: ENTER

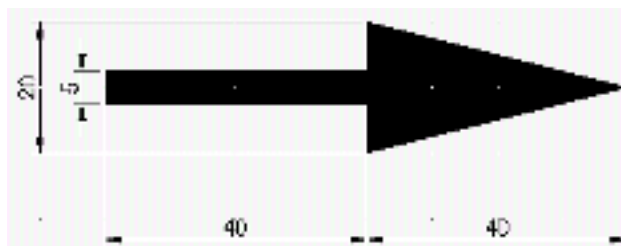


Рис. 2.12. Указатель направления

Построение пучка параллельных линий (мультилиния) производится командой **МЛИНИЯ**.

Кроме отрезков и полилиний AutoCAD позволяет вычерчивать замкнутые геометрические фигуры, содержащие множество линейных сегментов, в виде *многоугольников* и *прямоугольников*.

*Многоугольники* представляют собой замкнутые полилинии с количеством сторон от 3 до 1024 равной длины. С помощью многоугольников можно создавать квадраты, равносторонние треугольники, правильные восьмиугольники и т. д.

Для построения многоугольника используется команда **МН-УГОЛ**, которая запрашивает число сторон фигуры, а также дополнительные параметры для построения в зависимости от выбранной опции:

**Вписанный** – радиус окружности, в которую вписан многоугольник;

**Описанный** – радиус окружности, вписанной в многоугольник;

**Сторона** – начало и конец одной из сторон многоугольника.

**Пример 2.4.** Построить два шестиугольника, один из которых вписан, а второй описан относительно окружности радиусом 30 мм. Центры фигур расположены в точках с координатами (40,130) и (120,130).

Команда: **МН-УГОЛ**

Число сторон: 6

Сторона / <Центр многоугольника>: 40,130

Вписанный / Описанный вокруг окружности <В>: О

Радиус окружности: 30

Команда: **МН-УГОЛ**

Число сторон: 6

Сторона / <Центр многоугольника>: 120,130

Вписанный / Описанный вокруг окружности <В>: В

Радиус окружности: 30

**Пример 2.5.** Построить восьмиугольник, одна из сторон которого опирается на точки с координатами (170,90) и (200,80).

Команда: **МН-УГОЛ**

Число сторон <6>:

Сторона/<Центр многоугольника>: С

Первый конец стороны: 170,90

Второй конец стороны: 200,80

Результаты построения многоугольников приведены на рис. 2.13.

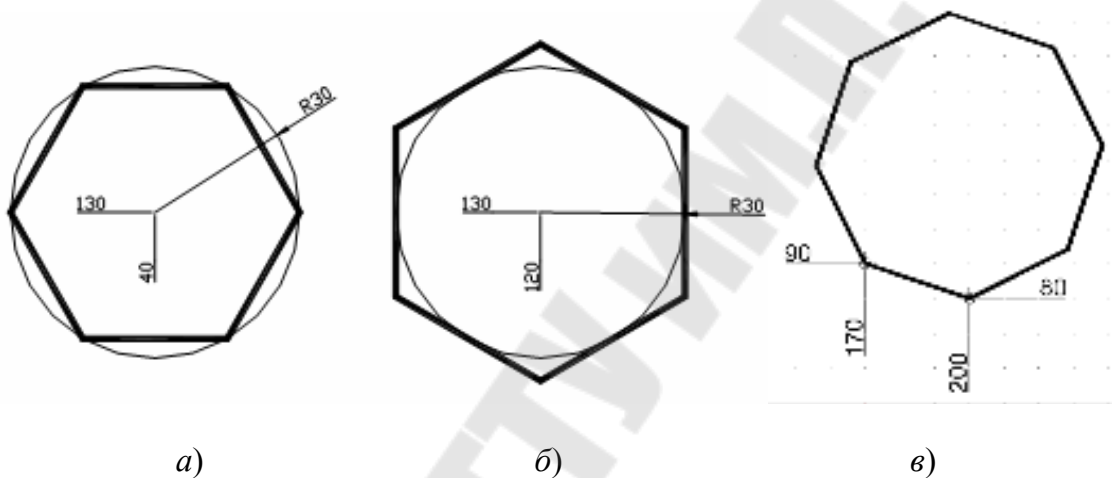


Рис. 2.13. Построение многоугольников:  
а – вписанного; б – описанного; в – по стороне



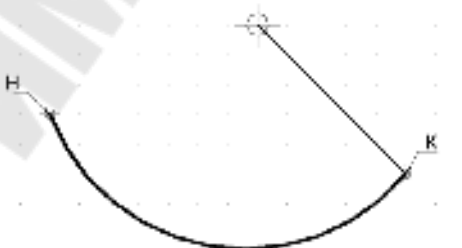
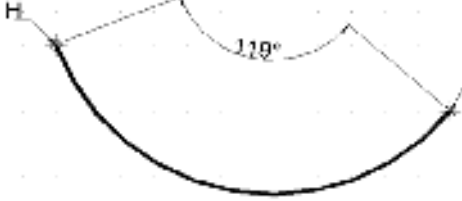
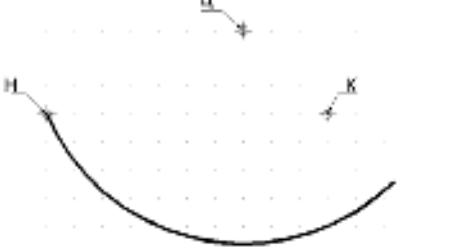
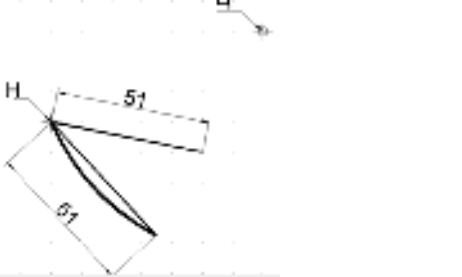
### 2.2.2. Построение криволинейных объектов

К криволинейным объектам относятся дуги, круги, полилинии, кольца, эллипсы и сплайны, которые можно вычертить с помощью одноименных команд.

Дуга строится с использованием различных сочетаний таких параметров, как центральная, начальная и конечная точки, радиус, центральный угол, длина и направление хорды. Различные сочетания параметров дуги и способы их построения приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Способы построения дуги

Способы построения	Пример построения
по ТРЕМ ТОЧКАМ (начальная, вторая, конечная)	
по НАЧАЛУ, КОНЦУ и НАПРАВЛЕНИЮ КАСАТЕЛЬНОЙ	
по НАЧАЛУ, КОНЦУ и РАДИУСУ	
по НАЧАЛУ, КОНЦУ и центральному УГЛУ (или в другом порядке)	
по НАЧАЛУ, ЦЕНТРУ и КОНЦУ	
по НАЧАЛУ, ЦЕНТРУ и ДЛИНЕ хорды	

В некоторых случаях необходимо выполнить построение *смежных* дуг и отрезков. Из конечной точки дуги можно провести отрезок, вызвав команду **ОТРЕЗОК** и нажав ENTER в ответ на запрос «Начальная точка» (рис. 2.14). Начальная точка отрезка и его направление (по касательной) определяется конечной точкой дуги. От пользователя в данном случае требуется только задать его длину.

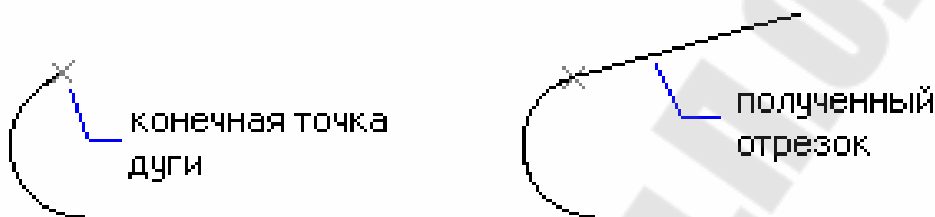


Рис. 2.14. Построение отрезка, смежного дуге

Из конечной точки отрезка можно провести дугу, вызвав команду **ДУГА** и нажав ENTER в ответ на запрос «Начальная точка». Начальная точка дуги определяется конечной точкой отрезка. Направление дуги определяется таким образом, что отрезок образует касательную к создаваемой дуге. От пользователя в данном случае требуется только задать конечную точку дуги.

Для построения последовательности дуг, соединенных между собой, из меню РИСОВАНИЕ следует выбрать «Дуга», затем выбрать «Продолжить». В данном случае смежные дуги имеют общую касательную в точке соединения. Последующие касательные дуги можно строить с помощью пункта «Повторить Продолжить» контекстного меню.

**Круг** вычерчивается по заданным центру и радиусу (диаметру). Кроме того, AutoCAD позволяет использовать еще три дополнительных метода, которые определяются выбранной опцией:

- 3Т** – по трем точкам, через которые проходит окружность;
- 2Т** – по двум точкам, определяющим диаметр окружности;
- ККР** – по двум точкам касания других объектов и радиусу окружности.

Различные методы построения окружностей показаны на рис. 2.15.

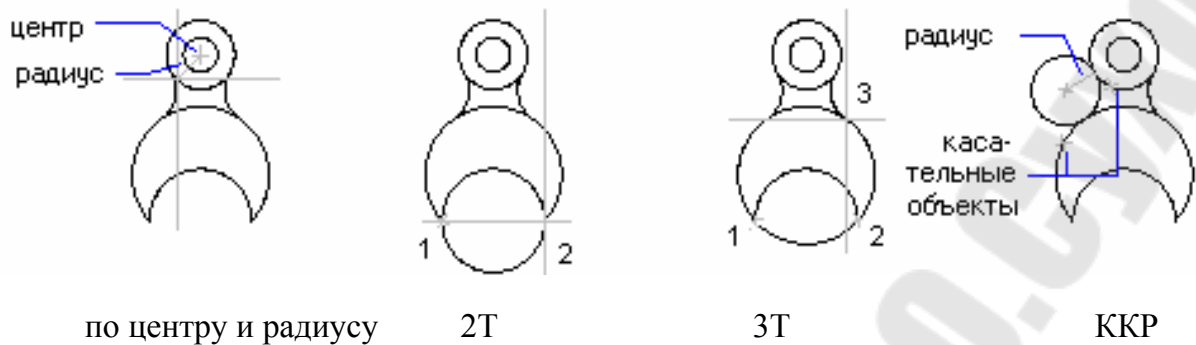


Рис. 2.15. Построение окружностей

**Пример 2.6.** Построить окружность с центром в точке (100,200) и радиусом 50 мм.

Команда: **КРУГ**  
 3Т / 2Т / ККР / <Центр> : 100,200  
 Диаметр / <Радиус>: 50

**ПОЛИЛИНИЯ** позволяет вычерчивать дугообразные сегменты при включении опции *Дуга*.

**КОЛЬЦО** – команда требует задать внутренний и внешний диаметры кольца, а также его центр. Команда позволяет построить любое количество колец, имеющих одинаковые диаметры, но разные центры. Если требуется построить закрашенный круг, следует задать нулевой внутренний диаметр кольца.

**Пример 2.7.** Построить кольцо с центром в точке (60,60), толщиной 5 мм и внешним диаметром 50 мм.

Команда: **КОЛЬЦО**  
 Внутренний диаметр <0.5>: 40  
 Внешний диаметр <1.0>: 50  
 Центр кольца: 60,60



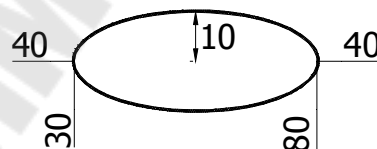
Команда **ЭЛЛИПС** вычерчивает эллипсы и эллиптические дуги путем задания двух осей – *большой* (более длинная ось) и *малой* (короткая ось). По умолчанию построение эллипсов производится указанием начала и конца первой оси, а также половины длины второй оси (рис. 2.16). Порядок определения осей может быть любым.



Рис. 2.16. Построение окружностей

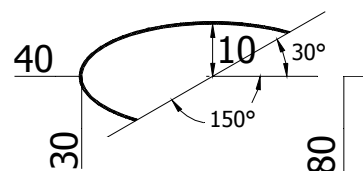
**Пример 2.8.** Построить эллипс с координатами большой оси (30,40) и (80,40). Половина длины малой оси 10 мм.

Команда: ЭЛЛИПС  
 Дуга/Центр/<1-й конец оси>: 30,40  
 2-й конец оси: 80,40  
 <Длина другой оси> / Поворот: 10



**Пример 2.9.** Построить эллиптическую дугу, охватывающую часть эллипса, ограниченную углами 30° и 210°.

Команда: ЭЛЛИПС  
 Дуга/Центр / <1-й конец оси>: 30,40  
 2-й конец оси: 80,40  
 <Длина другой оси> / Поворот: 10  
 Параметр/<начальный угол>: 30  
 Параметр/Внутренний/<конечный угол>: 210



Имеются и другие способы построения эллипсов – по центру эллипса, конечной точке первой оси и половине длины второй оси, а также по центру эллипса, конечной точке первой оси и углу поворота относительно главной оси. В последнем случае эллипс получается как проекция окружности с диаметром, равными длине первой оси, повернутой относительно этой оси на заданный угол поворота.

Команда **СПЛАЙН** вычерчивает гладкую кривую, проходящую через заданный набор точек или рядом с ними. Пользователь может задавать точность прохождения кривой через определяющие точки.



### 2.2.3. Построение опорных точек

Объекты-точки рекомендуется использовать в качестве геометрических опорных узлов для объектной привязки и относительных смещений. Форму символа-точки и его размер можно задать относительно размера экрана либо в абсолютных единицах. Диалоговое окно для изменения формата точек доступно через меню **ФОРМАТ / ОТОБРАЖЕНИЕ ТОЧЕК** (рис. 2.17).

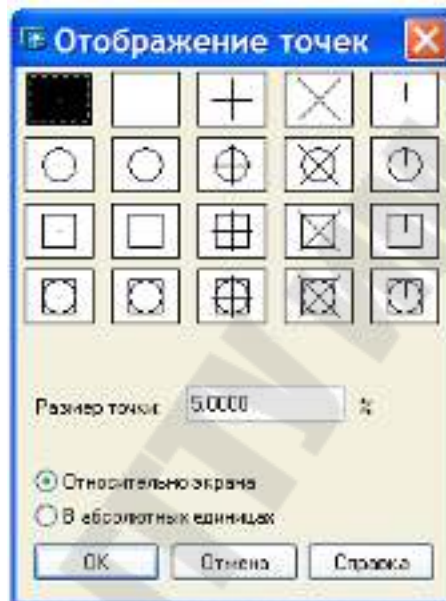


Рис. 2.17. Диалоговое окно «Изображение точек»

Команда **ТОЧКА** размещает точки в местах чертежа, задаваемых пользователем. При изменении формы символов точек изменяется вид отображаемых объектов-точек всего рисунка.

Для вывода рисунка с измененной формой точек следует запустить команду **РЕГЕН**.

### 2.2.4. Штрихование

Штрихованием называется заполнение указанной области по определенному образцу. Штрихование замкнутой области или контура производится с помощью команд **ШТРИХ** и **КШТРИХ**.

Команда **КШТРИХ** управляет настройками штриховки с помощью диалогового окна «Штриховка по контуру» (рис. 2.18) и позволяет наносить *ассоциативную* и *неассоциативную* штриховку. Ассоциативность означает, что при изменении границ области штрихования изменяется и штриховка. Неассоциативная штриховка не зависит от контура границы.

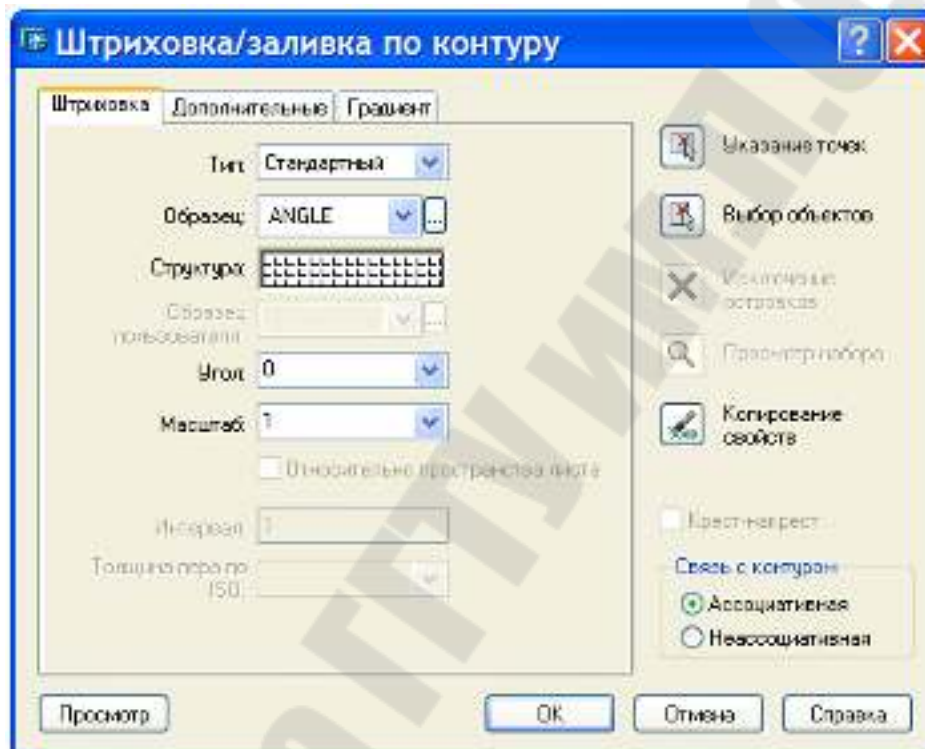


Рис. 2.18. Диалоговое окно «Штриховка по контуру»

С помощью диалогового окна пользователь должен указать **тип** образца штриховки:

- *стандартный* – для штриховки используется один из имеющихся на диске образцов узоров;
- *из линий* – штриховка выполняется линией текущего типа;
- *пользовательский* – для штриховки используется узор, созданный пользователем и имеющийся на диске в отдельном файле.

Конкретный стандартный тип штриховки устанавливается пользователем указанием имени *образца* через выпадающий список или из на-

бора образцов при нажатии кнопки «Образец». Кроме того, можно установить *угол поворота* стандартной штриховки и ее *масштаб* по отношению к стандартному образцу.

При штриховке линиями можно задать *угол* наклона и *интервал* между штриховыми линиями, а также задать режим штрихования *крест-накрест*.

Определение контура в команде **КШТРИХ** производится автоматически на основании *указания точки*, принадлежащей штрихуемой области. Все объекты, полностью или частично попадающие в область штриховки и не являющиеся ее контуром, игнорируются и не влияют на процесс штриховки. Контур может содержать выступающие края и островки, которые можно либо штриховать, либо пропускать. Островками называются замкнутые области, расположенные внутри области штрихования. Контур можно определять также путем *выбора объектов*. Тот или иной способ указания области штрихования активизируется при нажатии соответствующей кнопки в диалоговом окне.

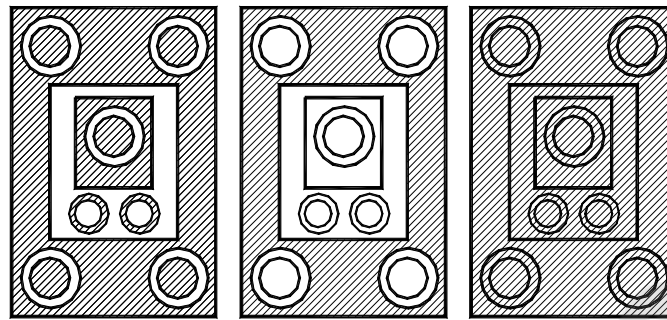
Контур могут представлять собой любую комбинацию отрезков, дуг, окружностей, полилиний и других объектов. Каждый из компонентов контура должен хотя бы частично находиться на текущем виде. По умолчанию AutoCAD определяет контуры путем анализа всех замкнутых объектов рисунка. Убрать из множества обнаруженных контуров не подлежащие штрихованию можно при использовании кнопки «*Исключение островков*».

Штрихование обнаруженных контуров производится в зависимости от *стиля штриховки*, установка которого выполняется в закладке «*Дополнительные*»:

– **нормальный** – островки (вложенные контуры) штрихуются через один (рис. 2.19, а);

– **внешний** – штрихуется область только до первого островка (рис. 2.19, б);

– **игнорирующий** – все островки игнорируются (рис. 2.19, в).



а) б) в)

Рис. 2.19. Стили штрихования:  
а – нормальный; б – внешний; в – игнорирующий

Для заполнения областей штрихования градиентными заливками используется закладка «Градиент».

Команда **ШТРИХ** позволяет наносить только неассоциативную штриховку, которая может использоваться, например, для штрихования участков рисунка, не имеющих замкнутых границ. Команда **ШТРИХ** доступна только из командной строки.

### 2.2.5. Выполнение надписей

В AutoCAD возможно выполнение текстовых надписей в виде *однострочного* текста (каждая строка текста является самостоятельным объектом) или *многострочного* (множество строк являются единым объектом).

Для выполнения однострочного текста используется команда **ДТЕКСТ**, которая запрашивает следующие параметры:

- *начальная точка*, относительно которой будет размещаться текст;
- *высота* символов текста;
- *угол поворота* надписи по отношению к горизонтали.

Перед указанием начальной точки пользователь может задать способ *выравнивания* относительно начальной точки и *стиль* гарнитуры шрифта для выполнения текста, выбрав одноименные опции.

На рис. 2.20 показана схема размещения текста (прямоугольник) относительно начальной точки (символ ×) для различных опций выравнивания.

нивания. Первый символ опции означает положение точки по вертикали (Верх, Середина, Низ), а второй – по горизонтали (Лево, Центр, Право).

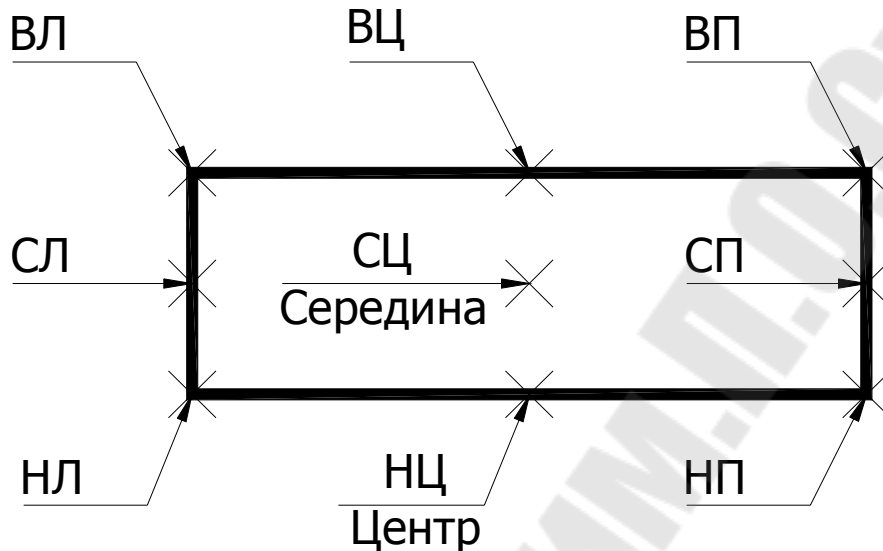


Рис. 2.20. Схема размещения начальной точки относительно текста при различных способах выравнивания

Для случаев, когда длина текстовой надписи должна быть ограничена, используются опции для вписывания текста между двумя точками:

**ВПИСанный** – текст вписывается за счет автоматического подбора ширины шрифта;

**Поширине** – текст вписывается за счет автоматического подбора высоты шрифта.

**Пример 2.10.** Выполнить надпись «Привет, AutoCAD!», отцентрированной относительно точки с координатами (20,40) и высотой шрифта 10 мм.

Команда: ДТЕКСТ

Выравнивание / Стиль / <Начальная точка>: В

ВПИСанный

Поширине/Центр/Середина/ВПраво/ВЛ/ВЦ/ВП/СЛ/СЦ/СП/НЛ/НЦ/НП: Ц

Выравнивание / Стиль / <Начальная точка>: 20,40

Высота <0.20>: 10

Угол поворота <0.0>: 0

Текст: Привет, AutoCAD!

Текст: ENTER

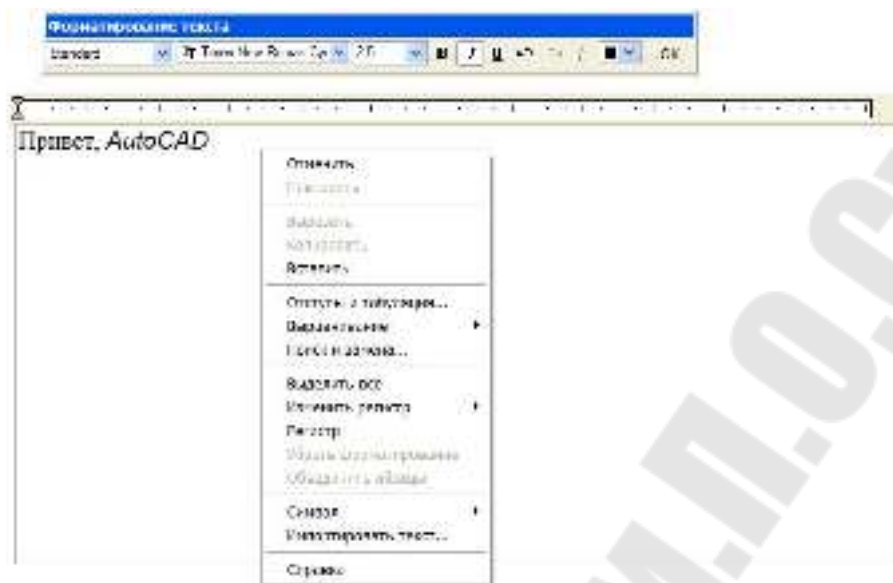


Рис. 2.21. Диалоговое окно «Редактор многострочного текста»

Для выполнения однострочного текста используется команда **МТЕКСТ**, которая запрашивает координаты противоположных углов прямоугольной области, в которой будет размещаться текст, после чего пользователь, используя диалоговое окно «Редактор многострочного текста» (рис. 2.21), набирает текст.

В окне редактора из контекстного меню доступны следующие основные функции:

- изменение гарнитуры шрифта и высоты символов;
- использование жирного, наклонного и подчеркнутого текста;
- вставка символов из других наборов шрифтов;
- изменение цвета отдельных символов;
- оперативное управление способом выравнивания текста;
- поиск и замена текста;
- импорт текста из внешнего RTF-файла.

**Пример 2.11.** Выполнить надпись из примера 2.10 как многострочный текст высотой шрифта 2,5 мм.

Команда: **МТЕКСТ**

Текущий текстовый стиль: STANDARD. Высота текста: 2,5

Первый угол:

Противоположный угол или [Высота/Выравнивание/Поворот/Стиль/Ширина]:

С каждой текстовой надписью в AutoCAD связан некоторый текстовый стиль. При нанесении надписей используется текущий стиль, который задает параметры текста, полный перечень которых приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

### Параметры текстового стиля

Параметр	По умолчанию	Описание
Имя стиля	STANDARD	Может содержать до 31 символа
Файл шрифта	txt.shx	Файл, задающий шрифт (дизайн литер)
Высота	0	Высота символов. Если задана фиксированная высота текста, при создании однострочных надписей запрос «Высота» не выводится. При необходимости нанесения надписей разной высоты с использованием одного и того же текстового стиля следует указать высоту, равную 0
Степень сжатия	1	Растяжение или сжатие символов
Угол наклона	0	Наклон символов надписи вправо (положительное значение) или влево (отрицательное значение) относительно угла 90°
Справа налево	Нет	Написание текста справа налево
Перевернутый	Нет	Написание текста в перевернутом виде
Вертикально	Нет	Вертикальное или горизонтальное расположение текста

При нанесении текста можно использовать стиль по умолчанию (STANDARD), модифицировать его, загрузить другой стиль или создать собственный. Созданный стиль может быть впоследствии модифицирован, переименован или удален. Значения параметров, определяемые текущим текстовым стилем, выводятся по умолчанию в командной строке.

Все текстовые стили, кроме STANDARD, пользователю необходимо создавать самому. Вновь вводимый текст наследует высоту, степень сжатия/растяжения, угол наклона и другие параметры (написание справа налево, перевернутое и вертикальное), задаваемые текущим стилем. Создание и модификация текстового стиля могут производиться либо в

диалоговом окне «Текстовые стили» (рис. 2.22), либо в командной строке. Диалоговое окно активизируется из меню ФОРМАТ / ТЕКСТОВЫЕ СТИЛИ или командой СТИЛЬ.

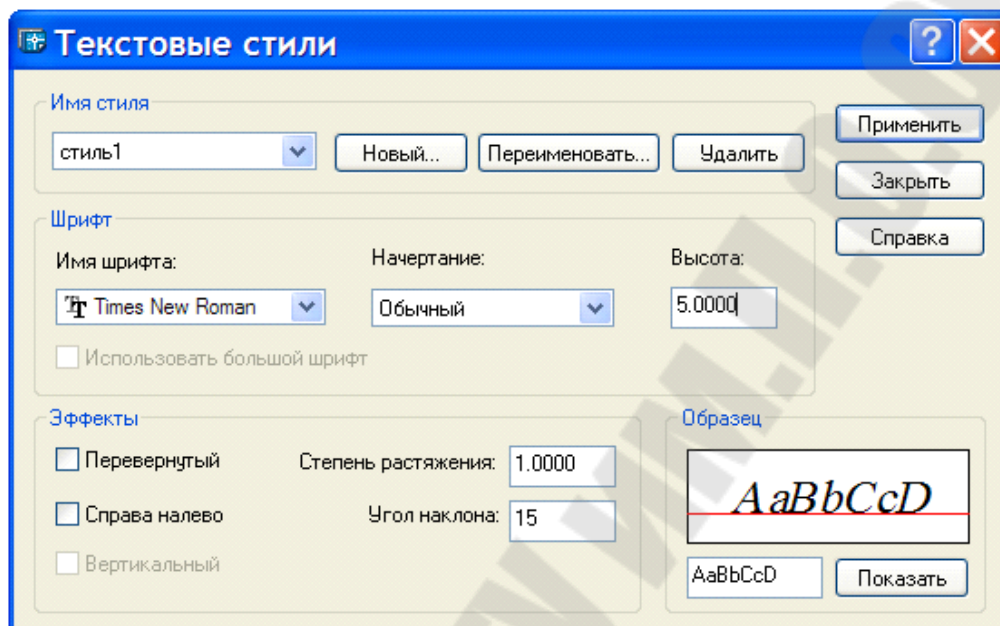


Рис. 2.22. Диалоговое окно «Текстовые стили»

Для создания текстового стиля в диалоговом окне «Текстовые стили» используется кнопка «Новый» и в появившемся окне «Новый текстовый стиль» вводится имя стиля. Новому стилю присваиваются значения параметров, заданные первоначально в окне «Текстовые стили». При необходимости они могут быть изменены и сохранены при нажатии кнопки «Применить».

Модификация имеющегося стиля также выполняется в диалоговом окне «Текстовые стили».

Если в имеющемся текстовом стиле изменяются шрифт или ориентация текста (вертикально/горизонтально), все надписи, выполненные этим стилем, регенерируются с учетом измененных параметров. Изменение других характеристик (высоты текста, коэффициента сжатия и угла наклона) не влияет на имеющиеся текстовые объекты и учитывается только во вновь создаваемых надписях. Изменение выравнивания, ширины и угла поворота не отражается на многострочных надписях.



## 2.3. Слои, цвета и типы линий

### 2.3.1. Работа со слоями

*Слои* подобны лежащим друг на друге прозрачным листам кальки и используются для группирования на них различных типов данных рисунка. Расположение объектов на различных слоях позволяет упростить многие операции по управлению данными рисунка.

Построенные объекты всегда размещаются на определенном слое. Им может быть как слой по умолчанию, так и слой, определенный и именованный самим пользователем.

С каждым слоем связаны свои *цвета*, позволяющие различать сходные элементы рисунка и *типы линий*, которые используются для быстрого распознавания таких элементов, как осевые или скрытые линии. Например, можно создать отдельный слой для размещения осевых линий и назначить ему голубой цвет и тип линии ОСЕВАЯ. Впоследствии, если потребуется построить осевую линию, нужно переключиться на этот слой и начать рисование.

Для всех слоев справедливы одни и те же лимиты рисунка, система координат и коэффициент экранного увеличения.

В начале работы с новым рисунком AutoCAD создает слой с именем 0; этот слой нельзя удалить. По умолчанию слою 0 назначается цвет 7 (белый) и тип линии CONTINUOUS (сплошная). Слой 0 не может быть удален.

Для каждой связанной группы элементов рисунка (стен, размеров и т. п.) можно создать отдельный слой, назначив ему имя, цвет и тип линии.

Управление слоями осуществляется командой **СЛОЙ** или с помощью диалогового окна «Диспетчер свойств слоев» (рис. 2.23), которое доступно из меню ФОРМАТ / СЛОИ, а также активизируется при нажатии кнопки на панели инструментов «Свойства объектов».

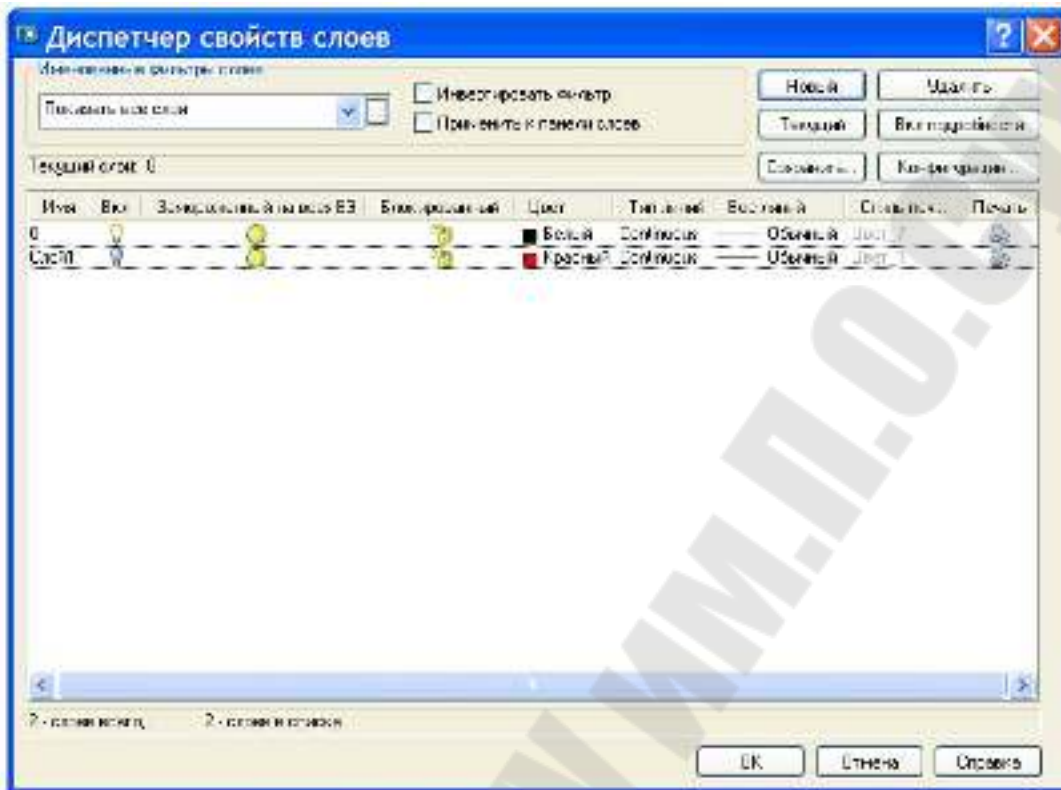


Рис. 2.23. Диалоговое окно «Диспетчер свойств слоев»

Для **создания нового слоя** используется кнопка «Новый». В списке появится новый слой с временным именем «Слой1». Пользователь может ввести имя нового слоя, содержащее не более 31 символа без пробелов. Все новые слои автоматически именуются в порядке их создания: «Слой1», «Слой2» и т. д. Для **переименования слоя** и предания его имени большей осмысленности в конкретном рисунке необходимо щелкнуть мышью на его имени и ввести новое имя. Имена слоев можно изменять в любой момент сеанса работы.

Новому слою по умолчанию назначается белый цвет и тип линии CONTINUOUS. Если один из имеющихся слоев подсвечен при создании нового слоя, то новый слой наследует свойства (цвет и тип линий) имеющегося подсвеченного слоя. Данные свойства нового слоя могут быть при необходимости изменены. Все объекты, создаваемые на слое, будут иметь назначенные этому слою цвета и типы линий.

**Назначение цветов и типов линий слоям** осуществляется в диалоговом окне «Параметры слоев и типов линий» либо путем щелчка

мышью на пиктограмме «Цвет» или «Тип линий» в списке имеющихся слоев, либо выбором в списке «Цвет» или «Тип линий» после нажатия кнопки «Вкл. подробности» (рис. 2.24).

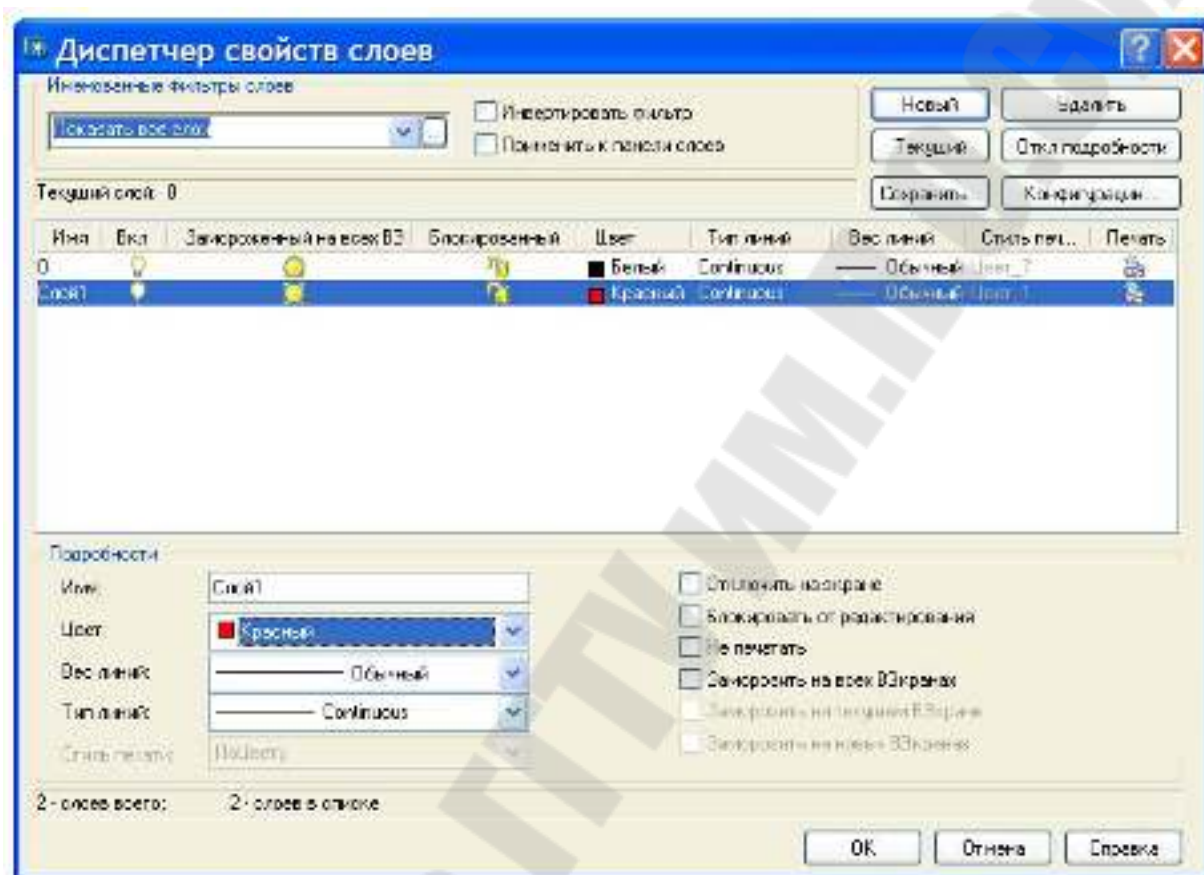


Рис. 2.24. Диалоговое окно «Диспетчер свойств слоев» при установке цвета и типа линий

При установке цвета пользователь может выбрать желаемый цвет из списка, содержащего 7 стандартных цветов или выбрать необходимый цвет из альбома, содержащего 240 оттенков стандартных цветов в диалоговом окне «Выбор цвета», которое активизируется при щелчке указателем по пиктограмме цвета текущих настроек слоя.

Выбор для установки типа линии из списка «Тип линий» выполняется аналогично выбору цвета. Количество типов линий в списке для выбора соответствует количеству типов линий загруженных из внешнего файла, входящим в пакет AutoCAD и содержащего полный набор всевозможных типов линий.

При работе со слоями в AutoCAD предусмотрены следующие функции управления слоями: установка текущего слоя, изменение видимостью отдельных слоев, их блокировка, удаление, фильтрация и сортировка.

Для того чтобы вновь создаваемые в AutoCAD объекты размещались на одном из имеющихся слоев, необходимо этот слой сделать текущим. Для **установки текущего слоя** необходимо в списке имеющихся слоев диалогового окна «Параметры слоев и типов линий» выбрать необходимый слой и нажать кнопку «Текущий».

Кроме того, установить текущий слой можно путем выбора его имя из панели «Слой» (рис. 2.25).

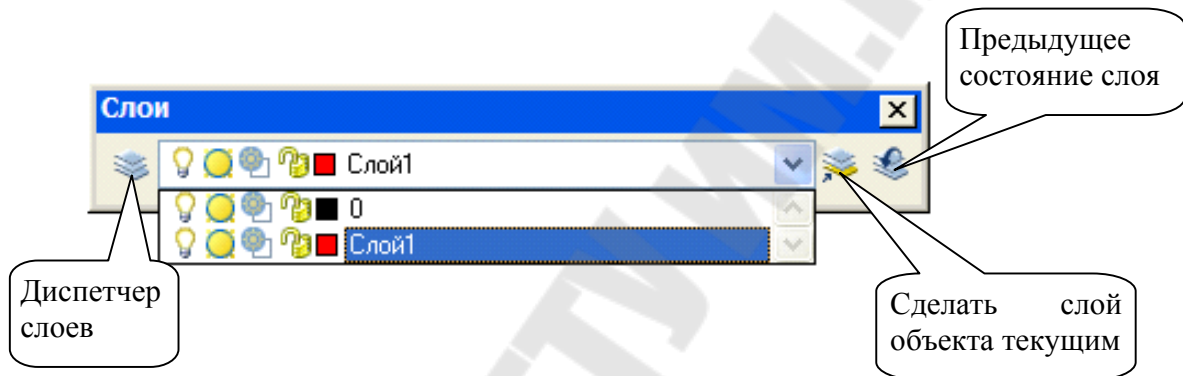


Рис. 2.25. Выбор слоя из панели «Слой»

Для **установки текущим слоя, назначенного какому-либо объекту** рисунка, следует выбрать этот объект, а затем нажать кнопку «Сделать слой объекта текущим» на панели «Слой».

**Управление видимостью слоев** необходимо, если при работе с объектами на одном или нескольких слоях рисунок слишком загроможден. Для отключения видимости объектов на неиспользуемых слоях эти слои можно **отключить** или **заморозить**. При этом AutoCAD не отображает объекты на экране и не выводит их на плоттер (рис. 2.26).

Выбор способа отключения видимости слоев зависит от ситуации и от размеров рисунка. Отключение слоев рекомендуется использовать, если при работе часто приходится включать и отключать видимость этих слоев. Замораживание рекомендуется для слоев, которые еще долго не будут использоваться в работе.

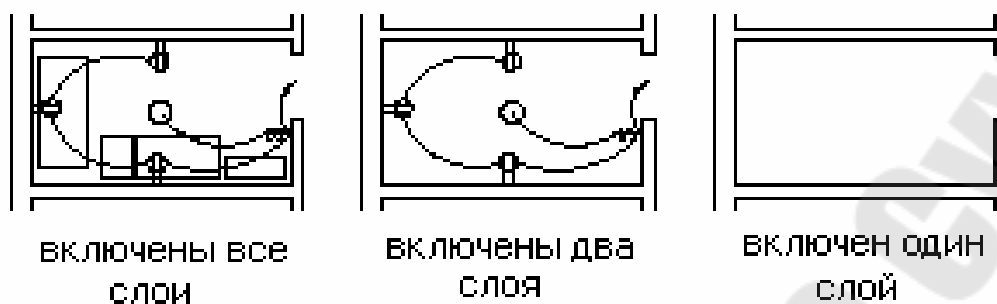


Рис. 2.26. Отключение слоев

Для включения/отключения или замораживания/размораживания слоя необходимо щелкнуть мышью на пиктограмме «Вкл/Откл» (в виде лампочки) или «Замораживание/Размораживание» (в виде солнышка) соответствующего слоя на панели «Слои» или диалогового окна «Диспетчер свойств слоев».

**Блокировка** слоев применяется в случаях, когда требуется редактирование объектов, расположенных на определенных слоях с возможностью просмотра объектов на других слоях. Редактировать объекты на заблокированных слоях нельзя, однако они остаются видимыми, если слой включен и разморожен. Блокированный слой можно установить текущим и создавать на нем объекты. К объектам на заблокированных слоях можно привязываться с помощью режимов объектной привязки. Блокированные слои можно включать и отключать, а также изменять связанные с ними цвета и типы линий.

Блокировка/разблокировка слоев выполняется аналогично операциям управления видимостью с помощью пиктограммы «Блокирование/Разблокирование» (в виде замка).

Для **удаления слоя** используется кнопка «Удалить» диалогового окна «Параметры слоев и типов линий». Удалять слои можно в любой момент сеанса работы. Нельзя удалить слой с именем 0, текущий слой, слои, зависящие от внешних ссылок или содержащие объекты.

При большом количестве слоев может потребоваться, чтобы в списке имеющихся слоев диалогового окна перечислялись только определенные слои, отфильтрованные по некоторым критериям. Для **фильтрации слоев на основании их свойств** используется список «Показать» диалогового окна «Параметры слоев и типов линий». Критерии отбора слоев устанавливаются в диалоговом окне «Установка фильтров слоев».

Список слоев можно *отсортировать* по любому из столбцов с параметрами слоя: по именам, по атрибутам видимости, цветам или типам линий. Имена слоев и типов линий могут быть отсортированы в алфавитном прямом и обратном порядках.

### 2.3.2. Работа с типами линий

Тип линии описывается повторяющейся последовательностью штрихов, точек и пробелов, а линии сложных типов могут включать в себя различные символы. Конкретные последовательности штрихов и точек, относительные длины штрихов и пробелов, а также характеристики включаемых текстовых элементов и форм определяются именем типа линии и его описанием (рис. 2.27). Пользователь имеет возможность создавать собственные типы линий.



Рис. 2.27. Примеры типов линий

Для работы с каким-либо типом линии его предварительно нужно загрузить в рисунок. Для загрузки необходимо, чтобы определение типа линии существовало в библиотечном LIN-файле типов линий.

Для *загрузки типа линии* используется диалоговое окно «Диспетчер типов линий» (рис. 2.28) из меню ФОРМАТ / ТИПЫ ЛИНИЙ или командой **ТИПЛИН**. В диалоговом окне необходимо нажать кнопку «Загрузить» и выбрать тип линии из списка «Доступные типы линий» диалогового окна «Загрузка или перезагрузка типов линий».

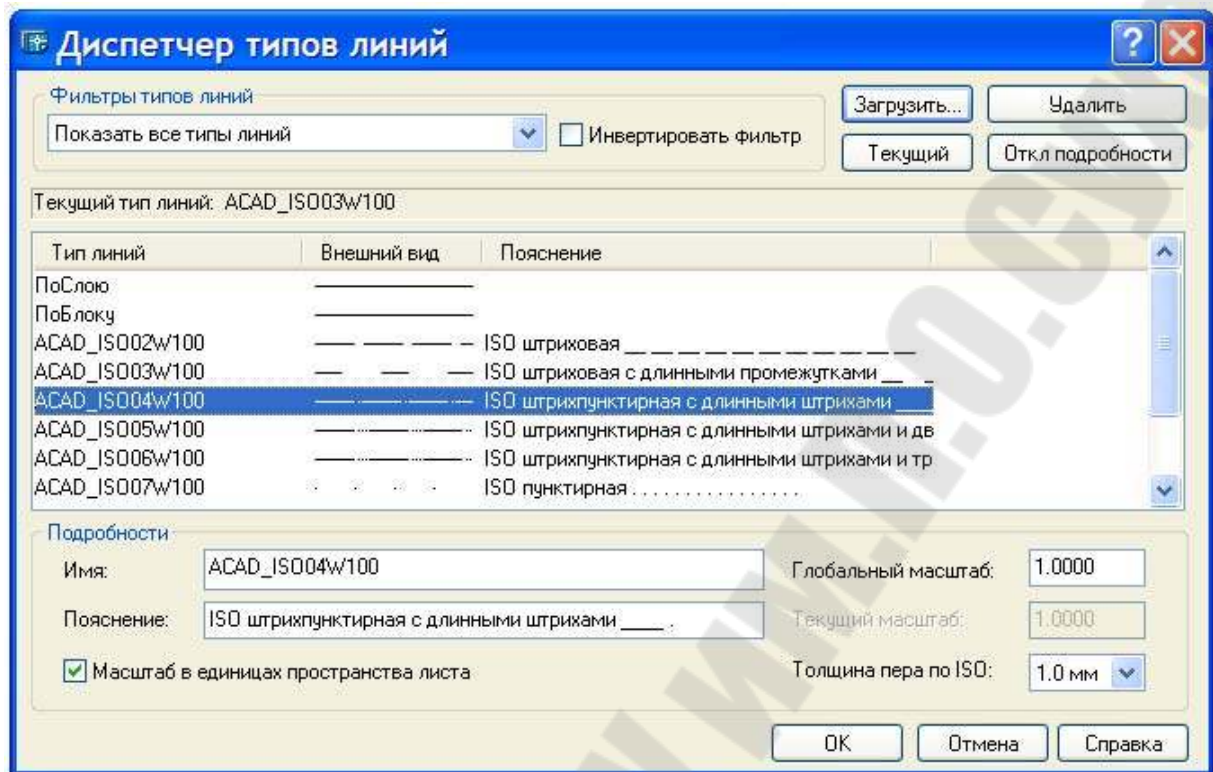


Рис. 2.28. Диалоговое окно «Параметры слоев и типов линий» при работе с типами линий

Выбранный из списка тип линии добавляется в список диалогового окна «Диспетчер типов линий», а также в управляющий список «Типы линий» панели «Свойства объектов».

Для использования какого-либо типа линии при построении объектов на текущем слое необходимо выбрать этот тип линии и сделать его текущим.

Для **установки текущего типа линии** необходимо в списке имеющихся типов линий диалогового окна «Диспетчер типов линий» выбрать необходимый тип линии и нажать кнопку «Текущий». Текущий тип линии может быть также установлен с помощью управляющего списка «Типы линий» на панели «Свойства» (рис. 2.29).

При выборе значения ПОСЛОЮ новые объекты будут иметь тип линии, назначенный слою, на котором они строятся. При выборе значения ПОБЛОКУ все вновь создаваемые объекты будут иметь стандартный тип линии до тех пор, пока они не будут собраны в блоке. Объекты,

вставляемые в блок, наследуют тип линии, который был назначен для данного блока.

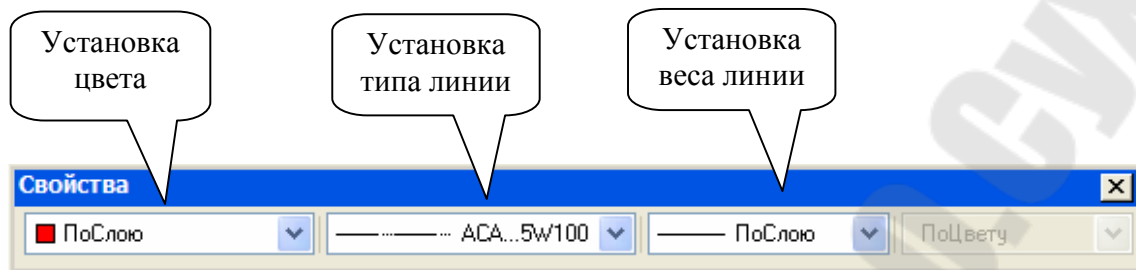


Рис. 2.29. Панель «Свойства»

Пользователь имеет возможность переименовывать типы линий для предания их именам большей осмысленности в конкретном рисунке. Имена типов линий можно изменять в любой момент сеанса работы.

Для **переименования типа линии** в списке имеющихся типов линий диалогового окна «Диспетчер типов линий» необходимо нажать кнопку «Вкл. подробности», выбрать тип линии для переименования и ввести для него новое имя в поле «Имя». Кроме того, изменить имя типа линии можно непосредственно в списке при двойном щелчке мышью по выбранному типу.

В поле «Описание» можно изменять *описания* типов линий.

При переименовании какого-либо типа линии этот процесс затрагивает только используемое в текущем рисунке определение данного типа линии. Имя этого типа линии в LIN-файле остается прежним.

Нельзя изменить имена типов линий ПОСЛОЮ, ПОБЛОКУ и CONTINUOUS, а также имена типов линий, зависящих от внешних ссылок.

Для **удаления типа линии** в списке имеющихся типов линий диалогового окна «Параметры слоев и типов линий» выбрать необходимый тип линии или несколько типов линий и нажать кнопку «Удалить».

Удалять типы линий можно в любой момент сеанса работы, если они не использованы в текущем рисунке. Нельзя удалить типы линий с именами ПОСЛОЮ, ПОБЛОКУ и CONTINUOUS, текущий тип линии, а также типы линий, зависящие от внешних ссылок.

Имеется возможность задания масштаба типа линии для создаваемых объектов. Чем меньше масштаб, тем чаще образец повторяется на



единицу рисования. По умолчанию AutoCAD использует глобальный масштаб типа линии, равный 1,0 (т. е. одной единице рисования).

Для задания масштаба типа линии в группе «Подробнее» необходимо ввести значения для глобального и текущего масштабов в соответствующие поля. Изменение глобального масштаба влияет на все имеющиеся и новые типы линий. Изменение текущего масштаба (относительно глобального) влияет на выбранный тип линий при использовании его для построения новых объектов. Для активизации режима масштабирования типа линии должна быть включена опция *Масштаб в единицах пространства листа*.

## 2.4. Методы редактирования

Для внесения изменений в текущий чертеж с использованием уже имеющихся на нем графических объектов используются команды редактирования, которые могут быть активизированы в командной строке. Часть команд доступна через раздел меню РЕДАКТ или панель инструментов «Редактирование».

### 2.4.1. Выбор объектов

При выполнении команд редактирования необходимо в ответ на запрос «*Выберите объекты*» указать (выбрать) объекты, к которым будут применены эти команды, т. е. создать набор, включающий в себя редактируемые объекты. В такой набор может входить как один объект, так и их сочетание: например, совокупность объектов определенного цвета или расположенных на определенном слое. С одним и тем же набором выбора можно производить несколько операций редактирования. Имеется возможность добавлять объекты в набор и удалять их оттуда. Различные объекты могут заноситься в набор различными способами.

Первоначально AutoCAD предлагает выбор объектов осуществить с помощью «*прицела*». Кроме того, предусмотрены и другие способы выбора, доступные через опции пополнения и управления набором выбора.

*Выбор с помощью «прицела»* является наиболее простым способом выбора объекта и активизируется сразу при запуске команды редактирования. При этом перекрестье курсора преобразуется в прицел выбора (рис. 2.30). Выбор объектов производится с помощью устройства указания при наведении прицела на объект редактирования и нажатии левой кнопки мыши.



Рис. 2.30. Прицел выбора

Если прицел наводится на свободную область чертежа, то при нажатии левой кнопки мыши активизируется опция **Бокс** выбора с помощью рамки.

*Рамка выбора* – прямоугольник, задаваемый пользователем в графической области указанием двух противоположных углов. В режиме **Бокс** в зависимости от способа разворота рамки – «слева направо» или «справа налево», как показано на рис. 2.31, активизируется опция выбора *Рамка* или *Секрамка*.

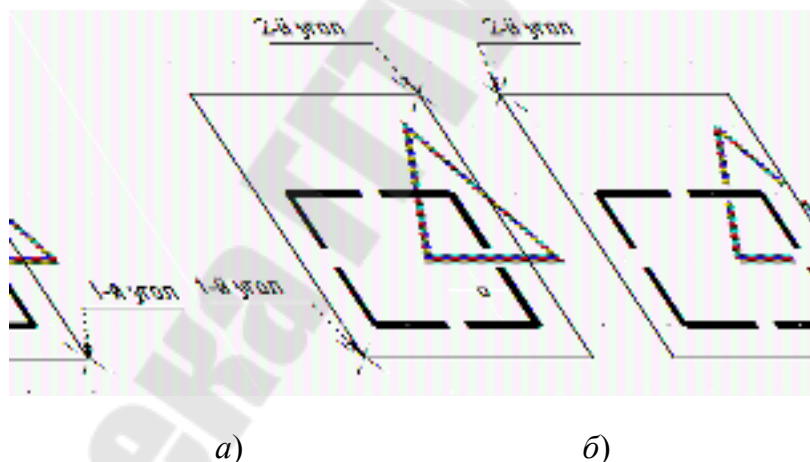


Рис. 2.31. Выбор объектов: а – рамкой; б – секущей рамкой

*Многоугольники выбора* – рамка сложной формы, которая определяется последовательным заданием ее вершин. Как и в случае прямоугольных рамок, *многоугольной рамкой* (опция **РМн-угол**) выбираются для редактирования объекты, полностью расположенные в пределах области выбора (рис. 2.31, а), а *многоугольная секущая рамка* (опция **СМн-угол**) – объекты, полностью расположенные в пределах области выбора или пересекающие рамку (рис. 2.31, б).

*Линии выбора* – наиболее простой способ выбора несмежных объектов на сложном рисунке. Все объекты, через которые проходит линия выбора, попадают в набор выбора (рис. 2.32). На рисунке показана линия выбора, с помощью которой выбираются прямоугольник и треугольник.

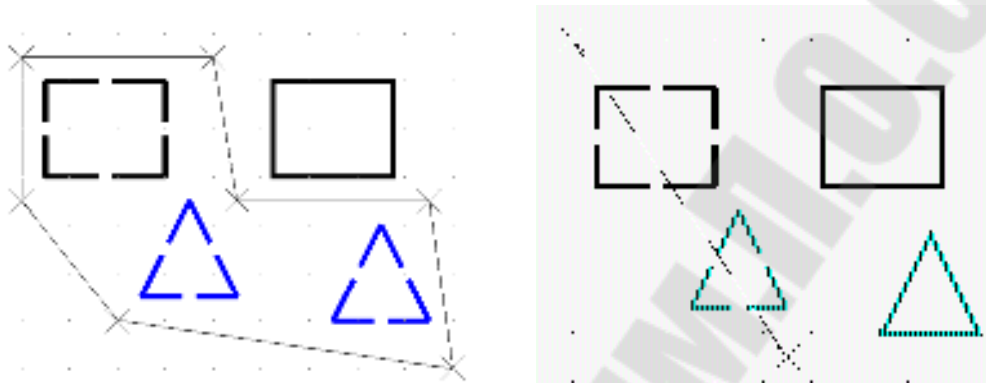


Рис. 2.32. Выбор объектов многоугольником и линией выбора

Для активизации необходимой опции необходимо на запрос «Выберите объекты» в командной строке ввести ключевые буквы соответствующей опции, например **PM** для опции **PMн-угол**.

Имеются опции выбора объектов для редактирования, не требующие использования устройства указания:

**Все** – выбираются все объекты на чертеже;

**Текущий** – редактируются объекты, выбранные в предыдущей команде редактирования;

**Последний** – выбирается объект, который был создан последним.

Для управления процессом формирования набора выбора для редактирования используются следующие опции:

**Добавь** – включение режима добавления объектов к уже имеющемуся набору выбора;

**Удали** – включение режима удаления объектов из имеющегося набора выбора;

**Отмени** – отменяет выбор последнего объекта.

Настройка параметров выбора, размера прицела и способов сортировки выбранных объектов выполняется в диалоговом окне «Установки выбора объектов», которое активизируется через меню СЕРВИС / РЕЖИМЫ ВЫБОРА или с помощью команды **ДИАЛВЫБ**.

## 2.4.2. Редактирование свойств объектов

Команда **СВОЙСТВА** позволяет изменить *общие* свойства объектов с указанием конкретного свойства для изменения в командной строке, или командой **ДИАЛСВОЙ**. В этом случае изменение свойств выполняется в диалоговом окне «Свойства» (рис. 2.33), при этом для редактирования доступны не только общие, но и *геометрические* свойства объекта в зависимости от типа выбранного объекта. Например, для следующих объектов могут быть изменены параметры:

**отрезок** – координаты конца;

**круг** – радиус окружности;

**блок** – точка вставки и угол поворота;

**текст** – начальная точка, шрифт, высота, угол поворота и сам текст.

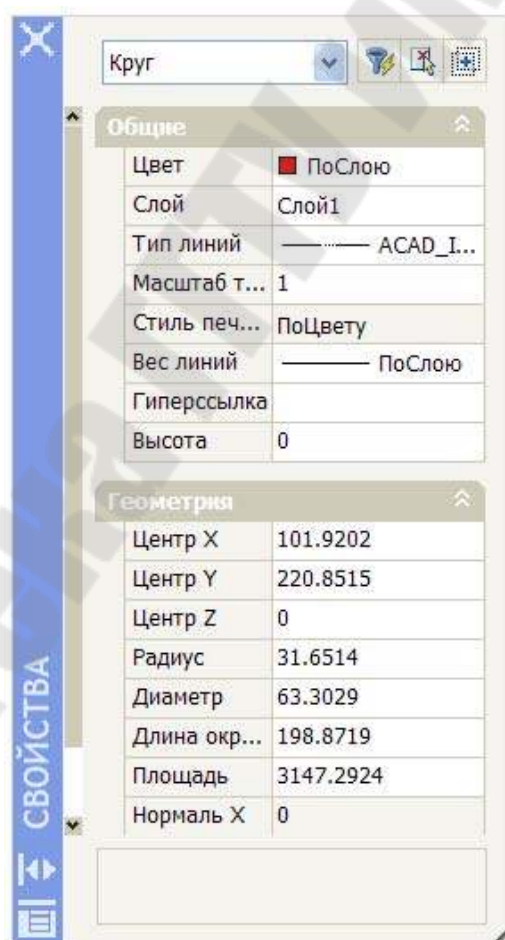


Рис. 2.33. Диалоговое окно «Свойства»

Панель инструментов «Свойства» (рис. 2.33) также позволяет управлять цветом, типом линий и слоями на чертеже.

Команда **КОПИРУЙСВ** позволяет свойства одного объекта частично или полностью скопировать в другой или несколько других объектов. Можно копировать *цвет, слой, тип линии, масштаб* типа линии, *высоту* объекта и, в некоторых случаях, свойства *размеров, текстов* и *штриховки*. В табл. 2.3 перечислены свойства, которые могут быть скопированы для каждого из объектов AutoCAD.

Команда **КОПИРУЙСВ** может быть активизирована в командной строке, из меню РЕДАКТ / КОПИРОВАНИЕ СВОЙСТВ, а также из панели «Стандартная» соответствующей кнопкой.

Таблица 2.3

### Свойства объектов, которые можно копировать

Объекты	Цвет	Слой	Тип линии	Масштаб типа линии	Высота	Свойства		
						текстов	размеров	штриховок
2МПлиния	X	X	X	X	X			
Отрезок	X	X	X	X	X			
Сплайн	X	X	X	X				
Дуга	X	X	X	X	X			
Круг	X	X	X	X	X			
Эллипс	X	X	X	X				
Точка	X	X			X			
Атрибут	X	X			X	X		
Размер	X	X	X	X			X	
Выноска	X	X	X	X			X	
Штриховка	X	X						X
Текст	X	X	X	X	X	X		
Мтекст	X	X				X		

Для конкретизации, какие свойства должны быть скопированы, необходимо использовать опцию **Настройка** и в диалоговом окне «Настройка свойств» (рис. 2.34) установить флажки для свойств, которые нужно скопировать, и убрать флажки для остальных свойств. Заданные для копирования свойства установки сохраняются для текущего сеанса AutoCAD до их следующего изменения.

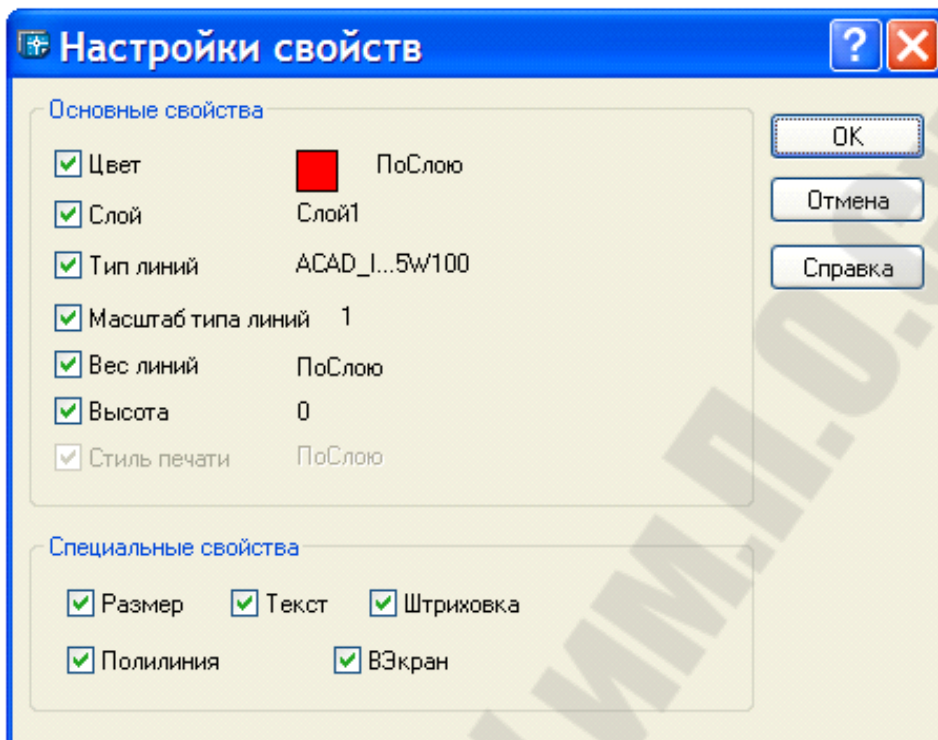


Рис. 2.34. Панель «Настройки свойств» для копирования

Изменение содержания текста выполняется через меню РЕДАКТ / ОБЪЕКТЫ / ТЕКСТ в диалоговом окне «Редактирование текста» для однострочных надписей или в окне редактора многострочного текста для надписей, выполненных командой МТЕКСТ.

Команда ПОЛРЕД позволяет редактировать полилинии. Управление процессом редактирования и изменение свойств полилинии осуществляется через набор следующих опций и подопций:

- Замкнуть* – соединяет начальную и конечную точку полилинии;
- Добавить* – добавляет к полилинии новые объекты;
- Ширина* – устанавливает одинаковую ширину для всей полилинии;
- Вершина* – переход в режим управления вершинами полилинии;
- След* – переход к следующей вершине;
- Пред* – переход к предыдущей вершине;
- Разорвать* – разрыв полилинии в текущей вершине;
- Вставить* – вставка новой вершины вслед за текущей;
- Перенести* – перенос текущей вершины в другую точку;
- Реген* – регенерация полилинии;

**Выпрямить** – выпрямление криволинейного сегмента до текущей вершины;

**Касательная** – нанесение вектора касательной из текущей вершины в заданном направлении;

**Ширина** – изменение ширины сегмента в начале и конце сегмента;

**выход** – выход из режима управления вершинами;

**Сгладь** – сглаживание ломаной полилинии;

**Слайн** – сглаживает полилинию сплайнами;

**Убрать сглаживание** – убирает сглаживание;

**Типли** – включает/отключает тип линии по всей длине;

**Отменить** – отменяет последнее действие.

### 2.4.3. Редактирование чертежа

#### Копирование объектов

Имеется возможность однократно и многократно копировать объекты по одному или группами в пределах текущего рисунка.

Команда **КОПИРУЙ** выполняет копирование одного или нескольких объектов в другое место и активизируется в командной строке или из меню РЕДАКТ / КОПИРОВАТЬ. Для выполнения копирования команда запрашивает *объекты для копирования*, базовую точку (для привязки курсора к выбранным объектам) и точку перемещения для вставки копии (рис. 2.35). Опция **Несколько** позволяет перейти в режим многократного копирования.

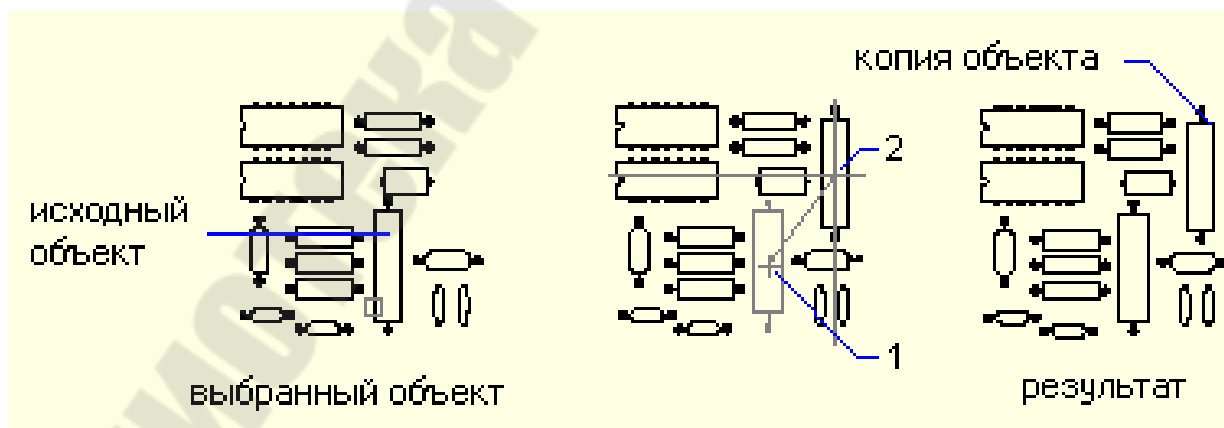


Рис. 2.35. Копирование объекта:  
1 – базовая точка; 2 – точка перемещения

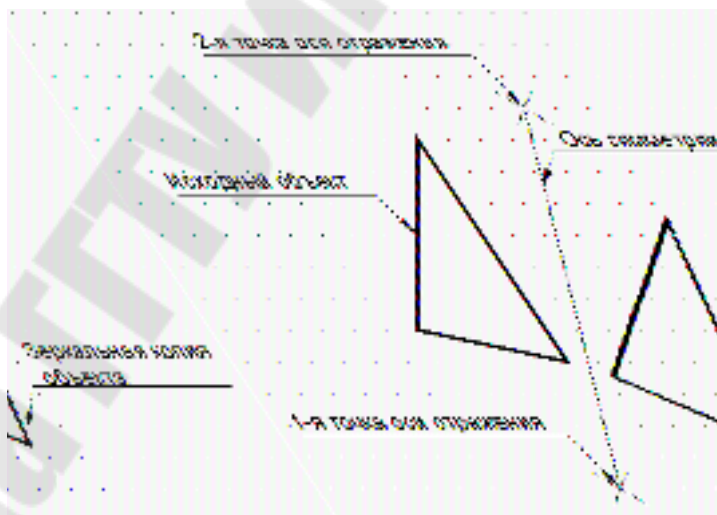
Кроме обычного копирования, имеются и другие способы размножения объектов на чертеже:

- построение объектов, *зеркально симметричных* исходным относительно заданной оси;
- размножение объекта *массивом*, когда создаются копии, расположенные в узлах прямоугольной сетки или равномерно по окружности;
- построение *подобных* объектов, расположенных на указанном расстоянии от исходных или проходящих через указанные точки.

Команда **ЗЕРКАЛО** выполняет построение копии объекта по правилам осевой симметрии относительно оси отражения (симметрии), определяемой двумя точками, указанными пользователем.

**Пример 2.12.** Построить треугольник, симметричный заданному относительно оси, проходящей через точки с координатами (10,20) и (30,60).

Команда: **ЗЕРКАЛО**  
Выберите объекты:  
Первая точка оси отражения: 10,20  
Вторая точка: 30,60  
Удалить старые объекты? <Н>



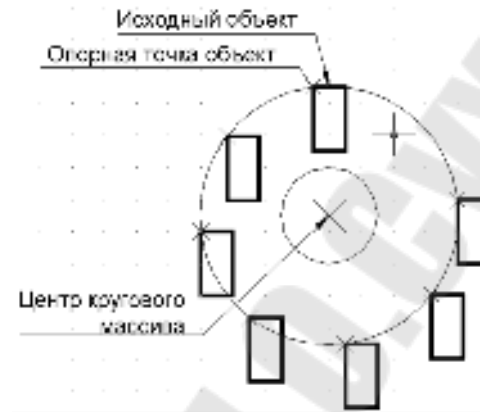
Команда **МАССИВ** выполняет размещение копий объектов массивом в *круговом массиве* (упорядоченно по окружности) или в узлах *прямоугольного массива*.

Для *круговых массивов* задаются центр массива, количество элементов массива, включая исходный, угол заполнения массива (от 0 до 360) и режим их поворота.

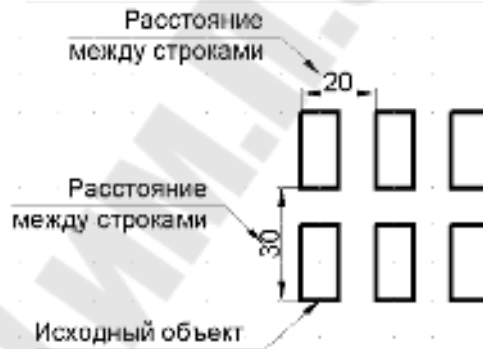
Для *прямоугольных массивов* задается количество строк и столбцов, а также расстояние между ними. Примеры использования команды **МАССИВ** приведены ниже.



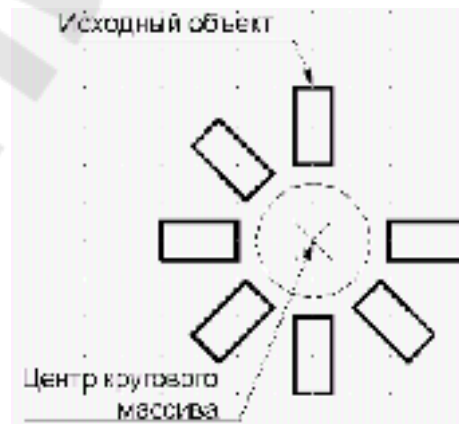
Команда: **МАССИВ**  
 Выберите объекты: 1 найден(ы),  
 Выберите объекты:  
 Прямоуг-й или Круговой массив  
 (П/<К>): К  
 Базовая/<Центр массива>:  
 Число элементов: 7  
 Угол заполнения (+=прс, -=пс)  
 <360>: 270  
 Поворачивать объекты? <Д> Н



Команда: **МАССИВ**  
 Выберите объекты: 1 найден(ы),  
 Выберите объекты:  
 Прямоуг-й или Круговой массив  
 (П/<К>): П  
 Число строк (---) <1>: 2  
 Число столбцов (|||) <1>: 3  
 Расстояние между строками (---): 30  
 Расстояние между столбцами (|||): 20



Команда: **МАССИВ**  
 Выберите объекты: 1 найден(ы),  
 Выберите объекты:  
 Прямоуг-й или Круговой массив  
 (П/<К>): К  
 Базовая/<Центр массива>:  
 Число элементов: 7  
 Угол заполнения (+=прс, -=пс)  
 <360>: 270  
 Поворачивать объекты? <Н> Д



Команда **ПОДОБИЕ** создает новые объекты, подобные выбранным и расположенные на заданном расстоянии от них.

Подобные объекты имеют большие или меньшие размеры по отношению к исходному объекту, в зависимости от того, с какой стороны указано *смещение*. Если смещение указано точкой во внутренней области объекта, подобный объект имеет меньшие размеры, если во внешней области – большие.

Для построения подобного объекта путем задания смещения необходимо задать значение смещения указанием двух точек или вводом с клавиатуры, выбрать исходные объекты для построения им подобных, указать сторону смещения. После построения можно выбрать следующий объект или нажать ENTER для завершения команды.

В следующих примерах создается многоугольник, подобный исходному многоугольнику для двух случаев:

- 1) с величиной смещения между сторонами 5 мм;
- 2) ребро подобного многоугольника проходит через заданную точку.

Команда: **ПОДОБИЕ**

Величина смещения или Точка  
<1>: 5

Выберите объект для создания ему подобных:

Сторона смещения?

Выберите объект для создания ему подобных: ENTER



Команда: **ПОДОБИЕ**

Величина смещения или Точка  
<5.0>: T

Выберите объект для создания ему подобных:

Через точку:



### **Перемещение объектов**

Изменение положения объектов осуществляется перемещением без изменения ориентации и размера, поворотом относительно некоторой точки и выравниванием.

Команда **ПЕРЕНЕСИ** перемещает указанные объекты из одного места чертежа на другое, при этом в диалоге с командой необходимо указать базовую точку для привязки курсора к выбранным объектам и

вторую точку перемещения, в которую должна быть перенесена базовая точка вместе с объектами.

Команда: **ПЕРЕНЕСИ**

Выберите объекты: 1 найден(ы),

Выберите объекты:

Базовая точка или перемещение:

Вторая точка перемещения:



Команда **ПОВЕРНИ** выполняет поворот объектов и требует указать базовую точку, относительно которой должен быть выполнен поворот, и угол поворота (относительного или абсолютного). *Относительный* угол поворота означает, что объект поворачивается вокруг базовой точки на этот угол относительно текущего положения. Задание *абсолютного* угла поворота приводит к изменению угла поворота объекта с текущего на указанный.

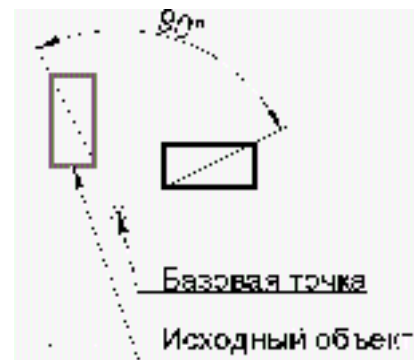
Команда: **ПОВЕРНИ**

Выберите объекты: 1 найден(ы),

Выберите объекты:

Базовая точка:

<Угол поворота>/Ссылка: -90

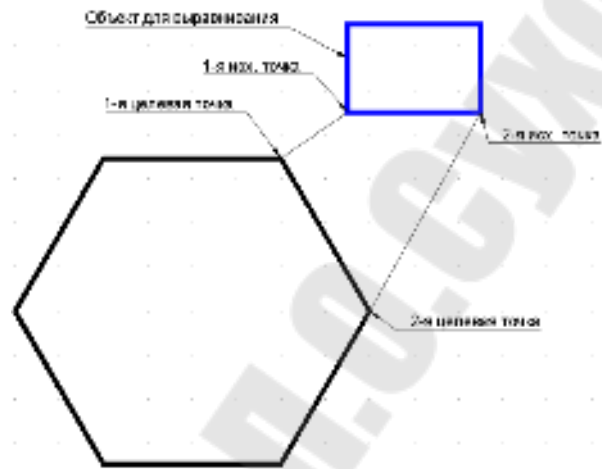


Команда **\_ALIGN** выполняет перемещение и поворот объекта так, чтобы он оказался выровнен с другим объектом. Для выравнивания двух объектов на плоскости пользователь должен указать выравниваемые объекты; первую исходную точку и первую целевую точку; вторую исходную точку и вторую целевую точку, ответить на запрос о необходимости масштабирования по точкам выравнивания.

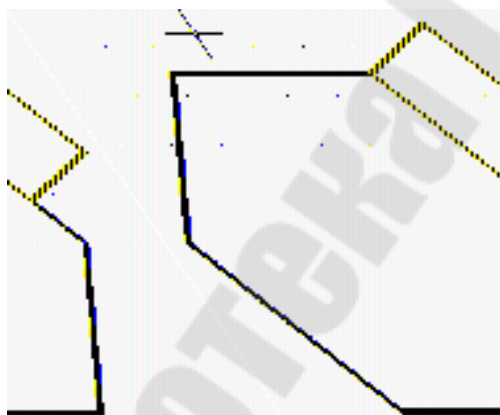
Команда **\_ALIGN** доступна из меню РЕДАКТ / 3М ОПЕРАЦИИ / ВЫРОВНЯТЬ.

В примере производится выравнивание прямоугольника по грани многоугольника.

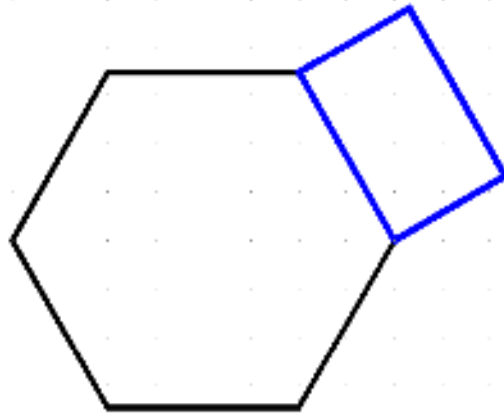
Команда: **\_ALIGN**  
 Выберите объекты: 1 найден(ы),  
 Выберите объекты:  
 1-я исходная точка:  
 1-я целевая точка:  
 2-я исходная точка:  
 2-я целевая точка:  
 3-я исходная точка или <продолжить>: П  
 Масштабировать объекты по точкам выравнивания?  
 [Да/Нет] <Нет>: Д



Объекты будут выровнены (перемещены и повернуты), а затем, при необходимости, масштабированы. При этом первая целевая точка является базовой точкой масштабирования, расстояние между исходными точками является ссылочной длиной, а расстояние между целевыми точками – новой длиной. Отношение ссылочной длины и новой длины определяет масштаб изменения поворачиваемого объекта. Результат выравнивания с масштабированием и без приведен на рис. 2.36.



а)



б)

Рис. 2.36. Результат выравнивания:  
 а – без масштабирования; б – с масштабированием

### **Стирание, изменение размеров и растягивание объектов**

Команда **СОТРИ** удаляет указанные объекты из чертежа.

Команда **МАСШТАБ** изменяет размеры выбранных объектов относительно заданной базовой точки в масштабе, указанном явно в виде числа или в виде ссылки. При масштабировании по ссылке одно из существующих измерений объекта используется как ссылочное для нового. При этом указывается длина объекта в текущем масштабе и его новая длина после преобразования. Например, если в каком-либо из измерений объект имеет длину 4,8 единиц, и его нужно увеличить до 7,5 единиц, то первая длина служит ссылочной, а вторая – новой.

Результат масштабирования похож на результат выполнения команды **ПОДОБИЕ**, но при этом исходные объекты удаляются.

Команда **РАСТЯНИ** позволяет растягивать одну часть объекта относительно другой. Команда требует указать базовую точку для растягивания и две точки перемещения. Объекты для растягивания должны выбираться секущей рамкой. Сегменты объектов, пересеченные секущей рамкой, будут растягиваться, а сегменты (или объекты), полностью попавшие в рамку, будут перемещаться.

В следующем примере (рис. 2.37) производится растягивание плана кровли. Точками 1 и 2 определена секущая рамка, точкой 3 – базовая точка, точкой 4 – точка перемещения.

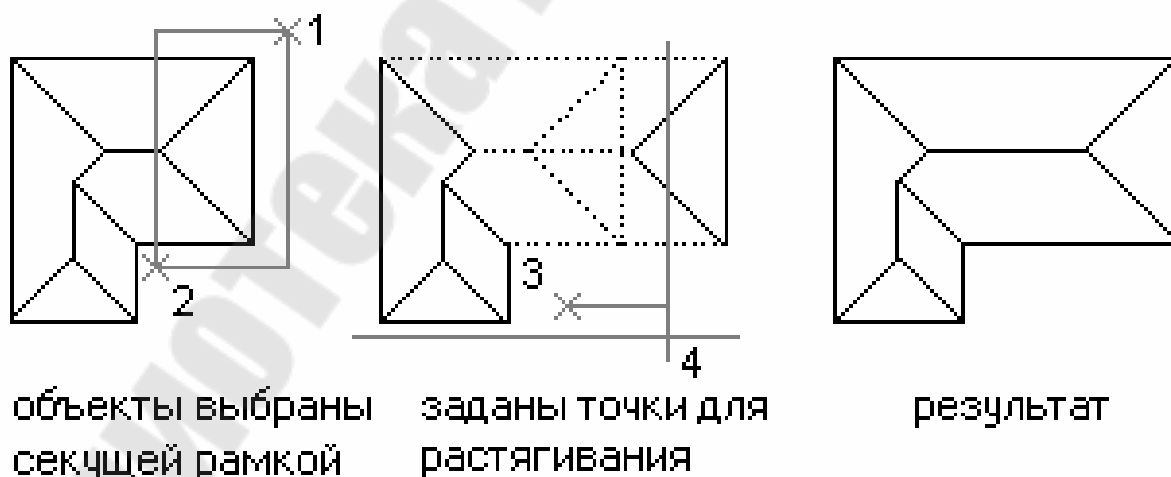


Рис. 2.37. Растягивание плана кровли

### Обрезка и разрыв объектов

Команда **ОБРЕЖЬ** выполняет обрезку объекта точно по режущей кромке, задаваемой одним или несколькими другими объектами. Объекты, указанные в качестве режущих кромок, не обязательно должны пересекать обрезаемые объекты, можно выполнить обрезку в точке воображаемого пересечения объекта с продолжением режущей кромки. Режущие кромки могут представлять собой отрезки, дуги, окружности, полилинии, эллипсы, сплайны и т. д. Широкие полилинии обрезаются по осевым линиям.

В примере на рис. 2.38 выполняется соединение двух стен путем обрезки в месте их пересечения. Для обрезки выбраны режущие кромки (1 и 2 с помощью прицела или секущей рамки) и указан участок, предназначенный для обрезки (3).



Рис. 2.38. Обрезка объектов

Команда **РАЗОРВИ** стирает часть отрезка, полилинии, полосы, круга или дуги и разрывает объект на два того же типа. Ниже приведен пример использования команды для вырезания части ребра прямоугольника.

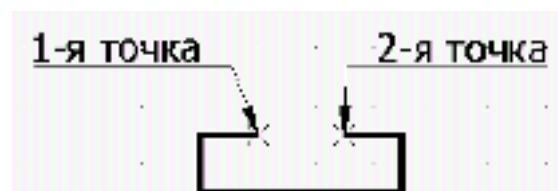
Команда: **РАЗОРВИ**

Выберите объект:

Вторая точка (или П для первой точки): П

Первая точка:

Вторая точка:



### *Редактирование с помощью ручек*

При выборе объектов до редактирования с помощью устройства указания на выбранных объектах появляются ручки, расположенные в определяющих точках выбранных объектов, как показано на рис. 2.39.

Ручки позволяют, используя устройство указания, комбинировать выбор объектов и вызов команды из контекстного меню, а также манипулировать объектами с помощью графического курсора или ключевых слов и тем самым ускорить процесс редактирования. Используя ручки, можно сократить обращения к меню.

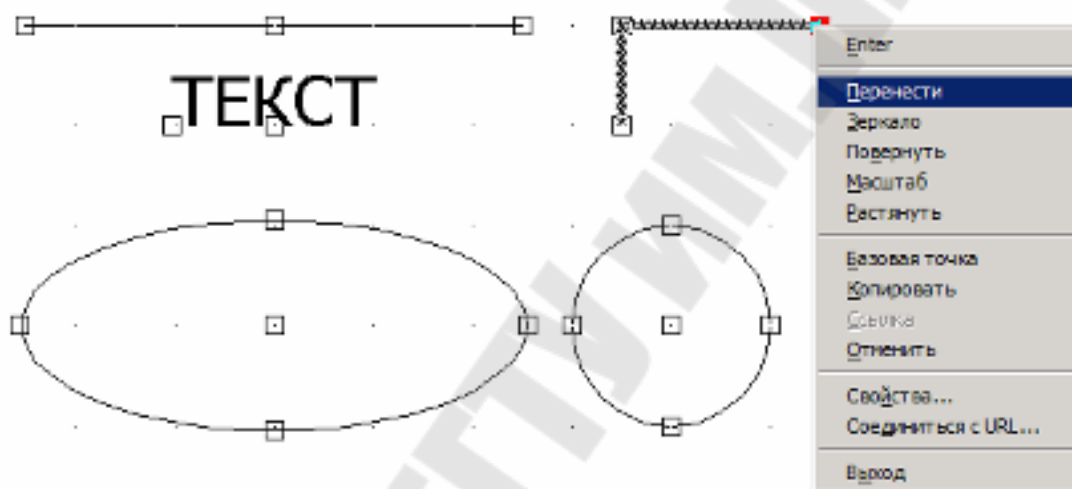


Рис. 2.39. Примеры расположения ручек

Графический курсор автоматически привязывается к ручке, по которой он проходит. Если ручки включены, то при удалении объектов из набора выбора они перестают быть подсвеченными, но ручки на них остаются. Для удаления какого-либо объекта из набора выбора, имеющего ручки, следует нажать клавишу SHIFT при выборе этого объекта. Удаление ручек из набора объектов производится нажатием клавиши ESC.

Для редактирования с помощью ручек нужно устройством указания выбрать ручку, точка расположения которой будет базовой точкой редактирования. Выбранная ручка выделяется другим цветом. После этого выбирается одна из команд редактирования: **РАСТЯНИ**, **ПЕРЕ-НЕСИ**, **ПОВЕРНИ**, **МАСШТАБ** или **ЗЕРКАЛО**. Выбор этих команд производится в командной строке вводом начальной буквы или цикли-

чески, последовательным нажатием клавиши «Пробел». Например, для установки режима «Растяни» нужно ввести **Р** или нажимать «Пробел» до тех пор, пока в командной строке не появится «Растяни». Чтобы выйти из режима работы с ручками и вернуться к подсказке «Команда», нужно ввести **Х** (выХод) или нажать ESC. Более удобным способом выбора команды для редактирования является использование контекстного меню (рис. 2.40), которое вызывается нажатием правой клавиши мыши.

Режим ручек «Растяни» позволяет выполнять растягивание путем переноса выбранных ручек в новые положения. Однако некоторые из ручек не допускают растягивания объекта, а производят его перенос. Это ручки на текстовых объектах, блоках, серединах отрезков, центрах кругов и эллипсов, а также на объектах-точках.

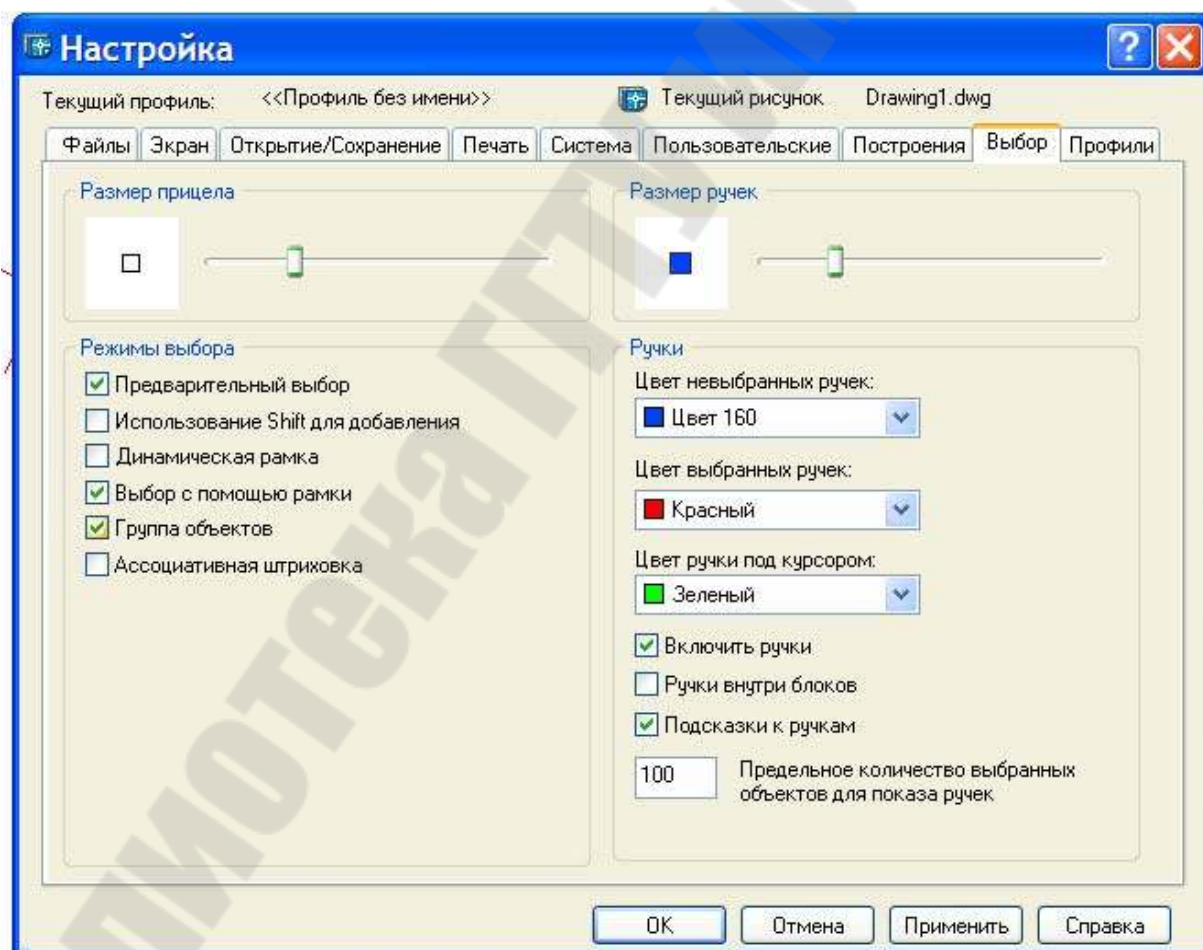


Рис. 2.40. Диалоговое окно «Ручки»



При нажатии на клавишу SHIFT в процессе указания *первого нового положения* для объекта в команде редактирования активизируется режим многократного копирования. Режим многократного копирования остается активным до тех пор, пока не будет выбрана другая опция текущего режима ручек или нажата клавиша ENTER для завершения операции.

При *продолжительном удержании* клавиши SHIFT в процессе указания положений копий на экране включается режим многократного копирования и графический курсор начинает перемещаться с шагом, определяемым расстоянием между исходным объектом и его первой копией.

Имеется возможность использовать несколько ручек в качестве базовых. Это позволяет редактировать объект с сохранением геометрии его элементов, находящихся между базовыми ручками, без изменений. Для выбора нескольких ручек в качестве базовых следует удерживать в нажатом состоянии клавишу SHIFT в процессе выбора ручек.

Настройка режима работы ручек и размера прицела выполняется в диалоговом окне «Настройка», которое активизируется командой **ДИАЛРУЧ** или из меню СЕРВИС / НАСТРОЙКА (закладка ВЫБОР). В окне можно выполнить включение/отключение ручек, выбрать цвет отображения выбранных и невыбранных ручек, а также их размер на экране (рис. 2.40).

## 2.5. Блоки, атрибуты и внешние ссылки

Одним из механизмов создания чертежа в AutoCAD является использование блоков с атрибутами и внешних ссылок на другие рисунки.

**Блоки** – это организованные в группы объекты рисунка, которыми можно манипулировать как единым целым объектом.

Использование блоков упрощает создание, редактирование и сортировку объектов рисунка и связанной с ними информации. Блоки можно использовать, например, в следующих целях:

- создание стандартной библиотеки часто используемых символов, узлов и деталей;
- быстрое редактирование рисунков путем вставки, перемещения и копирования целых блоков, а не отдельных геометрических объектов;
- экономия дискового пространства путем адресации всех входящих одного блока к одному и тому же описанию блока в базе данных рисунка.

**Атрибуты** – объекты, которые могут помещаться в блоки для хранения в них некоторой информации о блоке или о том, что он изображает, например, номера деталей и их стоимости, позиционное обозначение элемента схемы и его тип и др.

**Внешние ссылки** позволяют связать с текущим рисунком другой рисунок. При открытии текущего рисунка в нем отражаются все изменения, внесенные в рисунок, связанный с ним.

### 2.5.1. Работа с блоками

#### Создание описаний блоков

Для создания блока необходимо выполнить его определение, в которое входят: *имя блока, базовая точка вставки, графические объекты*.

Описания блоков можно создавать следующими командами:

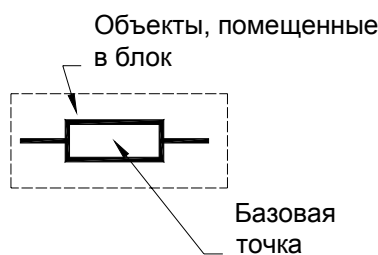
**БЛОК** – группирует объекты для использования только в текущем рисунке, при этом описание блока пользователь формирует, отвечая на запросы в командном окне;

**СБЛОК** – аналогична команде **БЛОК**, при этом описание блока создается с помощью диалогового окна «Создание описания блока»;

**ПБЛОК** – группирует объекты с записью их в отдельный файл. Этот файл используется затем для вставок блока в другие рисунки.

Далее приведен пример создания с помощью команды **БЛОК** условного обозначения резистора. Объекты, входящие в блок могут быть выбраны любым из возможных способов. После создания блока объекты, из которых он был сформирован, удаляются из чертежа.

Команда: **БЛОК**  
Имя блока (или ?): РЕЗИСТОР  
Базовая точка вставки:  
Выберите объекты:



Команда **СБЛОК** вызывается в командной строке или меню **РИСОВАНИЕ / БЛОК / СОЗДАТЬ** и активизирует диалоговое окно «Описание блока» (рис. 2.41), в котором задаются определения блока. Для оперативного просмотра имен уже имеющихся блоков используется кнопка «Список имен блоков». Чтобы оставить на чертеже объекты,

формирующие блок после его создания, необходимо установить переключатель «Оставить».

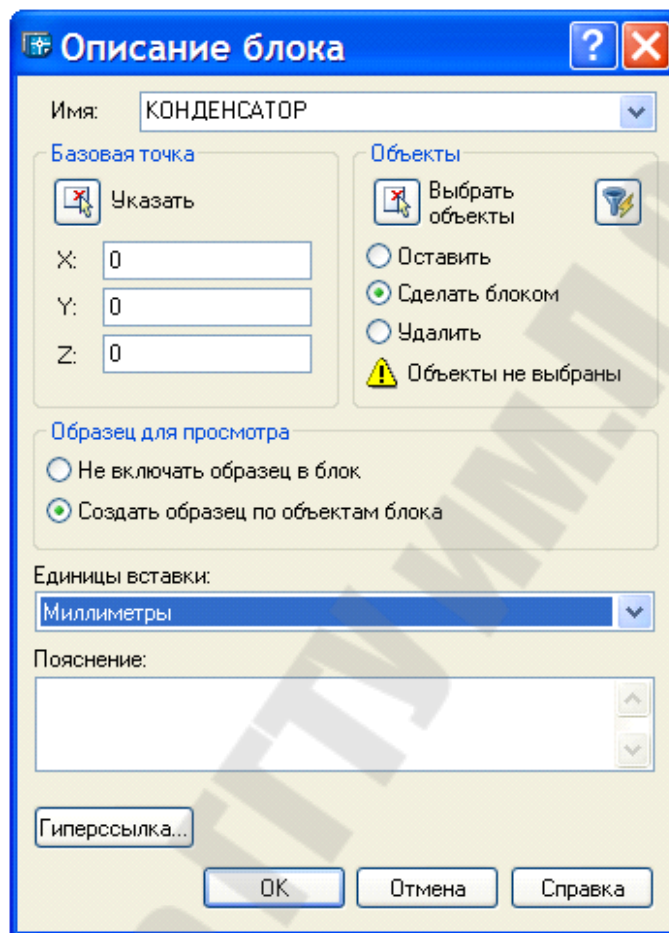


Рис. 2.41. Диалоговое окно «Создание описания блока»

Блоки, созданные командами **БЛОК** и **СБЛОК**, доступны только в текущем рисунке. Для того чтобы блок был доступен и в других чертежах, его необходимо записать в файл.

Для сохранения блока в отдельном файле с помощью команды **ПБЛОК** необходимо в диалоговом окне «Запись блока на диск» задать имя файла и путь, указать источник данных: уже имеющийся блок, весь рисунок или отдельные объекты, которые необходимо собрать в блок (при этом указываются базовая точка вставки и объекты для блока аналогично команде **БЛОК**).

Блок может включать в себя другие (вложенные) блоки. Единственное ограничение при использовании вложенных блоков – запрет ссылок из блока на самого себя.

### **Управление блоками и их переопределение**

С блоками можно выполнять следующие операции:

- *вставлять* в рисунок с масштабированием и поворотом;
- *расчленять* на составляющие объекты и редактировать;
- *переопределять* описание блока, при этом AutoCAD обновляет все существующие вхождения блока и применяет новое описание ко вновь вставляемым блокам.

При вставке блока на рисунке появляется так называемое *вхождение блока*. Вставка отдельных блоков и целых рисунков из внешних dwg-файлов в текущий рисунок производится командами **ВСТАВИТЬ** или **МВСТАВИТЬ**.

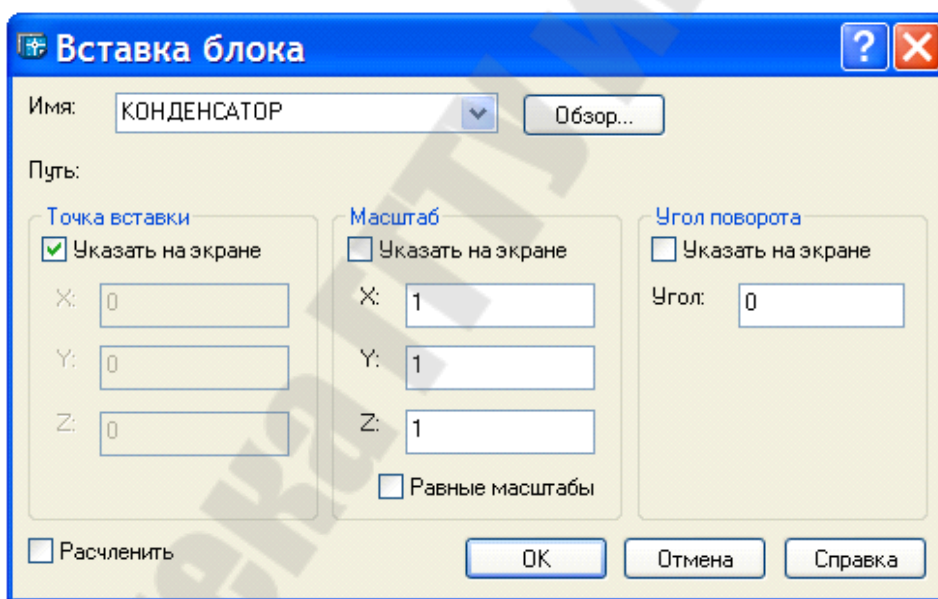


Рис. 2.42. Диалоговое окно «Вставка блока»

Команда **ВСТАВИТЬ** вызывается из командной строки или через меню ВСТАВКА / БЛОК и активизирует диалоговое окно «Вставка блока» (рис. 2.42). В диалоговом окне указываются имя блока, имеющегося в текущем рисунке (кнопка «Блок»), или имя файла, в котором хранится внешний блок (кнопка «Файл»), и параметры его вставки: *точка встав-*

ки, масштабные коэффициенты по оси  $X$  и  $Y$ , угол поворота блока относительно базовой точки вставки.

Команда **МВСТАВЬ** используется для множественной вставки блока с размещением в узлах прямоугольного массива. Кроме параметров вставки блока (таким же как и в команде **ВСТАВЬ**), запрашиваются параметры прямоугольного массива аналогичны параметрам, задаваемым в команде **МАССИВ**.

Если в диалоговом окне переключатель «Задание параметров на экране» включен, то указание точки вставки, масштабов и угла поворота выполняются в командном окне аналогично команде **ВСТАВЬ**, если отключен – то в диалоговом окне в соответствующих полях.

Для того, чтобы после вставки блок был расчленен, необходимо активизировать переключатель «РасчлениТЬ».

При вставке в рисунок другого рисунка AutoCAD обрабатывает вставленный рисунок так же, как и обычное вхождение блока. По умолчанию в качестве базовой точки для вставляемых рисунков принимается точка с координатами 0,0,0. Изменить координаты точки вставки рисунка можно, открыв исходный рисунок и задав с помощью команды **БАЗА** другую базовую точку. При всех последующих вставках этого рисунка AutoCAD будет использовать новую базовую точку.

Если требуется, чтобы имя блока, под которым далее будет использоваться вставляемый рисунок, отличалось от имени файла, в поле «Блок» можно задания имя блока, отличное от имени файла.

Команда **РАСЧЛЕНИТЬ** используется для расчленения вхождения блока на составляющие объекты. Команда может быть активизирована в командной строке или из меню РЕДАКТ / РАСЧЛЕНИТЬ.

После расчленения блока можно отредактировать его элементы, добавить или удалить какие-либо объекты в его описании и сохранить его заново *с тем же именем*, т. е. *переопределить*. После переопределения все вхождения блока в рисунок немедленно обновляются в соответствии с новым описанием.

#### ***Взаимодействие со слоями, цветами и типами линий***

Часто объединяемые в блок объекты находятся на различных слоях, имеют различные цвета и типы линий. Можно задать режим, при котором информация об исходных слоях, цветах и типах линий объектов сохраняется. При каждой вставке блока каждый объект помещается на

свой исходный слой и рисуется с использованием исходных цвета и типа линии.

Блок, состоящий из объектов, находящихся на слое 0 и имеющих цвет и тип линии **ПОСЛОЮ**, вставляется на текущий слой и принимает цвет и тип линии этого слоя. Эта установка имеет приоритет перед явным заданием блоку цвета и типа линии.

Блок, состоящий из объектов, имеющих цвет и тип линии **ПОБЛОКУ**, при вставке принимает текущие значения цвета и типа линии. Если цвет и тип линии явно не установлены, блок рисуется с использованием цвета и типа линии, назначенных слою.

Наличие плавающих слоев, цветов и типов линий при некорректном использовании усложняет работу. Во избежание этого рекомендуется придерживаться следующих правил:

1. Если во всех вхождениях данного блока одни и те же объекты должны располагаться на одних и тех же слоях и иметь одни и те же цвета и типы линий, всем объектам блока (в том числе находящимся во вложенных блоках) следует *явно* назначить слой, цвет и тип линии.

2. Если требуется, чтобы каждое вхождение блока имело цвет и тип линии, назначенные слою, на который блок вставлен, нужно при создании блока разместить все его объекты на слое 0, а цвет и тип линии установить **ПОСЛОЮ**.

3. Если требуется, чтобы для каждого вхождения блока цвет и тип линии задавались явно, нужно при создании блока установить для всех его объектов (в том числе находящихся во вложенных блоках) цвет и тип линии **ПОБЛОКУ**. Значения слоя, цвета и типа линии доступны для редактирования после вставки блока командой **ДИАЛСВОЙ**.

### **2.5.2. Работа с атрибутами блоков**

*Атрибут* представляет собой некое подобие метки или ярлыка, используемого для связывания с блоком текстовой строки или каких-либо иных данных. В дальнейшем возможен экспорт информации, хранящейся в атрибутах рисунка, во внешний файл с последующим использованием в электронных таблицах или базах данных для генерации различных документов (спецификаций, ведомостей материалов и др.).

Атрибуты могут быть *переменными, постоянными, скрытыми*.

*Переменные* атрибуты блока запрашиваются AutoCAD при его вставке и затем сохраняются вместе с блоком.

*Постоянные* атрибуты имеют одинаковые значения для каждого вхождения блока и запрос на их ввод при вставке блока не выдается.

*Скрытые* атрибуты не видны ни на экране монитора, ни на вычерченном рисунке. Несмотря на это, данные таких атрибутов хранятся в файле рисунка и могут быть извлечены и экспортированы командами ДИАЛАТЭК и АТЭКСП.

Создание атрибута выполняется командой ДИАЛАТОП, с помощью которой в диалоговом окне «Создание описания атрибута» (рис. 2.43) пользователь указывает свойства и параметры атрибута: *имя*, *подсказку* и *значение по умолчанию*; *текстовые свойства*; *точку вставки* и его необязательные *режимы* (скрытый, постоянный, контролируемый и установленный).

Команда ДИАЛАТОП активизируется в командной строке или из меню РИСОВАНИЕ / БЛОК / ЗАДАНИЕ АТТРИБУТОВ.

Создание описания атрибута из командной строки производится командой АТОПР.

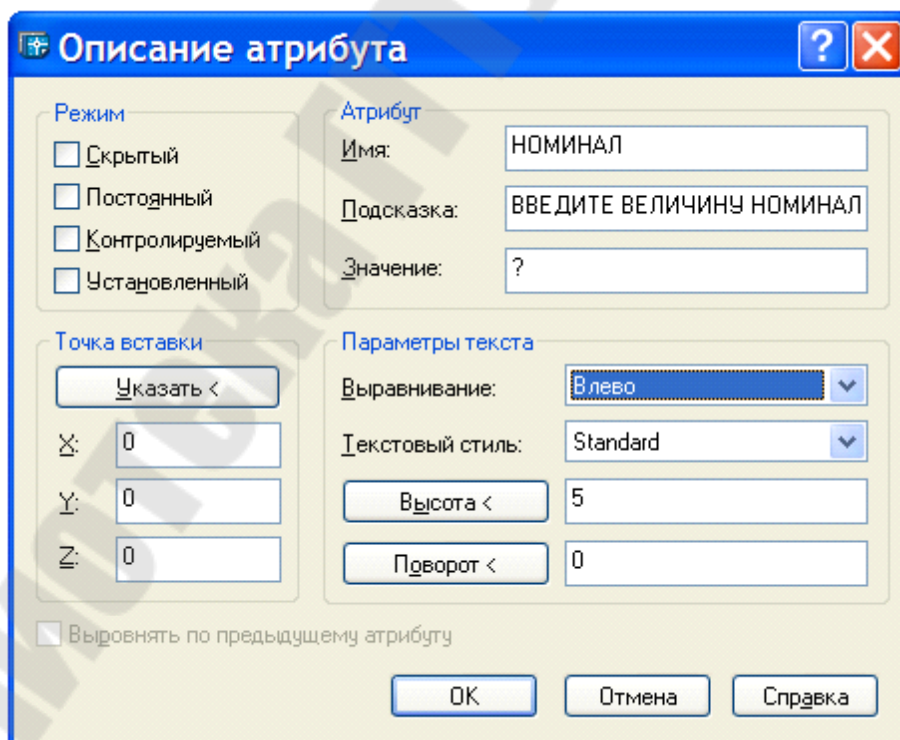


Рис. 2.43. Диалоговое окно «Вставка»

**Связывание атрибутов с блоками** производится при создании или переопределении блоков. В ответ на запрос AutoCAD о выборе объектов, включаемых в блок, нужно включить в набор не только геометрические объекты, но и необходимые атрибуты.

Если описание атрибута включено в блок, то в ходе вставки блока AutoCAD предлагает ввести значение атрибута, используя в качестве подсказки указанную в описании текстовую строку. Порядок выбора атрибутов при записи в блок задает порядок следования запросов на ввод их значений при вставке этого блока.

На рис. 2.44 показаны графические элементы для условных обозначений элементов электрической цепи – резистора и конденсатора, а также атрибуты ЭЛЕМЕНТ, ПОЗИЦИЯ, НОМИНАЛ и ЕД\_ИЗМ для размещения в них при каждом вхождении блока соответствующих данных, а также результаты вставки этих сформированных блоков в чертеж.

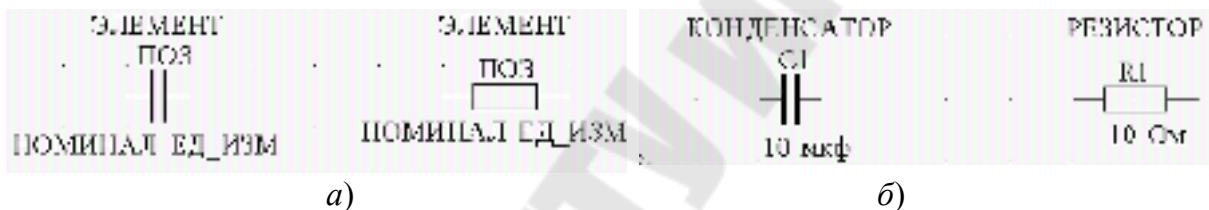


Рис. 2.44. Формирование блоков с атрибутами:  
*а* – объекты для записи в блоки; *б* – результаты вставки блоков

**Редактирование текстовых параметров атрибута**, не связанного с блоком, можно выполнить командой ДИАЛРЕД, которая активизируется в командной строке или из меню РЕДАКТ / ОБЪЕКТЫ / ТЕКСТ в диалоговом окне «Редактирование описания атрибута» (рис. 2.45).

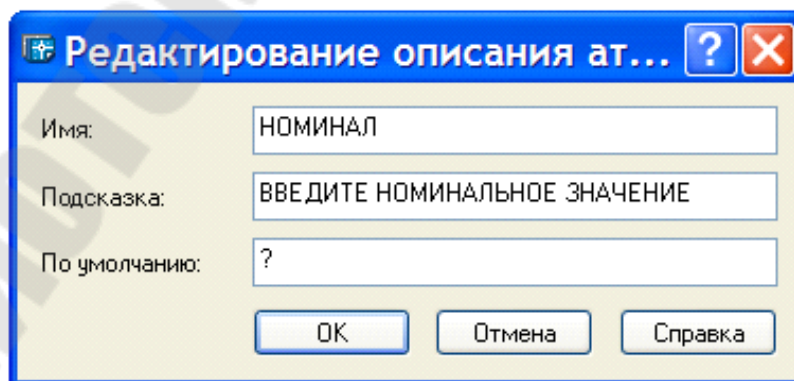


Рис. 2.45. Диалоговое окно «Редактирование описания атрибута»



Изменение всех, а не только текстовых описаний, возможно командой **ИЗМЕНИТЬ** в диалоговом окне «Свойства» (меню РЕДАКТ / СВОЙСТВА).

Редактирование атрибутов, связанных с блоками, осуществляется командой **ДИАЛАТР** в диалоговом окне «Редактирование атрибутов» или в редакторе атрибутов блоков, доступном из меню РЕДАКТ / ОБЪЕКТЫ / АТТРИБУТЫ / ПО ОДНОМУ (рис. 2.46). В редакторе атрибутов блоков возможно редактирование *параметров текста* (высота, наклон и т. п.) и свойств атрибута (слой, цвет и др.)

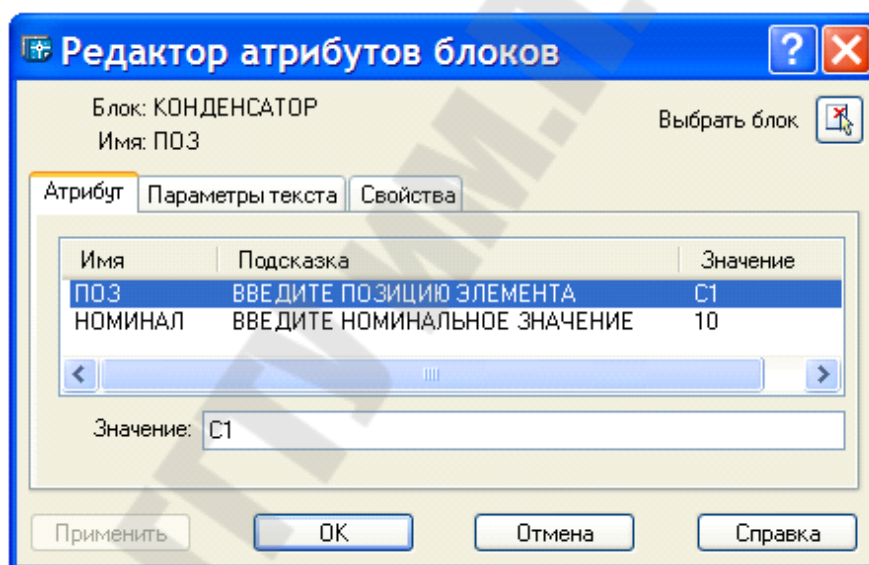
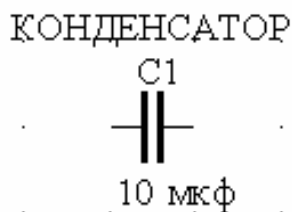


Рис. 2.46. Диалоговое окно «Редактор атрибутов блока»

Независимое изменение значений атрибутов блоков производится командой **АТРЕД**.

**Управление глобальной видимостью атрибутов** осуществляет команда **АТЭКР** путем переключения трех опций-режимов:

**Нормальный** – видимость атрибутов определяется их описанием (скрытые или нет);

**Вкл** – все атрибуты видны независимо от их описаний;

**Откл** – полное отключение видимости атрибутов.

Команда **ПЕРЕАТР** производит переопределение блока с добавлением новых атрибутов.

**Извлечение данных атрибутов** из рисунка в отдельный текстовый файл, который впоследствии может быть передан в какую-либо систему

управления базами данных, осуществляется командой ДИАЛАТЭК. При этом необходимо предварительно определить структуру выходного файла и создать *файл шаблона*. По шаблону AutoCAD определяет, данные каких атрибутов нужно извлекать из рисунка и как их разместить во внешнем файле.

В шаблоне построчно для каждого атрибута через пробел указываются следующие данные:

- имя атрибута;
- характер данных – символьные (С) или числовые (N);
- максимальная длина поля для вывода данных из атрибута;
- точность вывода числовых данных (число десятичных знаков).

Извлечение данных конкретного атрибута производится, только если его имя полностью совпадает с именем поля, заданным в файле шаблона. Если блок не содержит каких-либо из заданных в шаблоне атрибутов, их значения заменяются пробелами (для символьных) или нулями (для числовых). Блоки, не содержащие ни одного из перечисленных атрибутов, в выводе не участвуют. Каждое из полей, задающих вывод атрибутов, должно упоминаться в шаблоне не более одного раза.

Шаблон может включать в себя поля типа VL:xxx, перечисленные ниже. Первые 15 полей – общие; они описывают стандартные характеристики блока, остальные поля соответствуют атрибутам блоков. Символами pnn обозначена длина поля в виде трехзначного числа, ddd – число знаков после десятичной запятой в числовых данных:

VL: LEVEL	Nnnn000	Уровень вложенности блока
VL: NAME	Cnnn000	Имя блока
VL: X	Nnnnddd	Координата X точки вставки
VL: Y	Nnnnddd	Координата Y
VL: Z	Nnnnddd	Координата Z
VL: NUMBER	Nnnn000	Счетчик блоков
VL: HANDLE	Cnnn000	Метка блока
VL: LAYER	Cnnn000	Имя слоя вставки блока
VL: ORIENT	Nnnnddd	Угол поворота блока
VL: XSCALE	Nnnnddd	Масштаб по X
VL: YSCALE	Nnnnddd	Масштаб по Y
VL: ZSCALE	Nnnnddd	Масштаб по Z

BL: XEXTRUDE	Nnnddd	Составляющая X вектора выдавливания
BL: YEXTRUDE	Nnnddd	Составляющая Y
BL: ZEXTRUDE	Nnnddd	Составляющая Z
числовой	Nnnddd	Числовой атрибут
символьный	Cnnn000	Символьный атрибут

Файл шаблона имеет формат текстового файла (TXT), который может быть создан редактором «Блокнот» либо редактором MS-Word (с сохранением файла в txt-формате).

Для извлечения данных атрибутов необходимо вызвать команду **ДИАЛАТЭК** из командной строки, активизирующую диалоговое окно «Извлечение атрибутов» (рис. 2.47). В диалоговом окне необходимо указать: имя файла шаблона, имя выходного файла, объекты для извлечения атрибутов, формат файла вывода (CDF, SDF, DXF).

Если объекты для обработки не указаны, команда **ДИАЛАТЭК** выводит данные всех обнаруженных атрибутов, отвечающих условиям шаблона.

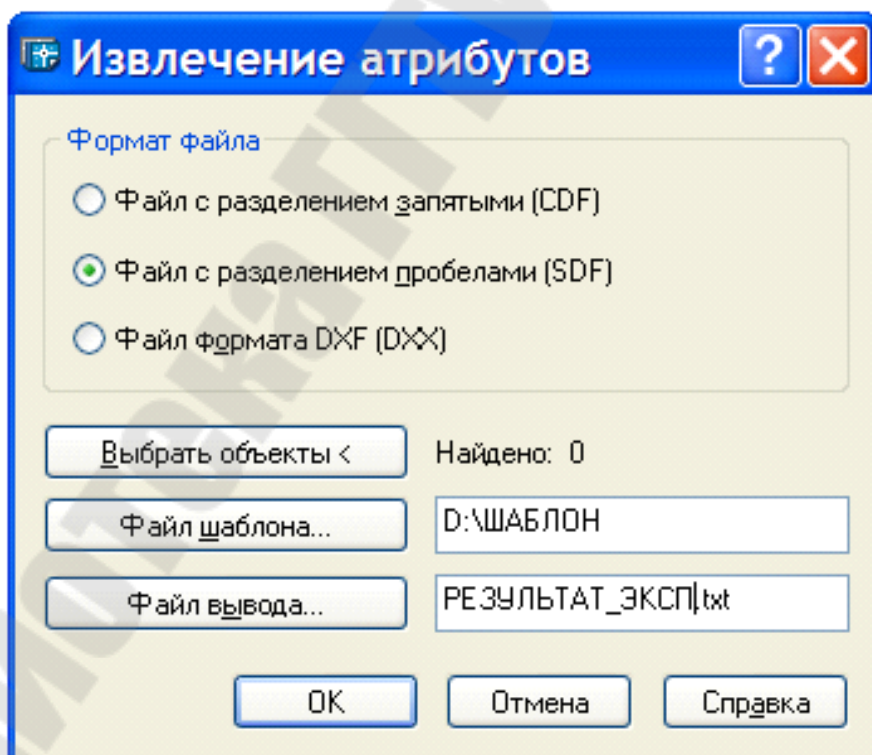


Рис. 2.47. Диалоговое окно «Извлечение атрибутов»

Команда **ДИАЛАТЭК** способна выводить значения атрибутов в следующих форматах:

CDF – файл содержит по одной записи для каждого вхождения блока в рисунок. Поля записи разделяются запятыми, а символьные поля заключаются в апострофы;

SDF – файл также содержит по одной записи для каждого вхождения блока в рисунок. Поля записи имеют фиксированную длину и не требуют ни разделителей, ни ограничителей символьных полей;

DXF – файл содержит подмножество DXF-файла обмена рисунками AutoCAD с вхождениями блоков, атрибутами и символами конца последовательности. Шаблон для вывода в формате DXF не требуется.

Пример файла-шаблона для экспорта атрибутов из блоков элементов электрической цепи на рис. 2.44, б и результаты этого экспорта представлены ниже:

*Файл-шаблон “ШАБЛОН.TXT”*

VL:NAME C008000 (Имя блока, 8 символов)

ЭЛЕМЕНТ C015000 (Название элемента схемы, 15 символов)

ПОЗ C004000 (Позиционное обозначение элемента на схеме, 4 символа)

НОМИНАЛ N006002 (Номинальное значение элемента, число в формате nnn.dd)

ЕД\_ИЗМ C004000 (Единицы измерения номинала, 4 символа)

*Файл вывода “РЕЗУЛЬТАТ\_ЭКСП.TXT” в формате SDF*

R РЕЗИСТОР R1 10.00Ом

C КОНДЕНСАТОР C1 10.00мкф

*Файл вывода “РЕЗУЛЬТАТ\_ЭКСП.TXT” в формате CDF*

'R', 'РЕЗИСТОР', 'R1', 10.00, 'Ом'

'C', 'КОНДЕНСАТОР', 'C1', 10.00, 'мкф'

### 2.5.3. Внешние ссылки

С текущим рисунком можно связывать другие рисунки в качестве внешних ссылок через меню ВСТАВКА / ВНЕШНЯЯ ССЫЛКА. Отличие внешних ссылок от блоков заключается в следующем. Если рисунок вставляется как блок, описание блока (т. е. перечень входящих в него геометрических объектов) записывается в базу данных текущего рисунка. Никакие дальнейшие изменения исходного рисунка не сказываются на тех рисунках, куда он был вставлен. Если же воспользоваться внешней ссылкой, то любая модификация исходного рисунка становится видна и в тех рисунках, где он используется. Таким образом, рисунок с внешними ссылками всегда отражает их текущее состояние.

Как и блоки, внешние ссылки представляют собой единые объекты текущего рисунка. Однако применение внешних ссылок практически не увеличивает размер файла текущего рисунка; кроме того, их нельзя расчленять. Как и блоки, внешние ссылки могут быть вложенными.

Для управления внешними ссылками предназначена команда **ССЫЛКА**, активизирующая диалоговое окно «Диспетчер внешних ссылок» (рис. 2.48). AutoCAD отображает в нем статус каждой из имеющихся ссылок и их взаимосвязи.

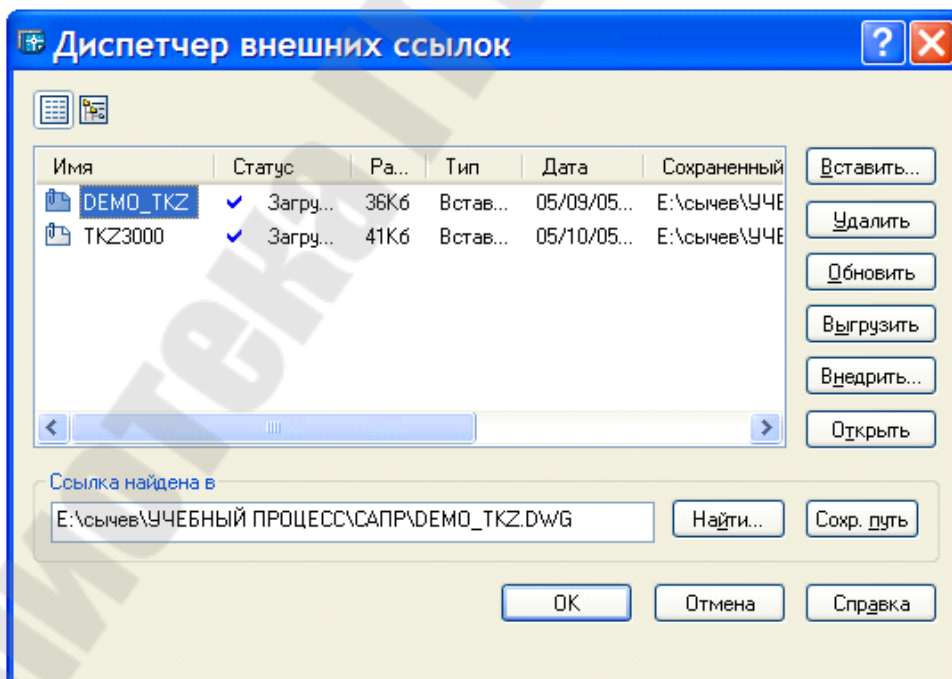


Рис. 2.48. Диалоговое окно «Диспетчер внешних ссылок»

С помощью управляющих кнопок этого диалогового окна можно:

- вставлять новые и имеющиеся внешние ссылки;
- удалять, обновлять и выгружать имеющиеся ссылки;
- заменять вставленные ссылки на наложенные и обратно;
- добавлять содержимое внешних ссылок в текущий рисунок;
- изменять пути к внешним ссылкам.

Таким образом, использование внешних ссылок позволяет:

- собирать главный рисунок из фрагментов, которые могут изменяться в ходе разработки проекта;
- координировать свою работу с работой других разработчиков, накладывая другие рисунки на свой и сверяясь с произведенными в них изменениями;
- гарантировать наличие на экране последних версий фрагментов рисунков. При открытии или выводе рисунков на плоттер AutoCAD автоматически производит обновление всех ссылок; таким образом, рисунок всегда отражает их текущие состояния;
- выводить на экран только определенные фрагменты ссылок, подрезая их границы.

При открытии или выводе рисунка на плоттер AutoCAD производит обновление всех ссылок, отражая таким образом текущее состояние каждой из них. После завершения редактирования рисунка ссылки и ее сохранения она становится доступной всем пользователям, для этого им нужно лишь обновить ссылку.

### **3. РАСЧЕТЫ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

#### **3.1. Техническая и математическая постановка задачи расчета установившегося режима**

Расчеты установившихся режимов составляют часть общего объема исследований электроэнергетических систем, выполняемых как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации этих систем. Эти расчеты необходимы для *выбора конфигурации* схемы электрической системы и параметров ее элементов, *анализа условий работы* электрической системы, ее устойчивости и оценки токов коротких замыканий, *определения наиболее экономичных режимов* ее работы.

**Целью расчета установившегося режима** электрической системы в общем случае является определение *параметров режима*, таких как напряжения в ее узловых точках, потоки мощности и токи в ветвях схемы замещения, показатели экономичности и качества работы электрической сети (потери мощности, потери напряжения, отклонения напряжения от номинальных значений и др.)

Кроме того, расчеты установившихся режимов позволяют ответить на ряд практически важных вопросов:

- возможна ли передача требуемой мощности от источников электроэнергии к потребителям;
- не превышают ли допустимых значений токи, протекающие по элементам электрической системы в нормальных и послеаварийных режимах;
- не выходят ли напряжения в узловых точках системы за заданные пределы.

Для выполнения расчета любого установившегося режима необходима информация о схеме электрической сети и ее параметрах, а также о потребителях (нагрузках) и источниках электроэнергии в узлах сети.

Сеть электрической системы в расчетах установившихся режимов представляется *схемой замещения* в виде линейной электрической цепи, конфигурация и параметры которой могут быть описаны матрицами обобщенных параметров.

## **3.2. Математическая модель электрической сети**

Математическая модель электрической сети включает модели активных и пассивных элементов и их параметры (схемы замещения), топологическую модель схемы, математические выражения, связывающие искомые параметры с исходными данными.

### **3.2.1. Модели элементов энергосистемы**

Отдельные элементы электрической системы в расчетах установившихся режимов представляются схемами замещения, состоящими из элементов электрической цепи: источников напряжения или тока и сопротивлений. При рассмотрении симметричных установившихся режимов системы трехфазного переменного тока все величины, характеризующие схемы замещения ее элементов, определяются комплексными

числами. При этом схемы замещения составляются на одну фазу с нейтралью.

Все элементы электрической сети можно разделить на пассивные (линии электропередачи, трансформаторы, реакторы, батареи конденсаторов) и активные (энергосистемы, генераторы, электрические нагрузки).

**Линии электропередачи** характеризуются продольным сопротивлением  $Z_{\text{л}} = R_{\text{л}} + jX_{\text{л}}$  и поперечной проводимостью  $\underline{Y}_{\text{л}} = G_{\text{л}} - jB_{\text{л}}$ . Значение  $G_{\text{л}}$ , соответствующее активной проводимости, обусловлено потерями на корону. Указанные параметры в расчетах режимов характеризуют П-образную схему замещения линии. Значения  $R_{\text{л}}$ ,  $X_{\text{л}}$ ,  $G_{\text{л}}$ ,  $B_{\text{л}}$  определяются длиной  $l$  линии между соседними узлами расчетной схемы и значениями удельных параметров.

**Трансформаторы** характеризуются Г-образной схемой замещения с сопротивлением короткого замыкания  $\underline{Z}_{\text{т}} = R_{\text{т}} - jX_{\text{т}}$  и проводимостью шунта намагничивания  $\underline{Y}_{\text{ш}} = G_{\text{ш}} - jB_{\text{ш}}$ , с идеальным трансформатором, характеризующимся только коэффициентом трансформации  $k_{\text{т}} \approx U_i / U_j$ .

**Реакторы** поперечной компенсации и нерегулируемые **конденсаторные батареи** моделируются ветвями, соединенными с «землей» (шунтами), для которых предусмотрено задание  $\underline{Z}_{\text{ш}} = r_{\text{ш}} - jx_{\text{ш}}$  или  $\underline{Y}_{\text{ш}} = g_{\text{ш}} - jb_{\text{ш}}$ . Емкостные сопротивления установок продольной компенсации моделируются линейными элементами  $r_{\text{л}} \approx 0$ ,  $x_{\text{с}} = 1 / \omega C$ .

**Источники питания (энергии)** могут быть представлены в виде источника напряжения с ЭДС  $E$  и внутренним сопротивлением  $Z$  либо в виде источника тока  $J$ , значение которого равно току установившегося режима  $I$ , причем последний обычно отображают так называемым **задающим** током.

Задающие токи в  $j$ -м узле выражаются через мощности генераторов или нагрузок  $P_j$  и  $Q_j$  и напряжения узлов  $U_j$ :

$$\underline{J}_j = \frac{P_j - jQ_j}{* \underline{U}_j}. \quad (3.1)$$

Исходными данными об источниках питания, как правило, служат выдаваемые генераторами в систему активные мощности ( $P_{\text{г}j} = \text{const}$ ) и абсолютные значения напряжений в точках их подключения:



$|U_{ij}| = \text{const}$ , хотя в ряде случаев источники питания могут быть заданы и постоянными значениями активных и реактивных мощностей ( $P_{ij} = \text{const}, Q_{ij} = \text{const}$ ) аналогично нагрузкам. Кроме того, один из источников (как правило, наиболее мощная электрическая станция), играющий роль балансирующего, задается комплексным значением напряжения ( $U_{\sigma} = \text{const}$ ).

**Нагрузка** (потребители электроэнергии) имеет схему замещения либо в виде сопротивления  $Z$ , либо (аналогично ИП) в виде источника тока, равного взятому с обратным знаком току нагрузки, либо в виде задающего тока.

Исходными данными о нагрузках реальных электрических систем при их проектировании и эксплуатации обычно служат значения потребляемых ими активных и реактивных мощностей ( $P_{ij} + jQ_{ij} = \underline{S}_{ni}$ ), которые могут приниматься постоянными ( $\underline{S}_{ni} = \text{const}$ ) либо зависящими от напряжения в точке подключения нагрузки к сети, т. е.  $\underline{S}_{ni} = f(U_i)$ .

### 3.2.2. Топологическая модель схемы электрической сети

Схемы замещения современных сложных электрических систем содержат сотни узлов и ветвей. Количество уравнений состояния для таких систем соответственно настолько велико, что для их решения необходимо использовать ЭВМ. Для этого требуется иметь формализованный подход к составлению уравнений, который был бы одинаков для схем любой сложности и конфигурации. Такой подход может быть разработан на основе аналитического представления конфигурации схемы замещений с помощью элементов теории графов и алгебры матриц.

Схема замещения электрической системы, используемая для расчетов установившихся режимов, представляет собой электрическую цепь, содержащую пассивные и активные элементы и к ней применимы такие понятия, как **ветвь**, **узел** и **контур**.

Конфигурацию схемы замещения электрической системы можно отобразить в виде графа. **Граф** представляет собой множество *вершин* (узлов) и *ребер* (ветвей), соединяющих некоторые (или все) пары вершин. Любая часть графа называется *подграфом*. Совокупность ребер, со-

единяющих две произвольные вершины, образуют подграф, определяемый как *путь графа*. Если начальная и конечная вершины пути графа совпадают, то этот путь графа является замкнутым и образует *контур*.

Ветви, связанные с узлом нейтрали (ветви источников питания и нагрузок), называют *поперечными*; остальные ветви – *продольными*.

Схема замещения, имеющая хотя бы один контур, называется *замкнутой*; при отсутствии контуров – *разомкнутой*.

Если в графе можно выбрать путь, который соединяет его любые две вершины, то этот граф является *связанным*; если нельзя – *несвязанным*.

Если ребра графа имеют фиксированные направления, то этот граф называется *направленным*. Каждое ребро направленного графа имеет начальную и конечную вершины; его направление принимается от первой вершины ко второй.

Схема замещения электрической системы обычно является связанным графом, ребрами которого служат ветви, а вершинами – узлы. Ветви образуют цепочки (пути графа), которые могут быть замкнутыми. Все величины, характеризующие состояние ветвей (токи, ЭДС, падения напряжения), имеют определенное направление (без чего не может быть рассчитан режим данной схемы). В связи с этим целесообразно каждой ветви схемы придать определенное (произвольно выбранное) направление.

Для обобщенного аналитического представления *направленного графа* служат матрица соединений ветвей в узлах  $\mathbf{M}$  (первая матрица инцидентий) и матрица соединений ветвей в независимые контуры  $\mathbf{N}$  (вторая матрица инцидентий).

*Первая матрица инцидентий* – это прямоугольная матрица  $(n \times m)$ , число строк которой равно числу вершин графа  $n$ , а число столбцов – числу ребер  $m$ :

$$M_{\Sigma} = (m_{ij}), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m. \quad (3.2)$$

Номера строк  $i$  соответствуют номерам вершин, а номера столбцов  $j$  – номерам ребер. Элементы матрицы  $M_{\Sigma}$  могут принимать одно из трех значений:

$m_{ij} = +1$ , если узел  $i$  является начальной вершиной ветви  $j$  (ток ветви выходит из  $i$ -го узла);

$m_{ij} = -1$ , если узел  $i$  является конечной вершиной ветви  $j$  (ток ветви входит в  $j$ -й узел);

$m_{ij} = 0$ , если узел  $i$  не является вершиной ветви  $j$  (нет связи между  $i$ -м узлом и  $j$ -й ветвью).

Каждая строка матрицы  $\mathbf{M}_\Sigma$  показывает, какими вершинами соответствующие ветви присоединяются к данному узлу схемы; каждый столбец – какие узлы являются начальной и конечной вершинами данной ветви. Очевидно, что в каждом столбце матрицы  $\mathbf{M}_\Sigma$  может быть только одна положительная и одна отрицательная единицы; остальными элементами являются нули. Сумма всех строк этой матрицы (по столбцам) должна давать нулевую (строчную) матрицу.

*Вторая матрица инцидентий* – это прямоугольная матрица ( $k \times m$ ), число строк которой равно числу независимых контуров графа  $k$ , а число столбцов – числу ребер  $m$ :

$$N = (n_{ij}), \quad i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, m. \quad (3.3)$$

Номера строк  $i$  соответствуют номерам независимых контуров, а номера столбцов  $j$  – номерам ветвей. Элементы матрицы  $\mathbf{N}$  могут принимать одно из трех значений:

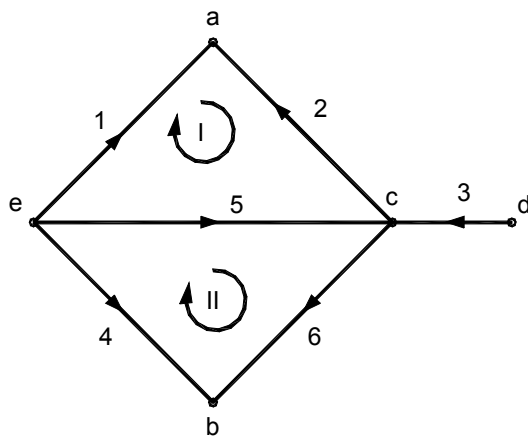
$n_{ij} = +1$ , если ветвь  $j$  входит в  $i$ -й контур и их направления совпадают;

$n_{ij} = -1$ , если ветвь  $j$  входит в  $i$ -й контур, но направления противоположны;

$n_{ij} = 0$ , если ветвь  $j$  не входит в  $i$ -й контур.

Каждая строка матрицы  $\mathbf{N}$  показывает, какие ветви входят в состав соответствующего независимого контура и какое направление имеют относительно направления контура. Каждый столбец матрицы показывает, в состав каких независимых контуров входит данная ветвь и совпадает ли ее направление с направлениями этих контуров.

Ни рис. 3.1 приведены направленный граф и соответствующие ему матрицы инциденций.



$$M_{\Sigma} = \begin{array}{cccccc|l} -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & b \\ 0 & +1 & -1 & 0 & -1 & +1 & c \text{ узлы} \\ 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & d \\ +1 & 0 & 0 & +1 & +1 & 0 & e \\ \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \text{ветви} \end{array}$$

$$N = \begin{array}{cccccc|l} +1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 & -1 & +1 & +1 & II \text{ контуры} \\ \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \text{ветви} \end{array}$$

Рис. 3.1. Направленный граф и матрицы инциденций

Матрицы  $M_{\Sigma}$  и  $N$  дают возможность записать уравнения состояния электрической цепи в матричной форме. Конкретный вид этих уравнений определяется формами уравнений состояния, положенных в основу математического описания установившегося режима, и обобщенными параметрами системы. Из уравнений состояния наиболее широко применяются *узловые уравнения*, которые характеризуются как простотой формирования, так и большими возможностями эффективной организации процесса их решения. Контурные уравнения формируются несколько сложнее, однако и они имеют определенную рациональную область применения.

### 3.2.3. Матричные уравнения установившегося режима электрической сети

**Узловые уравнения** могут быть записаны через матрицу узловых проводимостей  $\underline{Y}_y$  и матрицу узловых сопротивлений  $\underline{Z}$ :

$$\underline{Y}_y \cdot \underline{U}_{\Delta} = \underline{J} - \underline{M} \cdot \underline{Z}_B^{-1} \cdot \underline{E} \quad \text{или} \quad \underline{U}_{\Delta} = \underline{Z} \cdot \underline{J} - \underline{Z}_B \cdot \underline{M} \cdot \underline{Z}_B^{-1} \cdot \underline{E}, \quad (3.4)$$

где  $\underline{U}_{\Delta} = \underline{U}_y - U_0$  – столбец разностей напряжений  $U_y$  в  $n-1$  узлах по отношению к напряжению базисного узла  $\underline{U}_0$ ;  $\underline{J}$  – столбец узловых то-

ков;  $\mathbf{E}$  – столбец ЭДС в ветвях;  $\mathbf{Y}_y$  – квадратная матрица узловых проводимостей.

По главной диагонали матрицы  $\mathbf{Y}_y$  находятся элементы  $Y_{11}$ ,  $Y_{22}$  и т. д., представляющие собой собственные проводимости узла или сумму проводимостей всех ветвей, связанных с данным узлом. Остальные элементы этой матрицы представляют собой проводимости ветвей между соответствующими узлами, взятые с обратными знаками.

Напряжения в узлах и токи в ветвях определяются при отсутствии ЭДС в ветвях и несовпадении балансирующего и базисного узлов:

$$\mathbf{U}_y = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{J} + \mathbf{U}_0; \quad \mathbf{I} = \mathbf{Z}_B^{-1} \cdot \mathbf{M}'_t \cdot \mathbf{U}_\Delta. \quad (3.5)$$

Здесь  $\mathbf{M}'_t$  – транспонированная матрица  $\mathbf{M}'$ , представляющая собой первую матрицу соединений, но записанная для того случая, когда базисный и балансирующий узлы в схеме замещения не совпадают. Отличие состоит в том, что в матрице  $\mathbf{M}$  отсутствует строка, отвечающая балансирующему (совпадающему с базисным) узлу, а в матрице  $\mathbf{M}'$  отсутствует строка, отвечающая базисному узлу. Если базисный и балансирующий узлы совпадают, то вместо  $\mathbf{M}'_t$  употребляется матрица  $\mathbf{M}_t$ .

**Контурные уравнения**, по которым вычисляются токи в ветвях, имеют вид:

$$\mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{I}_k = \mathbf{E}_k - \mathbf{N} \cdot \mathbf{Z}_B \begin{vmatrix} \mathbf{M}_\alpha^{-1} \\ 0 \end{vmatrix} \mathbf{J}; \quad \mathbf{I} = \mathbf{N} \cdot \mathbf{I}_k + \begin{vmatrix} \mathbf{M}_\alpha^{-1} \\ 0 \end{vmatrix} \mathbf{J}, \quad (3.6)$$

где  $\mathbf{Z}_k = \mathbf{N} \cdot \mathbf{Z}_B \cdot \mathbf{N}_t$  – квадратная матрица контурных сопротивлений;  $\mathbf{I}_k$  – матрица контурных токов;  $\mathbf{I}$  – столбец токов в ветвях;  $\mathbf{M}_\alpha$  – подматрица первой матрицы соединений  $\mathbf{M}$ , характеризующая связь ветвей дерева с ее узлами:

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_\alpha \cdot \mathbf{M}_\beta, \quad (3.7)$$

где  $\mathbf{M}_\beta$  – также подматрица матрицы  $\mathbf{M}$ , показывающая связь между хордами схемы и ее узлами. При составлении матрицы  $\mathbf{M}$  сначала записываются столбцы, отвечающие ветвям, образующим дерево схемы, а затем ветвям, являющимися ее хордами.

### 3.3. Методы решения уравнений установившегося режима

С математической точки зрения расчет установившегося режима электрической сети сводится к решению системы линейных или нелинейных уравнений. Конкретный вид этих уравнений определяется формами уравнений состояния, положенных в основу математического описания установившегося режима, и обобщенными параметрами системы.

Уравнения установившегося режима электрической системы трехфазного переменного тока, связывающие мощности, задающие токи и напряжения узлов, при отсутствии ЭДС в ветвях имеют вид:

$$\begin{aligned} \underline{S}_y &= 3\underline{U}_d \cdot \underline{J}; \\ \underline{Y}_y(\underline{U} - \underline{U}_6) &= \underline{J}, \end{aligned} \quad (3.8)$$

где  $\underline{S}_y$  – столбец мощностей источников или потребителей, подсоединенных к узлам схемы замещения системы;  $\underline{U}_d = \text{diag}(\underline{U}_j)$  – диагональная матрица напряжений в узлах схемы замещения;  $\underline{U}$  – столбец напряжений в узлах схемы;  $\underline{U}_6$  – столбец, каждый элемент которого равен напряжению в балансирующем узле  $\underline{U} - \underline{U}_6 = \underline{U}_\Delta$ ;  $\underline{J}$  – столбец задающих токов в узлах (символом отмечаются комплексно-сопряженные величины).

Система (3.8) нелинейных и линейных уравнений при заданных мощностях узлов в общем случае может быть решена только итерационным методом.

Основным средством расчета установившихся режимов сложных электрических систем, а также решения других задач, в которых расчет установившегося режима является неотъемлемой частью, служат ЭВМ.

Разработка эффективных алгоритмов расчетов установившихся режимов требует максимального учета всех специфических особенностей, которыми характеризуются схемы замещения реальных электрических систем и соответствующие им матрицы обобщенных параметров. Эти особенности необходимо учитывать как при формировании уравнений установившегося режима, так и при выборе наиболее рационального метода их решения и, прежде всего, рассматриваемых ниже методов решения систем линейных алгебраических уравнений.











В *методе Зейделя*, в отличие от метода простой итерации, для вычисления  $i$ -й переменной на каждом  $k$ -м шаге итерационного процесса используются значения переменных, вычисленные как на предыдущем  $(k-1)$ -м шаге, так и на данном. При этом на  $k$ -м шаге итерационного процесса система (3.15) имеет вид:

$$\begin{cases} x_1^{(k)} = \frac{1}{a_{11}} (b_1 - a_{12} \cdot x_2^{(k-1)} - \dots - a_{1n} \cdot x_n^{(k-1)}), \\ x_2^{(k)} = \frac{1}{a_{22}} (b_2 - a_{21} \cdot x_1^{(k)} - a_{23} \cdot x_3^{(k-1)} - \dots - a_{2n} \cdot x_n^{(k-1)}), \\ \dots \dots \dots \\ x_n^{(k)} = \frac{1}{a_{nn}} (b_n - a_{n1} \cdot x_1^{(k)} - a_{n2} \cdot x_2^{(k)} - \dots - a_{n(n-1)} \cdot x_{n-1}^{(k)}). \end{cases} \quad (3.17)$$

Вычисления в обоих методах продолжаются до тех пор, пока значения  $x_i$  на двух смежных итерациях не будут отличаться на величину, меньшую заданной погрешности  $\varepsilon$ :

$$|x_i^{<k+1>} - x_i^{<k>}| < \varepsilon, \quad i = 1, \dots, n. \quad (3.18)$$

Для выполнения условия (3.18) при любом сколь угодно малом значении  $\varepsilon$  необходимо, чтобы

$$\lim_{k \rightarrow \infty} x_i^{(k)} = x_i^*, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3.19)$$

где  $x_i^*$  – точные решения исходной системы уравнений.

При выполнении (3.19) для произвольного начального приближения  $x_i^{<0>}$ ,  $i = 1, \dots, n$  итерационный процесс называется *сходящимся*. В противном случае итерационный процесс не приводит к решению и называется *расходящимся*.

На рис. 3.2 показан характер изменения итерационной переменной  $x$  в зависимости от номера итерации  $N$  для случаев сходящегося и расходящегося итерационного процесса.

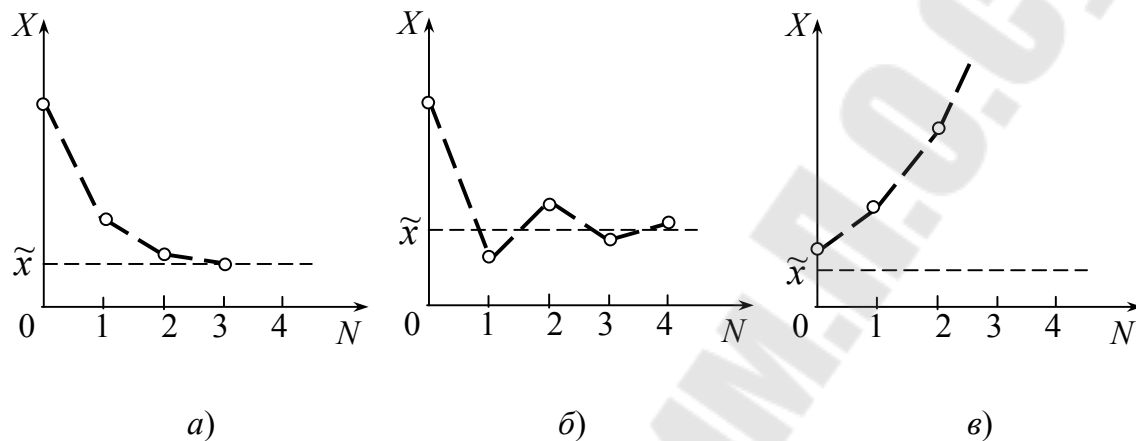


Рис. 3.2. Итерационные процессы решения уравнения:

$a$  – монотонно сходящийся;  $б$  – периодически сходящийся;  $в$  – расходящийся

Процесс по методу Зейделя сходится, причем быстрее, чем по методу простой итерации, т. е. при одинаковых начальных приближениях неизвестных и одинаковой заданной точности решение по методу Зейделя получается за меньшее число итераций.

*Достаточное условие* сходимости итерационного процесса по методу простой итерации или методу Зейделя определяется только соотношением элементов матрицы коэффициентов  $\mathbf{A}$ :

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| < |a_{ii}|, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3.20)$$

т. е. итерационный процесс будет сходящимся, если сумма элементов  $i$ -й строки матрицы коэффициентов  $a_{ij}$  без диагонального  $a_{ii}$  будет меньше по модулю этого диагонального элемента.

## 4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПРОГРАММЕ MUSTANG

### 4.1. Общая характеристика и возможности программы

Комплекс MUSTANG-90 предназначен для выполнения на ПЭВМ расчетов по моделированию установившихся режимов (УР) и переходных электромеханических процессов в электрических системах. Расчеты установившегося электрического режима выполняются методом Ньютона-Рафсона с улучшением сходимости тяжелых режимов по методу Матвеева. Система линейных алгебраических уравнений решается методом Гаусса с предварительной оптимизацией порядка исключения неизвестных.

Структурно комплекс программ MUSTANG состоит из трех основных расчетных программ: расчета *установившегося режима*, расчета *переходного процесса*, программы *утяжеления режимов* (которая фактически представляет собой последовательную серию расчетов установившихся режимов).

Программа имеет оконный интерфейс. Диалог с пользователем осуществляется через главное меню, которое отражает структуру программы и ее модули, функционально отвечающие за решение следующих основных и вспомогательных задач:

**УР-данные** – подготовка исходных данных и расчет установившегося режима электрической сети;

**УР-рез** – анализ результатов расчета УР;

**Дина-данные** – подготовка исходных данных для расчета электромеханических переходных процессов;

**Дина-рез** – анализ и обработка результатов расчета электромеханических переходных процессов;

**Диск** – выполнение дисковых операций с файлами исходных данных;

**Утяжеление** – выполнение серии расчетов УР для анализа статической устойчивости;

**Прочее** – информация о программе.

Меню ДИСК содержит директивы чтения-записи на диск файлов с исходными данными для расчетов установившихся и переходных режимов электрической сети. Доступ к файлам на диске осуществляется с помощью диалогового окна. Файлы с данными в зависимости от содер-

жащейся в них информации имеют различные расширения. Файлы для расчета установившегося режима имеют расширение REG.

Окончание работы комплекса MUSTANG осуществляется директивной **Выход** (либо нажатием в главном меню клавиши Esc).

## 4.2. Ввод исходных данных и выполнение расчетов

Исходные данные для расчета *установившегося* режима состоят из следующих блоков: общей информации, параметров узлов и параметров ветвей электрической сети, коэффициентов статических характеристик нагрузок, информации о вставках постоянного тока (ВПТ).

Меню **УР-данные** содержит директивы подготовки исходных данных и управления расчетом установившегося режима электрической сети. Ввод числовой информации осуществляется в соответствующих числовых полях. Отсутствие в каком-либо поле числовой информации означает, что данному параметру присвоено нулевое значение.

Для ввода либо корректировки числовой информации в определенном поле необходимо подвести в это поле курсор.

Далее приводятся директивы, доступные из меню **УР-данные**.

**Инфо** – создает информационное окно текущего УР (если оно отсутствует), в котором отображаются: название файла с исходными данными; путь к директории на диске, где хранятся файлы исходных данных; количество узлов и ветвей для данной электрической сети; поясняющая информация к данному УР; число итераций, за которое был посчитан УР; максимальный небаланс мощности после расчета УР и его точность.

**Новая схема** – применяется для обнуления исходных данных, когда необходим ввод новой схемы.

**Общая информация** – применяется для установки в диалоговом окне точности расчета, ограничения количества итераций, выбора стартового алгоритма расчета.

**Узлы-ветви** – подготовка исходных данных по параметрам **узлов** и **ветвей** расчетной схемы замещения электрической сети.

Ввод информации об узлах и ветвях (связях) осуществляется построчно при занесении необходимой числовой информации в соответствующие поля таблиц параметров узлов и ветвей.

**Параметры узлов.** Каждый  $i$ -й узел электрической сети характеризуется при расчете стационарного режима следующими параметрами (рис. 4.1):

$P_{н_i}, Q_{н_i}$  – активная и реактивная нагрузка, МВт;  $U_{нор_i}$  – номинальное напряжение, кВ;  $U_i, \delta_i$  – расчетные модуль напряжения и фаза, кВ и град;  $P_{г_i}, Q_{г_i}$  – активная и реактивная генерируемая в узел мощность, МВт;  $Q_{ш_i}, B_{ш_i}$  – активная и реактивная проводимость шунта между узлом и землей, мкСм.

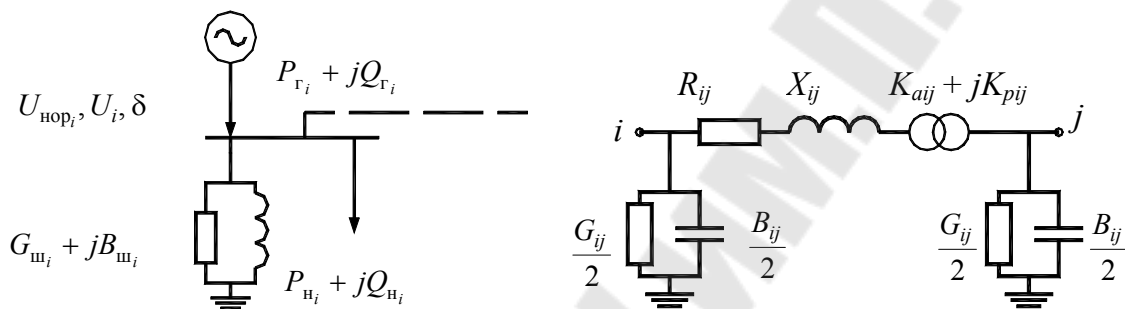


Рис. 4.1. Схема замещения узла и ветви

Реактивная мощность генератора  $Q_g$  может быть задана фиксированной либо свободной изменяющейся величиной в пределах ограничений  $Q_{g_{max}}$  и  $Q_{g_{min}}$ . Для того чтобы программа могла определить, какой узловой параметр зафиксирован (является неизменным), используется **код узла** – четырехзначное число, каждый разряд которого содержит признак фиксации *напряжения, угла напряжения, активной и реактивной* генерируемой мощности в узле; «1» – означает фиксацию параметра, «0» – параметр «свободен». Например: 1100 – в узле зафиксированы модуль и угол напряжения, а величины  $P_g$  и  $Q_g$  определяются в результате решения уравнений установившегося режима (что характерно для «балансирующего» узла энергосистемы бесконечной мощности); 1010 – в узле зафиксированы модуль напряжения  $U$  и  $P_g$  (что характерно для узла, к которому подключен генератор), 0 или 11 – для нагрузочного узла.

Отметим, что для определенности системы уравнений установившегося режима хотя бы одна активная и хотя бы одна реактивная мощности источников не должны быть фиксированы (балансирующие мощ-

ности). В общем случае все активные и реактивные мощности могут быть свободными.

Для удобства анализа информации пользователь может задать обязательный параметр – *Название узла* (до 8 символов).

Для учета влияния напряжения в узле на мощность можно задать для узла параметр  $N_{схн}$  – номера статических характеристик активной и реактивной нагрузки в узле, которые задаются одним числом, например: 1526 – означает характеристику номер 15 по  $P_n$  и номер 26 по  $Q_n$ .

**Параметры ветвей.** Каждая связь  $i-j$  представляется П-образной схемой замещения (рис. 4.1), в которую входят следующие параметры:

$R_{ij}, X_{ij}$  – активное и реактивное сопротивления связи, Ом;

$G_{ij}, B_{ij}$  – активная и реактивная продольные проводимости, обусловленная потерями на корону и зарядной мощностью, мкСм;

$K_{aji}, K_{rji}$  – продольная и поперечная составляющие коэффициента трансформации.

В связи может быть только один трансформатор у узла  $j$ . Коэффициент трансформации задается отношением напряжения на связи в точке  $i$  к напряжению узла в точке  $j$ :  $K_{ij} = U_i / U_j$ .

Обычно в качестве связи, на которой находится трансформатор, выступает сопротивление обмотки трансформатора. Коэффициент трансформации в этом случае определяется как отношение напряжения, к которому приведено сопротивление трансформатора, к напряжению другой ступени. Так, если сопротивление приведено к высокому напряжению, то коэффициент трансформации будет больше единицы, если к низкому, то меньше единицы.

При подготовке исходных данных для расчета на основании схемы электрической сети необходимо составить схему замещения и пронумеровать ее узлы. После этого конфигурация схемы замещения и ее параметры вводятся в таблицы параметров узлов и ветвей. Примеры исходных данных для сети и таблицы для MUSTANG приведены на рис. 4.2 и в табл. 4.1 и 4.2.

Если в схеме имеются параллельные ветви, имеющие совпадающие номера начал и концов, то для них необходимо указывать параметр  $N_{п}$  – номер параллели.



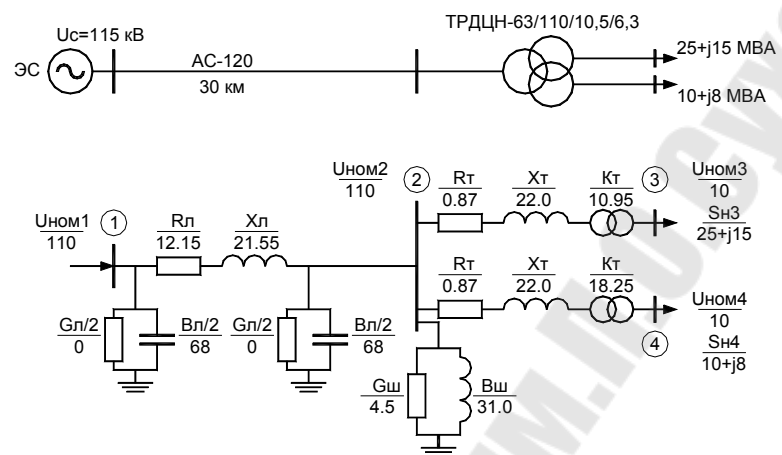


Рис. 4.2. Электрическая сеть и схема замещения

Таблица 4.1

### Параметры узлов для MUSTANG

Название	$N$	Код	$U_{исх}$	$U_{рас}$	$U_{нор}$	Угол	$P_{г}$	$Q_{г}$	$P_{н}$	$Q_{н}$	$G_{ш}$	$B_{ш}$	$Q_{гmin}$	$Q_{гmax}$	$N_{сxn}$
Узел 1	1	1100	115,00	—	110,00	—	—	—	—	—	—	—	-9999	9999	—
Узел 2	2	11	110,00	—	110,00	—	—	—	—	—	4,5	31,0	—	—	—
Узел 3	3	11	10,00	—	10,00	—	—	—	25,00	15,00	—	—	—	—	—
Узел 4	4	11	6,00	—	6,00	—	—	—	10,00	8,00	—	—	—	—	—

Таблица 4.2

### Параметры ветвей для MUSTANG

Название $I$	Название $J$	$i$	$j$	$N_{н}$	$R_{ij}$	$X_{ij}$	$G_{ij}$	$B_{ij}$	$K_{га}$	$K_{тр}$
Узел 1	Узел 2	1	2	—	12,15	21,55	—	136	—	—
Узел 2	Узел 3	2	3	—	0,87	22,00	—	—	10,95	—
Узел 2	Узел 4	2	4	—	0,87	22,00	—	—	18,25	—

**Коэффициенты СХН** – управление статическими характеристиками активной и реактивной нагрузки по напряжению в виде полиномов следующего вида:

$$P_{\text{H}}(U_*, f_*) = P_{\text{H0}} \cdot (a_0 + a_1 \cdot U_* + a_2 \cdot U_*^2 + a_3 \cdot f_*);$$
$$Q_{\text{H}}(U_*, f_*) = Q_{\text{H0}} \cdot (b_0 + b_1 \cdot U_* + b_2 \cdot U_*^2 + b_3 \cdot f_*),$$

где  $P_{\text{H0}}$  и  $Q_{\text{H0}}$  – активная и реактивная мощности нагрузки при  $U = U_{\text{ном}}$ ;  $a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты статических характеристик активной нагрузки;  $b_0, b_1, b_2$  – коэффициенты статических характеристик реактивной нагрузки.

Используя директиву, пользователь может создать несколько СХН, каждая из которых будет иметь номер  $N = 1, 2, 3, \dots, 30$  и соответствующие коэффициенты  $a_0$ – $a_3, b_0$ – $b_3$ .

**ВПТ** – ввод данных о вставках постоянного тока.

**Просмотр PRINT файла** – просмотр содержания файла GOLIST.LST, в котором размещаются исходные данные, результаты расчета и протокол работы программы MUSTANG.

**Вывод PRINT файла** – управление выводом на печать.

**Экспорт/импорт** – вывод/ввод информации УР сети переменного тока в унифицированном формате в/из файла GOISX.TXT;

**Контролируемые узлы** – управление списком узлов для контроля параметров режима при выполнении расчета.

**СХЕМА** – вызов программы АЛЬБОМ для графического оформления расчетной схемы замещения и результатов расчета.

Запуск расчета после окончания формирования исходных данных в оперативной памяти ПЭВМ как в случае стационарного режима, так и динамической устойчивости осуществляется одной и той же директивой **Расчет**.

**Расчет режима** – запуск расчета режима для текущей схемы электрической сети. Директива доступна из меню УР-данные и УР-рез либо нажатием клавиш Ctrl+F3. В процессе расчета итерационные значения контролируемых параметров режима отображаются в окне. По достижении заданной точности расчета процесс завершается с выдачей сообщения на экран. При невозможности выполнить расчет с заданной точностью за установленное в окне «Общая информация» количество итераций программа выдает сообщение «Режим не балансируется». В случае небалансировки режима рекомендуется:

- 1) проверить правильность ввода исходных данных (коэффициентов трансформации, сопротивлений ветвей, номинальных напряжений в узлах, величины нагрузок);
- 2) увеличить допустимое количество итераций;
- 3) уменьшить точность расчета и в случае балансировки режима постепенно ее увеличивать.

В случае некорректности исходных данных программа выдает сообщения о выявленных ошибках.

### 4.3. Анализ результатов расчета

Для просмотра и анализа результатов расчета установившегося режима сети переменного тока отдельно по узлам и связям используется меню **УР-рез**, из которого доступны следующие директивы.

**Узлы-ветви** – просмотр результатов расчета в таблицах параметров **узлов и ветвей** расчетной схемы замещения. Переключение таблиц параметров узлов-ветвей осуществляется клавишей TAB.

Параметры узлов оформляются в виде табл. 4.1 с заполненной колонкой расчетных значений модулей напряжений  $U_{\text{рас}}$  в узлах схемы замещения и соответствующих им углов (колонка «Угол  $U$ »), и в которой вместо шунтовых проводимостей  $G_{\text{ш}_i}$ ,  $B_{\text{ш}_i}$  выводятся значения шунтовых мощностей  $P_{\text{ш}_i}$  и  $Q_{\text{ш}_i}$ .

В таблице параметров ветвей выводятся параметры режима:

$P_{ij}$ ,  $Q_{ij}$  – активная и реактивная мощности в начале линии  $i-j$ , МВт и Мвар;

$P_{ji}$ ,  $Q_{ji}$  – активная и реактивная мощности в конце линии  $i-j$ , МВт и Мвар;

$Q_{\text{л}}$  – зарядная мощность линии, Мвар;

$I_{ij}$  – ток линии  $i-j$ , кА;

$U_i$ ,  $U_j$  – напряжения в узлах  $i$  и  $j$  (в начале и в конце линии), кВ;

$D_{p_{ij}}$ ,  $D_{q_{ij}}$  – потери активной и реактивной мощности в линии  $i-j$ , МВт и Мвар.

**Узлы** – просмотр результатов расчета по узлам в виде баланса мощностей для каждого узла сети.

**Контролируемые узлы-ветви** – просмотр результатов расчета в таблицах параметров узлов и ветвей, объявленных контролируемыми.

**ВПТ** – просмотр результатов расчета в таблицах параметров **вставок постоянного тока**.

**Просмотр Print файла** – просмотр файла с результатами расчетов GOLIST.LST. Для размещения результатов расчета в этом файле

необходимо при просмотре результирующих таблиц параметров узлов и ветвей нажать F8.

Общий алгоритм работы с MUSTANG для расчета установившегося режима следующий:

1. **Чтение режима** из файла с именем NAME.REG.
2. **Ввод** (если файл отсутствует) и **коррекция** схемы и режима по директиве УЗЛЫ-СВЯЗИ
3. **Вывод исходных данных УР** в файл результатов GOLIST.LST в директиве УЗЛЫ-СВЯЗИ модуля **УР-данные** с помощью клавиши F8.
4. **Расчет** нового (скорректированного) УР.
5. **Запись режима** и результатов расчета в файл с именем NAME.REG.
6. **Просмотр и вывод результатов расчета в файл** результатов GOLIST.LST в директиве УЗЛЫ-СВЯЗИ модуля <УР-рез> с помощью клавиши F8.

## **5. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПРОГРАММЕ ТКЗ-3000**

### **5.1. Общая характеристика и возможности программы**

Комплекс программ ТКЗ-3000 выполняет расчеты токов и напряжений при повреждениях в трехфазной симметричной сети любого напряжения, содержащей до 3000 узлов и 7500 связей.

Расчеты можно производить в полной сети *для фиксированных мест замеров* (до 100, в том числе в одном или двух поясах присоединений относительно заданных узлов) с изменением вида несимметрии (вариантные расчеты) и *по месту повреждения*, с указанием точек КЗ (включая один или два пояса присоединений), с одинаковым набором видов несимметрии.

Результаты расчетов выводятся на экран и могут помещаться в текстовый файл.

Запуск в работу комплекса программ ТКЗ-3000 осуществляется командным файлом **TKZ3000.BAT**. При успешном запуске на экране появится его окно с главным меню, позволяющим обратиться к различным модулям программы.

## 5.2. Подготовка и обслуживание сетевой информации

Программа *ввода и обслуживания сетевой информации* позволяет выполнять различные действия с исходной информацией, которые перечисляются в меню программы:

- просмотр исходных данных;
- ввод и коррекция исходных данных;
- контроль сети;
- распечатка данных;
- удаление сети;
- вызов программ обслуживания.

**Просмотр исходных данных** – в этом режиме можно просмотреть все виды сетевых данных, размещенных в таблицах. При этом возможны все манипуляции с данными, предусмотренные в подсистеме ввода, без сохранения изменений.

По умолчанию программа всегда загружает для работы исходные данные сети, с которой пользователь работал в последний раз. Имя сети отображается в окне программы. Для загрузки другой сети с диска или объявления новой используется клавиша F9.

**Ввод исходных данных** – в этом режиме можно вводить и корректировать все виды сетевых данных, размещенных в таблицах ввода и коррекции данных.

Исходной информацией для выполнения расчетов являются схемы замещения электрической сети *прямой, обратной и нулевой последовательностей*, параметры которых указываются в именованных единицах и без приведения к какой-либо ступени напряжения.

Параметры сети заносятся в таблицы, содержащие параметры ветвей схем прямой/обратной и нулевой последовательностей. При наличии в сети ветвей с магнитными связями заполняется таблица ветвей с взаимной индукцией.

Ввод схем замещения прямой и обратной последовательности совмещен в одной таблице, т. к. их топологии предполагаются совпадающими. Параметры обратной последовательности вводят лишь для тех элементов, у которых  $Z1 \neq Z2$ .

При задании схемы прямой последовательности нужно руководствоваться следующей таблицей:

Таблица 5.1

Тип	Пар	У1	У2	R1(2)	X1(2)	E/K/B(с)	F	N <sub>эл</sub>
0	?	+	+	+	+	–	–	?
1	?	+	+	–	–	–	–	–
3	?	+	+	+	+	K <sub>тр</sub>	–	?
4	?	+	+	+	+	ЭДС	+	–
5	?	+	+	+	+	проводимость	–	?

Здесь: «+» – обязательно задавать, «–» – нельзя задавать; «?» – можно задавать или не задавать.

Колонки таблицы содержат следующую информацию:

Тип – типы ветвей:

0 – простая ветвь;

1 – ветвь с нулевым сопротивлением;

3 – трансформаторная ветвь;

4 – генераторная ветвь;

5 – ветви с емкостной проводимостью;

Пар – номер ветви в параллели с другими ветвями;

У1, У2 – начальный и конечный узлы;

R1(2), X1(2) – продольные активное и реактивное сопротивления прямой (обратной) последовательностей, Ом;

E, F – модуль ЭДС и ее угол, кВ и град;

K<sub>тр</sub> – коэффициент трансформации  $K_{тр} = U(Y1)/U(Y2)$ ;

B – емкостная проводимость, мкСм;

N<sub>эл</sub> – номер элемента (линии, трансформатора), к которому относится ветвь. У ветвей, принадлежащих одному и тому же элементу, номер должен быть одинаков.

Для трансформаторных ветвей сопротивления R и X должны быть приведены к напряжению начального узла ветви У1.

В таблице нулевой последовательности могут быть указаны все ветви кроме генераторных типа <4>. При задании схемы нулевой последовательности нужно руководствоваться следующей таблицей:

Таблица 5.2

Тип	Пар	У1	У2	R0	X0	K/B (с)
0	?	+	+	+	+	–
1	?	+	+	–	–	–
3	?	+	+	+	+	K <sub>тр</sub>
5	?	+	+	+	+	проводимость

Вызов таблиц схем замещения осуществляется из окна «Ввод и коррекция сетевой информации» при выборе соответствующего пункта меню или нажатием функциональной клавиши. При работе с таблицами можно воспользоваться подсказкой, вызываемой нажатием F1.

На рис. 5.1 представлена схема электрической сети и схемы замещения прямой и нулевой последовательности.

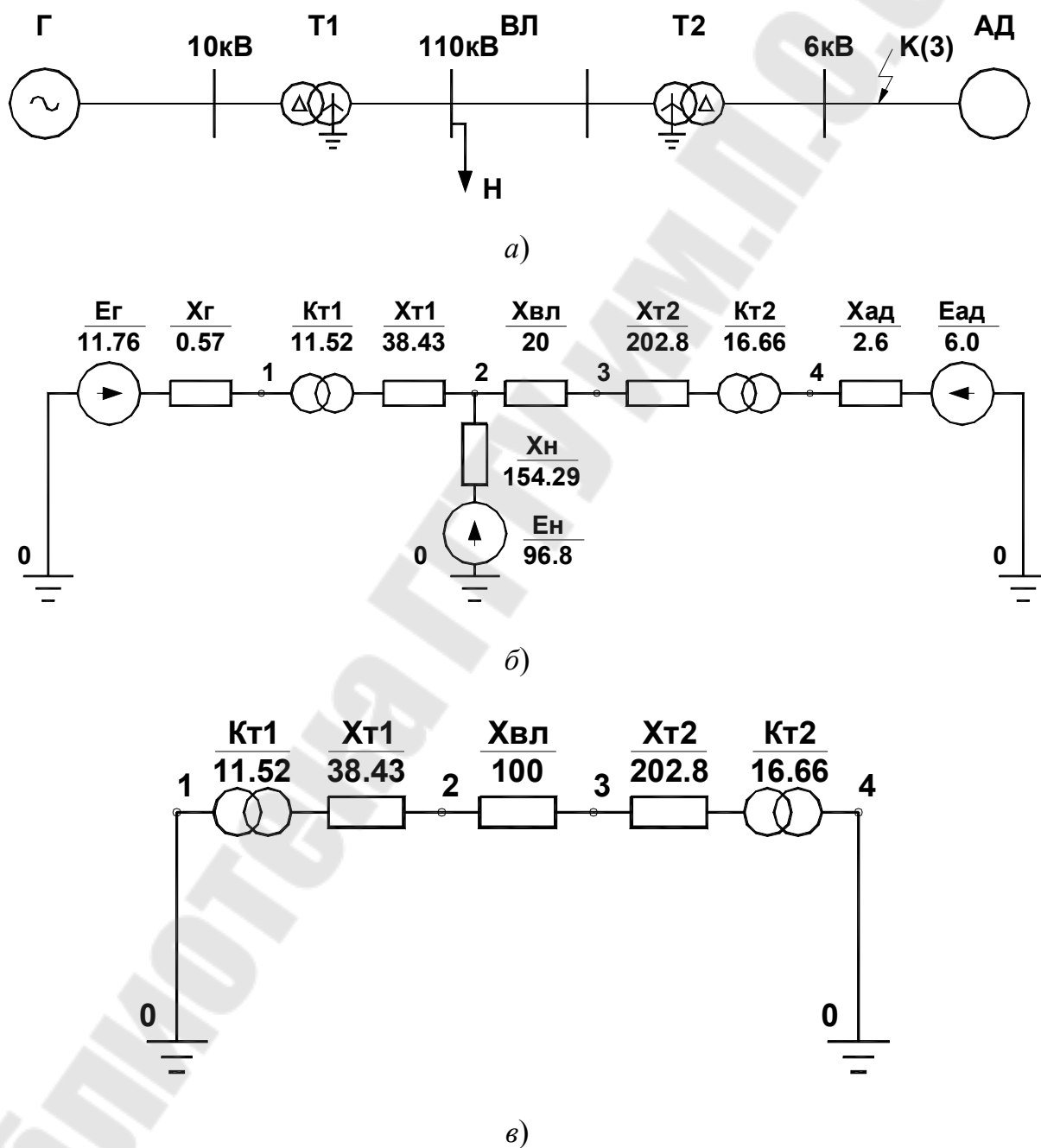


Рис. 5.1. Схемы электрической сети (а) и схемы замещения прямой (б) и нулевой (в) последовательностей

Предварительно узлы схем замещения должны быть пронумерованы, причем нулевой узел всегда соответствует нулевой точке. Для рис. 5.1 информация по сети представлена в табл. 5.3 и 5.4 в формате таблиц ввода данных ТКЗ-3000.

Параметры обратной последовательности задаются только для тех ветвей, которые имеют различные сопротивления в схемах прямой и обратной последовательностей. Ввод этих параметров производится в процессе заполнения таблицы прямой последовательности после нажатия клавиши F7 (переключатель «прямая–обратная–прямая»).

Таблица 5.3

### Схема прямой последовательности

Тип	Пар	Узел-1	Узел-2	R	X	E;K;B(c)	F	N <sub>эл</sub>
4	1	0	1	0,000	0,570	11,760	0,000	1
3	1	2	1	0,000	38,430	11,520	0,000	2
0	1	2	3	0,000	20,000	0,000	0,000	3
3	1	3	4	0,000	202,800	16,660	0,000	4
4	1	0	2	0,000	154,290	96,800	0,000	5
4	1	0	4	0,000	2,600	6,000	0,000	6

Таблица 5.4

### Схема нулевой последовательности

Тип	Пар	Узел-1	Узел-2	R	X	K; B(c)
1	1	0	1	0,000	0,000	0,000
3	1	1	2	0,000	38,430	0,087
0	1	2	3	0,000	100,000	0,000
3	1	3	4	0,000	202,780	16,660
1	1	0	4	0,000	0,000	0,000

После ввода данных в любой из таблиц и возврате в меню программа предлагает сохранить исходные данные по каждой схеме замещения в дисковых файлах:

**имя.f1p** – для прямой последовательности;

**имя.fob** – для обратной последовательности;

**имя.f0p** – для нулевой последовательности;

**имя.fws** – для ветвей с взаимоиндукцией.



**Контроль сети** – в этом режиме можно проверить корректность и полноту ввода информации. Программа тестирует исходные данные по нескольким показателям, которые указывает пользователь с помощью окна-меню:

*Проверка связности сети* – проверяется отдельно по прямой, обратной (если она есть) и нулевой последовательностям. При обнаружении разрыва в текстовый файл *имя\_сети.prs* и на экран выводятся все группы узлов, не связанных между собой.

*Проверка параметров сети* (полноты задания) – проверяется:

– наличие сопротивлений  $R$  и  $X$  для ветвей типа <0>, <3>, <4>, <5>; ЭДС для ветвей типа <4>; коэффициента трансформации  $K_{тр}$  для ветвей типа <3> и емкостной проводимости  $B$  для ветвей типа <5>;

– равенство коэффициентов трансформации для одной и той же ветви в схемах прямой и нулевой последовательности;

– однократность включения каждой ветви в схему соответствующей последовательности.

*Справка по сети* – формируются справочные данные по расчетной сети, которые выводятся на экран и в файл *имя\_сети.spr*.

*Расчет доаварийных напряжений* – выполняется для проверки правильности задания коэффициентов трансформации. Программа выводит на экран или в файл <имя\_сети>.ris ожидаемые напряжения в узлах расчетной сети, значения которых должны соответствовать номинальным значениям.

*Распечатка данных* – данный модуль позволяет выводить на печать или в дисковые файлы отдельные блоки данных по расчетной электрической сети. Пользователь должен указать с помощью меню, какой блок данных должен быть подготовлен для вывода на печать.

Распечатка возможна как по ветвям (в том порядке, в каком данные были введены), так и по узлам (отдельно по прямой и нулевой последовательностям или совместно). При цифровом обозначении указываются отдельные узлы или диапазоны узлов (15–200, 1–3000).

Программа записывает исходные данные в следующие файлы (текст ДЭС):

<имя\_сети>.ppw – для прямой последовательности;

<имя\_сети>.pow – для обратной последовательности;

<имя\_сети>.pnw – для нулевой последовательности.

### 5.3. Расчет электрических величин по месту повреждения

Этот вид расчетов позволяет проводить вычисления электрических величин в 1-м, 2-м поясе присоединений относительно места повреждения. Количество мест повреждений при расчетах не ограничено.

Задание расчетной сети, видов и мест (узлов) повреждений и управление расчетными параметрами осуществляется в диалоговом окне, содержащем меню и текущие настройки для расчета. Пункты меню активизируются с помощью клавиш управления курсором или соответствующими функциональными клавишами.

**Имя сети – F2** – загрузка с диска данных расчетной сети.

**Узлы КЗ – F3** – формирование массива узлов сети, для расчета параметров КЗ.

**Виды КЗ – F4** – указываются виды КЗ и замеряемые (расчетные) параметры, которые при этом виде КЗ необходимо определить.

Текущий список видов КЗ отображается в информационном поле. Для добавления или исключения из списка того или иного вида КЗ необходимо перевести курсор в списке видов КЗ и нажать ENTER.

При выборе вида КЗ в дополнительном окне «Задаваемые величины» отображаются установленные параметры замера. Для изменения набора замеряемых параметров необходимо:

– нажатием клавиши «Влево» вызвать на экран список «Величины», содержащий доступные для замера параметры и выбрать необходимый параметр;

– с помощью клавиши ENTER в списке «Величины» включить/отключить параметр.

**Расчет – F6** – запуск расчета параметров КЗ при текущих настройках.

**Пояса – F7** – указание количества поясов от места повреждения, в которых должны определяться параметры режима КЗ.

**Печать – F9** – установка формата файла вывода на печать результатов расчета.

Результаты расчетов выводятся на экран и в файл <имя\_сети>.fl в двух формах:

1) *в табличной форме*, если указан формат печати 2 или 3 (сеть без учета или с учетом активных сопротивлений). При этом должны быть указаны виды КЗ, а число поясов не более одного;

2) *без оформления таблицы*, если указан формат печати 1. При этом могут быть указаны любые виды КЗ и до двух поясов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян, Д. А. Автоматизация проектирования электрических систем / Д. А. Аветисян. – Москва : Высш. шк., 1998. – 331 с. : ил.
2. Полещук, Н. Н. Самоучитель AutoCAD 2004 / Н. Н. Полещук, В. А. Савельева. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 640 с.
3. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики : учеб. для вузов / под ред. В. А. Венникова. – Москва : Высш. шк., 1981.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Общие сведения о системах автоматизированного проектирования в электроэнергетике .....	7
1.1. Системы автоматизированного проектирования как средство ускорения и оптимизации решений при проектировании .....	7
1.2. Основные цели и задачи систем автоматизированного проектирования .....	9
1.3. Функциональная структура систем автоматизированного проектирования .....	12
1.4. Подсистемы систем автоматизированного проектирования .....	14
1.5. Виды обеспечения систем автоматизированного проектирования .....	15
2. Системы автоматизированного проектирования	
AutoCad – основные понятия и приемы работы .....	18
2.1. Организация работы в AutoCAD .....	18
2.1.1. Интерфейс AutoCAD .....	18
2.1.2. Ввод команд .....	21
2.1.3. Настройка рабочей среды и единиц измерения .....	23
2.1.4. Координаты – виды, способы указания и контроля .....	26
2.1.5. Управление выводом на печать .....	29
2.1.6. Управление изображением на экране .....	31
2.2. Построение объектов в AutoCAD .....	32
2.2.1. Построение линейных объектов .....	32
2.2.2. Построение криволинейных объектов .....	36
2.2.3. Построение опорных точек .....	41
2.2.4. Штрихование .....	41
2.2.5. Выполнение надписей .....	44
2.3. Слои, цвета и типы линий .....	49
2.3.1. Работа со слоями .....	49
2.3.2. Работа с типами линий .....	54
2.4. Методы редактирования .....	57
2.4.1. Выбор объектов .....	57
2.4.2. Редактирование свойств объектов .....	60
2.4.3. Редактирование чертежа .....	63

2.5. Блоки, атрибуты и внешние ссылки .....	73
2.5.1. Работа с блоками.....	74
2.5.2. Работа с атрибутами блоков .....	78
2.5.3. Внешние ссылки .....	85
3. Расчеты установившихся режимов электрических систем ....	86
3.1. Техническая и математическая постановка задачи расчета установившегося режима .....	86
3.2. Математическая модель электрической сети.....	87
3.2.1. Модели элементов энергосистемы.....	87
3.2.2. Топологическая модель схемы электрической сети .	89
3.2.3. Матричные уравнения установившегося режима электрической сети .....	92
3.3. Методы решения уравнений установившегося режима .	94
4. Расчет режимов электрических сетей в программе MUSTANG .....	101
4.1. Общая характеристика и возможности программы .....	101
4.2. Ввод исходных данных и выполнение расчетов .....	102
4.3. Анализ результатов расчета .....	107
5. Расчет токов короткого замыкания в программе ТКЗ-3000	108
5.1. Общая характеристика и возможности программы .....	108
5.2. Подготовка и обслуживание сетевой информации .....	109
5.3. Расчет электрических величин по месту повреждения.	114
Литература.....	115

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Сычев Александр Васильевич**

**ОСНОВЫ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Курс лекций  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальностей  
1-43 01 03 «Электроснабжение»  
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация  
энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

Редактор *Н. В. Гладкова*

Компьютерная верстка *Н. В. Широглазова*

Подписано в печать 31.01.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Ризография. Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 4,42.

Изд. № 10.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

учреждения образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

