

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Е. С. Якубовская**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего  
образования по специальности «Автоматизация технологических  
производственных процессов и производств (сельское хозяйство)»*

Минск  
БГАТУ  
2018

УДК 658.512(07)  
ББК 32.965я7  
Я49

Рецензенты:  
кафедра автоматизации производственных  
процессов и электротехники БГТУ  
(кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой *Д. С. Карпович*);  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры вычислительных методов  
и программирования БГУИР *В. В. Матвеевко*

**Якубовская, Е. С.**  
Я49 Проектирование систем автоматизации : учебное пособие /  
Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2018. – 360 с.  
ISBN 978-985-519-920-6.

Рассмотрены вопросы методики проектирования систем автоматизации сельскохозяйственного производства. Раскрыт состав проекта автоматизации технологического процесса, изложены требования к документации проекта, раскрыта методика разработки проектной документации, в том числе с помощью САПР, приведены примеры проектной документации.

Для студентов, магистрантов, аспирантов вузов и специалистов в области автоматизации и энергетического обеспечения сельскохозяйственного производства.

УДК 658.512(07)  
ББК 32.965я7

ISBN 978-985-519-920-6

© БГАТУ, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
1.1. Сущность и этапы проектирования систем автоматизации .....	13
1.2. Состав проектной документации по автоматизации технологических процессов .....	21
1.3. Технология инженерного проектирования .....	32
2. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В САПР	
2.1. Характеристика пакетов САПР, используемых при разработке проектной документации систем автоматизации .....	46
2.1.1. Классификация электротехнических САПР .....	46
2.1.2. Характеристика электротехнических САПР .....	48
2.1.3. Принцип сквозного проектирования в САПР .....	48
2.1.4. Возможности использования электротехнических САПР при разработке проекта автоматизации .....	56
2.1.5. Особенности автоматизированного проектирования систем автоматизации .....	58
2.2. Принципы, порядок и особенности автоматизированного проектирования систем автоматизации .....	60
2.2.1. Работа в режиме «электронного кульмана» в базовом пакете САПР .....	60
2.2.2. Работа с базой элементов: особенности создания и применения .....	77
2.3. Цели, способы и средства адаптации пакета САПР к области разработки документации систем автоматизации .....	92
2.3.1. Характеристика пакетных файлов .....	92
2.3.2. Организация пользовательского меню .....	93
2.3.3. Организация графического меню-библиотеки .....	96
2.3.4. Основные возможности программирования в графическом редакторе пакета САПР .....	97

### 3. ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1. Структурные схемы систем автоматизации.....	108
3.1.1. Структура систем управления. Определение. Виды представления структур. Примеры структур.....	108
3.1.2. Основные требования к оформлению структурных схем. Нормативная документация. Исходные данные для разработки. Содержание схем .....	111
3.2. Разработка схем автоматизации.....	113
3.2.1. Требования к оформлению схем автоматизации .....	113
3.2.2. Пример выполнения схем автоматизации .....	129
3.2.3. Особенности выполнения схем автоматизации в САПР .....	134
3.3. Проектирование устройств питания систем автоматизации....	136
3.3.1. Требования к системам питания систем автоматизации .....	136
3.3.2. Требования к оформлению принципиальных электрических схем питания средств автоматизации....	143
3.3.3. Пример выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сети .....	147
3.3.4. Принципы автоматизированного проектирования устройств питания систем автоматизации.....	150
3.4. Основы синтеза систем автоматизации методами математической логики.....	152
3.4.1. Понятие синтеза .....	152
3.4.2. Структура и состав САУ поточными технологическими линиями (ПТЛ) .....	153
3.4.3. Синтез САУ ПТЛ с помощью аппарата булевой алгебры.....	165
3.4.4. Принципы автоматизации синтеза структуры САУ ПТЛ с помощью современных графических пакетов.....	171
3.5. Выбор технических средств автоматизации (ТСА) .....	176
3.5.1. Регулирующие контуры.....	176
3.5.2. Выбор контрольно-измерительных приборов (КИП).....	183
3.5.3. Выбор датчиков.....	184
3.5.4. Выбор регулирующих устройств.....	186

3.5.5. Выбор регулирующих органов .....	214
3.5.6. Выбор исполнительных механизмов.....	221
3.6. Разработка принципиальных электрических схем контроля, регулирования и управления .....	223
3.6.1. Принципы разработки принципиальных электрических схем контроля, регулирования и управления.....	223
3.6.2. Принципы автоматизированного проектирования принципиальных электрических схем управления, контроля и сигнализации .....	238
3.7. Расчет и выбор электрических проводок. Разработка схем соединений и подключения в САПР .....	249
3.7.1. Расчет и выбор электрических проводок.....	249
3.7.2. Схемы соединений и подключения, методика разработки.....	256
3.7.3. Принципы автоматизированного проектирования монтажных документов.....	267
3.8. Проектирование щитов автоматики .....	281
3.8.1. Классификация щитов и пультов. Виды щитовой продукции.....	281
3.8.2. Принципы компоновки аппаратуры в щитах автоматики .....	283
3.8.3. Основные требования к документации на щиты автоматики .....	293
3.8.4. Принципы автоматизированного проектирования документации на щиты автоматики и пульты.....	303
3.9. Проектирование низковольтных комплектных устройств (НКУ).....	308
3.9.1. Конструкция НКУ .....	308
3.9.2. Принципы компоновки НКУ.....	308
3.9.3. Основные требования к документации на НКУ .....	311
3.9.4. Особенности разработки документации на НКУ в САПР .....	317
3.10. Чертежи расположения (планы, разрезы, фрагменты) оборудования и внешних проводок систем автоматизации ....	320
3.10.1. Содержание чертежей расположения.....	320

3.10.2. Требования к чертежу расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации .....	321
3.10.3. Особенности разработки чертежей расположения оборудования и внешних проводок в САПР .....	326
3.11. Надежность систем автоматизации .....	327
3.11.1. Понятия теории надежности .....	327
3.11.2. Показатели надежности .....	327
3.11.3. Методы обеспечения и пути повышения надежности .....	330
3.11.4. Расчет показателей надежности с учетом структуры системы автоматизации .....	332
3.12. Техничко-экономические расчеты при разработке проекта автоматизации .....	339
3.12.1. Последовательность технико-экономического обоснования .....	339
3.12.2. Требования к спецификациям .....	341
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	345
СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ .....	351
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	358

## Введение

Задачи, которые решаются при автоматизации процессов современного сельскохозяйственного производства, требуют от специалистов как знания принципов построения и функционирования приборов автоматизации, методов построения систем автоматического управления, так и овладения общим техническим языком, посредством которого можно четко и однозначно обмениваться разработками в области автоматизации технологических процессов. Логически и технически продуманная система автоматизации должна быть представлена на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматизации. Такое взаимопонимание обеспечивается посредством специально разрабатываемой технической документации, которая называется *проектом автоматизации технологического процесса*. Независимо от места работы, инженер по автоматизации технологических процессов должен свободно читать проекты и уметь их разрабатывать и осуществлять.

Рассматривая понятие проектирования, можно видеть, как постепенно исторически меняется представление о нем как о процессе планирования и информационной подготовке образа объекта проектирования до «предопределения изменения реальной действительности» [1, с. 132]. По своей сути инженерное проектирование предвдваряет и обосновывает внедрение в производство новационной технической системы, установки, процесса, оптимальных с точки зрения определенных критериев. Проектирование – это выражение идей технического творчества на техническом языке. Как показывают современные методологии, цель проектирования заключается в предопределении изменения реальной действительности. Эта цель достигается через «разработку комплексной технической документации (проекта), содержащей технико-экономические обоснования, расчеты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для строительства населенных пунктов, предприятий, сооружений, производства оборудования, изделий и т. д.» [2, с. 419]. Это, в свою очередь, предполагает детальную разработку сущности изменения реальности или объекта проектирования.

Так как объекта проектирования фактически не существует (он знаковый, виртуальный, идеальный), то нет возможности описать его сразу без последующих исправлений и уточнений. То есть при проектировании процесс принятия решений идет укрупненно, а затем все с большей степенью конкретизации, с обращением на каждом этапе к целям, с доработкой в соответствии с этим деталей проекта и решения в целом. За счет использования каких инструментов достигается это приближение, раскрывает определение, данное в ГОСТ 22487–77: «Это процесс составления описания, необходимого для создания еще не существующего объекта (алгоритма его функционирования или алгоритма процесса), путем преобразования первичного описания, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), устранения некорректности первичного описания и последовательного представления (при необходимости) описаний на различных языках». И дополняет это определение еще одно: «Это моделирование того, что мы хотим выполнить, осуществляемое (до момента самого выполнения) неоднократно до тех пор, пока мы не убедимся в положительности конечного результата» (П. Букер) [1, с. 133]. Таким образом, проектирование выступает как процесс принятия решений, все более детальных на каждом этапе и все более приближающих описание объекта, изложенного в техническом задании, к реальному с помощью преобразования, оптимизации, моделирования.

Поэтому проектирование – это постоянный процесс выбора и обоснования альтернативного решения. Еще одну черту инженерного проектирования раскрывает следующее определение: «Инженерное проектирование – это использование научных основ, технической информации и воображения для синтеза механической структуры, машины или системы, которая с минимальными затратами и максимальной эффективностью выполняла бы предписанные ей функции» (Д. Фельден) [1, с. 133]. Научное обоснование проекта обязательно должно предполагать рассмотрение вопросов безопасного для окружающей среды внедрения объекта, что налагает огромную ответственность на разработчика: «Это принятие решений в условиях неуверенности и высокой ответственности за ошибку» (М. Азимов) [1, с. 133].

Таким образом, определение проектирования можно конкретизировать следующим образом: *инженерное проектирование* –

это процесс научной разработки на определенном знаковом (техническом) языке описания прообраза объекта, необходимого для создания еще не существующего предмета проектирования и отвечающего функциональным, техническим, экологическим, экономическим, эргономическим и другим требованиям. Проектирование осуществляется путем преобразования первичного описания предмета, тщательного и всестороннего исследования, выработки концептуального решения на основе технической информации, неоднократного моделирования, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), неоднократного сравнения с целями проектирования, устранения некорректности первичного описания и приведения к детальному решению в условиях высокой ответственности, нередко ограниченности во времени при минимальных затратах (со стороны производителя и потребителя) и максимальной эффективности выполнения предписанных функций в конкретных условиях включенности в окружающую среду.

Инженерное проектирование, являясь сложным процессом, постоянно развивается в соответствии с необходимостью решения все усложняющихся современных задач. Обладая характеристиками возрастающей информационной насыщенности, многовариативностью принятых решений, использованных методов и критериев оценки результата, инженерное проектирование сегодня обеспечивается сложной технологией, основу которой составляют отдельные этапы, операции и методы. Так, в процессе проектирования систем автоматизации обязательными этапами являются предпроектные изыскания, составление технического задания с одновременным определением комплекса требований к проектируемой системе, анализ вариантов технического решения проектной задачи и выбор наиболее рационального, детальная проработка технического решения, оформление решения в проектной документации, технико-экономическое обоснование принятого решения.

Инженерное проектирование подразделяется по области приложения на архитектурно-строительное, машиностроительное, дорожное, технологическое, сельскохозяйственное и т. д.; по типу изображения – на чертежное и объемное; по включению в производство – на типовое и индивидуальное, несложное и сложное; по характеру объекта – на проектирование единичного простого

изделия, проектирование системы и проектирование системы, встроенной в систему. В соответствии с данной классификацией разделяют системы нормативов по проектированию: единая система конструкторской документации (ЕСКД) – машиностроительное проектирование; система проектной документации в строительстве (СПДС) – архитектурно-строительное проектирование; система разработки и постановки продукции на производство (СРПП) – технологическое проектирование; комплекс стандартов на электроустановки зданий и т. д.

ЕСКД – комплекс стандартов, устанавливающих взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании, изготовлении, эксплуатации, ремонте и др.) [3].

СПДС – комплекс нормативных организационно-методических документов, устанавливающих общетехнические требования, необходимые для разработки, учета, хранения и применения проектной документации для строительства объектов различного назначения [4].

СРПП – комплекс взаимосвязанных основополагающих организационно-методических и общетехнических государственных стандартов, устанавливающих основные положения, правила и требования, обеспечивающие техническое и организационное единство выполняемых работ на стадиях жизненного цикла продукции, включающих исследование и обоснование разработки, разработку, производство, эксплуатацию (применение, хранение) продукции и ремонт (для ремонтируемой продукции), а также взаимодействие заинтересованных сторон [5].

Комплекс стандартов на электроустановки зданий [6] содержит требования по проектированию, монтажу, наладке и испытанию электроустановок, а также к выбору электрооборудования, обеспечивающие их безопасность и удовлетворительную работу при условии использования по назначению.

Проектирование систем автоматизации основывается на системе стандартов СПДС. Однако при необходимости используются ссылки на другие системы стандартов (в основном ЕСКД).

Особенности проектирования систем автоматизации определяются потребностями сельскохозяйственного производства. Технологические

процессы сельскохозяйственного производства тесно связаны с биологическими процессами, остановить которые даже временно нельзя. Это приводит к необходимости системного многоаспектного анализа исходных данных, учета требований, связанных с разными сторонами сельскохозяйственной технологии, и, как следствие, тесного общения и взаимодействия с другими специалистами агропромышленного комплекса (АПК). В данных условиях успешность проектирования зависит от умения находить варианты оригинального технического решения, применять нестандартные эвристические подходы при поиске решения, неоднократно оценивать результат, выявляя последствия от реализации принятого решения. Все это обуславливает необходимость постоянного соотнесения технического решения с системой взаимосвязанных требований, всесторонней оценки, корректировки решения и рефлексии.

Задача проектирования является одной из важных и наиболее трудоемких. Сократить временные затраты и несколько облегчить труд проектировщика позволяет применение современных методов разработки проекта с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР – человеко-машинная система управления процессом проектирования, представляющая собой автоматизированную систему управления технологическим процессом создания технической документации, необходимой для изготовления проектируемого объекта). САПР включает коллектив проектировщиков, умеющий работать с новыми методами проектирования с помощью ЭВМ; технические средства; новую организационную структуру, приспособленную к эффективной эксплуатации технических средств и программного обеспечения САПР; машинно-ориентированные методики, инструкции и нормативные материалы, развитое программное обеспечение и специальное математическое обеспечение, а также специальные проблемно-ориентированные языки. Поэтому САПР можно определить как систему технических и программных средств с методическим сопровождением, автоматизирующую проектирование объектов (процессов) некоторого класса.

Современные САПР обеспечивают высокое качество проекта, минимальные затраты на выпуск проекта, соответствие документов проекта нормативным требованиям.

Поэтому инженер по автоматизации технологических процессов и производств должен освоить технологию разработки проекта

автоматизации, в том числе в среде современных САПР. Уровень овладения технологией инженерного проектирования определяет успешность становления инженера как специалиста, способного воспринимать технические новшества, разрабатывать и внедрять инновации, поскольку проектирование предваряет и обосновывает внедрение в производство технической системы, установки, процесса, оптимальных с точки зрения системы определенных критериев.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что понимают под проектом автоматизации технологических процессов?
2. Перечислите характеристики современного инженерного проектирования.
3. Как классифицируют системы нормативов по проектированию?
4. Что понимают под САПР?
5. Какие задачи должен решать инженер по автоматизации в профессиональной деятельности? Какие знания и умения ему для этого необходимы?

# 1. ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1. Сущность и этапы проектирования систем автоматизации

В условиях необходимости повышения производительности сельскохозяйственного производства, снижения его энергоемкости, повышения конкурентоспособности продукции значимая роль отводится автоматизации технологических процессов. Внедрение надежных систем автоматизации, освобождающих человека от выполнения малопривлекательных операций, обеспечивающих оптимальные режимы содержания животных, птицы, растений, сокращающих расходы корма, удобрений и т. д., возможно при условии качественного проектирования системы автоматизации. Таким образом, *целью проектирования* систем автоматизации является всестороннее обоснование оптимального варианта автоматического управления и представление на языке технической документации однозначно понимаемого обоснованного описания экономически эффективного варианта будущей системы автоматизации.

Достичь данной цели можно, решив следующие задачи:

1. Исследовать объект автоматизации на предмет целесообразности автоматизации технологического процесса или отдельных операций или установок.

2. Определить оптимальный объем технических средств автоматизации (ТСА) для объекта.

3. Разработать экономически наиболее целесообразный вариант управления с учетом новейших разработок в области ТСА и устройств управления.

4. Реализовать этот вариант управления в схеме.

5. Выполнить технико-экономическое обоснование принятых решений.

Инженерное проектирование – это процесс научной разработки на определенном знаковом языке описания прообраза объекта, необходимого для создания еще не существующего предмета проектирования и отвечающего совокупности требований, путем прохождения множества этапов проектирования и приведения к детальному решению. При проектировании систем автоматизации предметом проектирования выступает система автоматического управления (САУ) установкой или процессом в целом, которая представляет собой сово-

купность объекта управления (биологических объектов или технических устройств либо их совокупности) и технического устройства, обеспечивающего приемлемый алгоритм функционирования объекта автоматизации. Система, реализующая оптимальный вариант автоматического управления, должна обладать свойством функциональности, то есть в целом обеспечивать оптимальное протекание процесса или действие установки в автоматическом режиме, и экономической целесообразности, то есть обеспечивать увеличение производства продукции или улучшение ее качества, снижение трудовых затрат и потерь продукции, а также в целом повышение эффективности производства, надежности. Так как в общем случае САУ в сельскохозяйственном производстве имеет дело с живыми объектами, она должна отвечать условиям окружающей среды (защита от воздействия неблагоприятных для техники условий), быть простой в эксплуатации, долговечной и дешевой, не представлять собой опасности с точки зрения экологии и безопасности эксплуатации.

Таким образом, проектирование систем автоматизации представляет собой процесс научной разработки описания, представленного в проектной документации, системы автоматического управления, отвечающей требованиям функциональности, экономической целесообразности, надежности, безопасности и пр., всесторонне обоснованной совокупностью технико-экономических показателей.

Как следует из определения инженерного проектирования, проектирование технически сложных процессов отвечает последовательности прохождения определенных этапов. В целом для проектирования технических объектов она представлена схемой на рис. 1.1.

На первом этапе – *постановочном* – выявляется определенная техническая проблема, задающая цель проектирования. В частном случае проектирования систем автоматизации целью данного этапа является выявление потребности в автоматизации. Целью второго этапа – *аналитического* – является сбор и анализ исходных данных для проектирования. На основании поставленной цели и собранных исходных данных намечаются возможные варианты решения технической задачи и проводится их сравнительный анализ с целью выбора наиболее целесообразных – этап *предпроектирования*. Далее детально прорабатывается выбранный вариант технического решения – этап *собственно проектирования* – и описывается в проектной документации – этап *оформления* проекта.

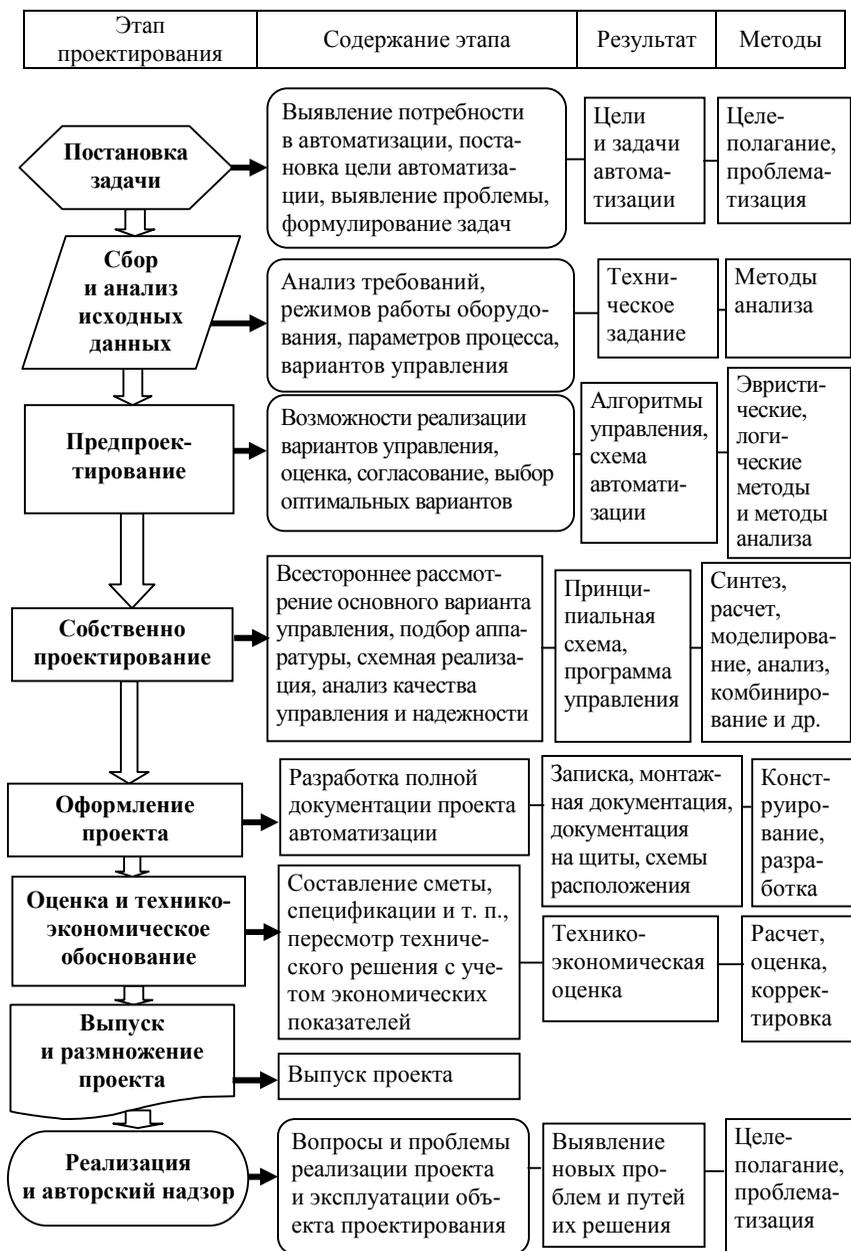


Рис. 1.1. Обобщенная схема проектирования систем автоматизации

Оценка технических показателей предмета проектирования и разработка документации для реализации проекта выполняется на этапе *технико-экономического обоснования проекта*. Далее проект проходит проверку в целом и после нормоконтроля запускается на реализацию – этап *выпуска и размножения проекта*. В результате реализации проекта могут быть выявлены некоторые некорректности в решении, что требует их согласования с проектной организацией, которая ведет авторский надзор за реализацией проекта – этап *реализации и авторского надзора*.

*Содержание этапов проектирования систем автоматизации.* Качество проекта автоматизации во многом определяется системностью реализации технологии инженерного проектирования, под которой понимают научно обоснованную совокупность методов, действий и операций, применяемых на определенном этапе разработки проекта, гарантирующую достижение значимого результата. В теории инженерного проектирования выделяют восемь этапов проектирования, рассмотренных выше. (Содержание каждого из этапов применительно к теории проектирования технических систем можно рекомендовать изучить самостоятельно по изданиям [7] и [8].) Следует остановиться более подробно на содержании каждого из этапов в случае проектирования систем автоматизации.

На этапе постановки задачи проектирования выявляют потребность в автоматизации. Основанием для нее может быть заказ предприятия, хозяйства или реальная производственная проблема. В случае внедрения новой технологии также возникает потребность в эффективной системе автоматизации технологического процесса. Результатом данного этапа является определение целей и задач системы автоматизации.

На этапе анализа исходных данных требуется досконально исследовать объект автоматизации. При этом после внимательного рассмотрения технологического процесса решаются следующие вопросы:

- выявление технологических, зоотехнических и других требований к осуществлению процесса;
- определение режимов работы объекта автоматизации и количества технологически допустимых переходов между ними;
- установление технологических параметров, подлежащих автоматическому регулированию и контролю, уточнение пределов их изменения и выбор методов измерения этих параметров с целью подбора технических средств;

- определение математического описания взаимодействия управляющих и возмущающих сигналов, характеризующих тот или иной режим работы системы;

- определение оптимального объема автоматизации (получение информации о технологическом процессе, воздействие на технологический процесс для управления им, стабилизация технологических параметров), контроль и регистрация технологических параметров и состояния технологического оборудования;

- определение, каким образом должно происходить управление технологическим оборудованием: автоматически или дистанционно;

- выбор ТСА, наиболее полно отвечающих предъявленным требованиям и условиям работы;

- решение вопросов размещения приборов и аппаратов: на щитах, непосредственно агрегатах и т. д.

После решения данных вопросов совместно с технологами, зоотехниками, механизаторами и другими специалистами дается словесное описание алгоритма функционирования технологической линии или вариантов алгоритма с учетом существующего опыта разработки подобных объектов и научно-технических достижений в данной области, формулируется техническое задание на проектирование.

Для выполнения проектов систем автоматизации должны представляться следующие исходные данные и материалы:

- технологические схемы с характеристиками оборудования, с трубопроводными коммуникациями и их характеристиками;

- перечни контролируемых и регулируемых параметров с необходимыми требованиями и характеристиками;

- чертежи помещений с расположением технологического оборудования и трубопроводных коммуникаций, с указанием рекомендуемых мест расположения щитов и пультов;

- чертежи технологического оборудования;

- схемы электроснабжения, водоснабжения, управления электроприводами, типы пусковой аппаратуры и станций управления;

- данные, необходимые для расчета регулирующих органов;

- требования к надежности систем автоматизации;

- результаты НИР и ОКР (математическое описание динамических свойств объектов и др.);

- техническая документация по типовым проектам и проектным решениям.

Содержание этапа предпроектных изысканий:

- анализ объекта автоматизации;
- уточнение целей и задач автоматизации;
- определение вида автоматического устройства управления;
- анализ возможных применимых типовых решений;
- проектное предложение;
- формулирование требований к автоматическому устройству управления.

В результате на данном этапе уточняют задание на проектирование, где определяют последовательность работы исполнительных органов технологической линии, обеспечивающих эффективность функций управления, основными из которых являются безопасность работы объекта и правильное выполнение технологического процесса. Здесь же определяют качественные показатели работы оборудования технологической линии, которые корректируются на последующих этапах.

После выбора наиболее эффективного варианта управления для заданных условий приступают к подробной проработке технического решения – этап собственно проектирования. Содержание деятельности на данном этапе проектирования системы автоматизации задает тип автоматического устройства управления (рис. 1.2).

Если автоматическое устройство управления представляет собой систему автоматического управления, то для этого случая должен быть разработан алгоритм в виде символической записи или математической модели (моделей). Реализовать определенный алгоритм можно набором определенной аппаратуры. Поэтому на этапе разработки алгоритма проводят предварительный выбор ТСА и уточняют алгоритм. Далее разрабатывают структуру управления и реализуют ее на базе современных ТСА. В случае неудовлетворения всем требованиям модифицируют существующие ТСА, или составляют техническое задание на разработку новых, или возвращаются к пересмотру алгоритма. Структуру управления переводят в полную принципиальную электрическую схему, выбрав устройство управления и дополнив цепями ручного управления, сигнализации, контроля и защиты. Подробная методика для этого случая изложена в учебном пособии [9].

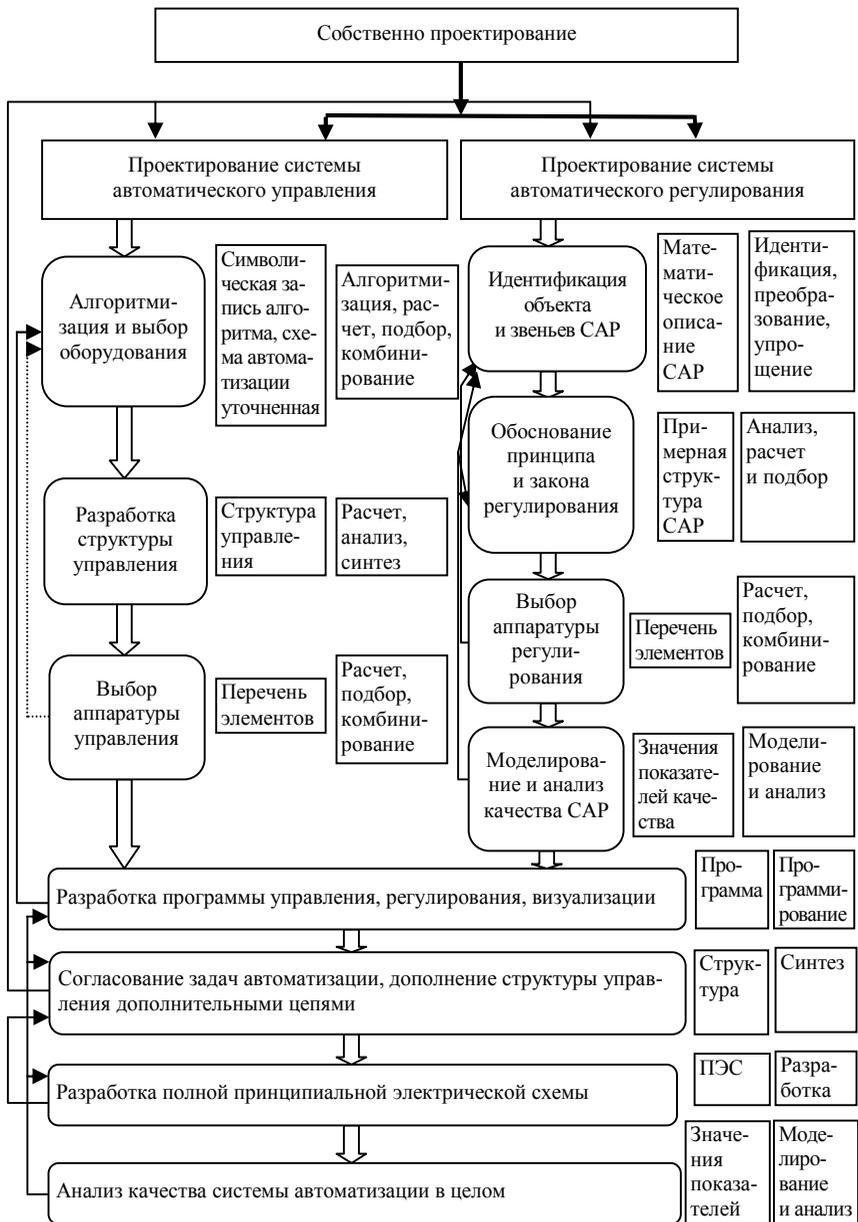


Рис. 1.2. Содержание основного этапа проектирования систем автоматизации

Если автоматическое устройство управления представляет собой систему автоматического регулирования (САР), то для этого случая должно быть получено математическое описание объекта управления (как исходные данные или как идентификация объекта, включенная в техническое задание) для обоснования принципа и выбора закона управления. После подбора ТСА, реализующих закон регулирования, может быть разработана структурная схема регулирования, проведено моделирование поведения системы в целом и получены показатели качества регулирования. Подробная методика для этого случая изложена в учебном пособии [10].

При наличии в проектируемой системе двух видов автоматического устройства управления на этом же этапе проводится согласование управления в целом, которое выражается в полной принципиальной схеме автоматического управления, регулирования, контроля и сигнализации и предусматривает единое программное обеспечение. При этом определяют показатели качества автоматического управления в целом для системы.

На этапе оформления проекта разрабатывают монтажные документы, нетиповые ТСА, к которым могут быть отнесены нетиповые конструкции щитов автоматики, и оформляют в проектно-конструкторской документации.

На этапе технико-экономического обоснования решают вопросы обеспечения надежности работы системы автоматизации, ее безопасного монтажа и эксплуатации, а также проводят расчет экономической эффективности автоматизации.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что понимают под инженерным проектированием?
2. Назовите цели и задачи проектирования систем автоматизации.
3. Перечислите критерии эффективности проектируемой системы автоматического управления.
4. В чем состоит сущность проектирования систем автоматизации?
5. Перечислите основные этапы проектирования. Какие действия совершаются на каждом из этапов процесса проектирования?
6. Каково содержание этапов проектирования в частном случае проектирования систем автоматизации?
7. Перечислите вопросы, решаемые на этапе анализа исходных данных к проектированию систем автоматизации.

8. Каков состав исходных данных и материалов для проектирования систем автоматизации?

9. Каков алгоритм проектирования САУ?

10. Каков алгоритм проектирования САР?

11. Проанализируйте схему (рис. 1.2). В чем состоят различия технологий проектирования САУ и САР и что в них общего?

## **1.2. Состав проектной документации по автоматизации технологических процессов**

При разработке проектной документации объектов промышленного строительства (в которую в качестве раздела проекта входит проект автоматизации) руководствуются ГОСТ, ОСТ, санитарными нормами (СН), СНиП, СНБ и СТБ. При проектировании промышленных объектов используют также типовые проекты, монтажные чертежи, ПУЭ, документацию на типовые и закладные конструкции, руководящие материалы, которые разъясняют нормативные документы. Нормативные документы обеспечивают общность разработки (изделий, проектов) и упрощение поиска информации.

Вопросы проектирования систем автоматизации регламентируются в основном требованиями ГОСТ 21.408–2013 [11], в котором имеются ссылки на взаимосвязанные стандарты системы проектной документации для строительства (СПДС) и единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Основные ГОСТ, используемые при проектировании систем автоматизации, перечислены в списке литературы.

При разработке проекта автоматизации в основном приходится иметь дело с электрическими схемами. Согласно ГОСТ 2.701–2008 [12] схемы в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, подразделяются на следующие виды: электрические (Э); гидравлические (Г); пневматические (П); газовые (Х); кинематические (К); вакуумные (В); оптические (Л); энергетические (Р); деления (Е); комбинированные (С). В скобках приведено их обозначение в шифре документа.

По типу схемы проекта автоматизации представлены широко и соответствуют всем тем, которые определены ГОСТ 2.701–2008. Схемы в зависимости от основного назначения подразделяются на следующие типы: структурные (1); функциональные (2); принци-

пиальные (3); соединений (4); подключения (5); общие (6); расположения (7); объединенные (0).

Структурная схема – это схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи (для общего ознакомления с изделием).

Функциональная схема – это схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или изделия в целом.

Принципиальная схема – это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия (служит основанием для разработки других схем).

Схема соединений – это схема, показывающая соединения составных частей изделия и определяющая провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода.

Схема подключения – это схема, показывающая внешние подключения.

Общая схема – это схема, определяющая составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации.

Схема расположения – это схема, определяющая относительное расположение составных частей изделия.

Объединенная схема – это схемы двух или нескольких типов, выполненные в одном конструкторском документе.

Разработка проектной документации на строительство объектов должна выполняться разработчиками, получившими в установленном порядке лицензию на право проектирования данного вида объектов в соответствии с законодательством.

Главные предприятия-проектировщики объектов сельскохозяйственного производства в Беларуси – БЕЛГИПРОАГРОПИЩЕПРОМ и БЕЛСЕЛЬХОЗТЕХПРОЕКТ.

В структуру проектного предприятия (на примере БЕЛГИПРОАГРОПИЩЕПРОМ) входят проектные отделы, отдел генплана и транспорта, технологический, отдел специальных работ (проектирование котельных), счетно-экономический отдел, отдел инженерных изысканий, сектор комплектации оборудования, сектор технического обслуживания, информационно-технический сектор, отдел размножения и выпуска проектов, планово-производственный отдел, бюро главных инженеров проекта.

Порядок разработки проектной документации в рамках структуры предприятия примерно следующий. Заказчик посылает запрос в планово-производственный отдел. По запросу этот отдел совместно со специалистом проектных работ подготавливает объем работ. На этом этапе должен быть составлен договор, который является основанием для проектирования. На этом же этапе главный инженер проекта и главный специалист проектного отдела разрабатывают задание на проектирование и осуществляют контроль входных данных. Далее задание поступает в проектный отдел, где разделы проекта разрабатываются секторами: строителей и архитекторов, технологов, отопления и вентиляции, водопровода и канализации, электриков и КИП. Главный специалист осуществляет нормоконтроль проектных работ по каждому разделу проекта. В счетно-экономическом отделе готовят проектно-сметную документацию, затем проект утверждается в целом главным инженером. Далее проект поступает в отдел размножения документации.

Основным документом, определяющим общие требования к проектам, является ТКП 45-1.02-295–2014 (02250) [13]. Согласно этому документу объекты обычно проектируют в две стадии: архитектурный проект и строительный проект. Стадийность проектирования зависит от сложности проектируемого объекта. Для технически несложных объектов или при использовании типовых решений проектирование может включать одну стадию – строительный проект.

*Архитектурный проект* – проектная документация, обеспечивающая представление о материальном образе объекта, окружающей среде, его размерах, физических параметрах и художественно-эстетических качествах. Все основные технические и экономические вопросы на этой стадии решаются укрупненно, без особой детализации, с общими принципиальными выводами о возможности и целесообразности реализации проекта. В состав проектных материалов этой стадии входят: пояснительная записка, структурные схемы управления и контроля, схемы автоматизации, ведомости приборов и средств автоматизации и электроаппаратуры, сметы на приобретение и монтаж ТСА, планы расположения щитов и пультов.

На основании утвержденного архитектурного проекта разрабатывают *строительный проект* – проектную документацию, обеспечивающую непосредственную реализацию инвестиций в строительство объектов. На стадии строительного проекта, реализуемого

для несложных объектов, проектные материалы объединяют цели и задачи, ставящиеся на стадиях архитектурного и строительного проектов.

Состав строительного проекта соответствует составу рабочей документации на строительство объекта и уточняется заказчиком и проектировщиком.

Состав проекта определяется стадийностью проектирования. Состав и содержание разделов архитектурного проекта в соответствии с ТКП [13] следующие:

1. Общая пояснительная записка (основание для разработки проекта; исходные данные для проектирования; данные о проектной мощности, характеристиках продукции; основные проектные решения и показатели; мероприятия по охране труда; техника безопасности; технико-экономические показатели).

2. Генплан и транспорт (планы расположения, в том числе при участии инженера по автоматизации).

3. Технологические решения, в которых приводятся краткая характеристика и обоснование принятых решений по технологии (схемы технологических процессов).

4. Организация и условия труда, управление производством.

5. Архитектурно-строительные решения.

6. Инженерное оборудование, сети и системы: электрооборудование, освещение, связь, сигнализация, противопожарные устройства и молниезащита и т. д. (инженер по автоматизации в данном разделе разрабатывает структурные схемы управления и контроля, комплекса технических средств и пр.).

7. Организация строительства.

8. Охрана окружающей среды.

9. Инженерно-технические мероприятия.

10. Сметная документация.

11. Эффективность инвестиций.

12. Заявочные ведомости на приобретение оборудования.

Состав рабочей документации систем автоматизации устанавливает ГОСТ 21.408–2013 [11]:

- рабочие чертежи, предназначенные для производства работ по монтажу ТСА. Комплект рабочих чертежей в общем случае включает:
  - общие данные по чертежам (СТБ 2255–2012 [14]) и дополнительно к ним таблицу исходных данных и расчетов сужающих

устройств, регулирующих органов, перечень закладных конструкций, первичных приборов и ТСА;

- схемы автоматизации;
- схемы принципиальные;
- схемы (таблицы) соединений и подключения внешних проводок;
- чертежи расположения оборудования и внешних проводок;
- чертежи установок средств автоматизации;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых средств автоматизации;
- спецификация оборудования, изделий и материалов.

Основные требования к оформлению рабочей документации устанавливают СТБ 2255–2012 [14] и ГОСТ 2.105–95 [15]. При оформлении учебных проектов необходимо руководствоваться учебно-методическим пособием [16], устанавливающим единые требования к учебным проектам, которые выполняют студенты агроэнергетического факультета.

Согласно требованиям СТБ 2255–2012 [14] рабочие чертежи, предназначенные для производства строительных и монтажных работ, объединяют в комплекты по маркам. Каждому основному комплекту рабочих чертежей присваивают обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис указывают марку основного комплекта.

Марка основного комплекта рабочих чертежей по автоматизации состоит из буквы А и марки того основного комплекта чертежей, для которого разрабатывается система автоматизации:

- АТХ – системы автоматизации технологических процессов (контроль и регулирование технологических параметров, системы автоматического управления технологическим процессом, диспетчеризация технологического процесса, автоматического узла, установки);
- АПУ – автоматизация систем пылеудаления;
- АОВ – автоматизация систем отопления и вентиляции;
- АВК – автоматизация систем водоснабжения и канализации;
- АНВ – автоматизация наружных систем водоснабжения (насосные станции, системы оборотного водоснабжения);
- АНВК – автоматизация наружных систем водоснабжения и канализации;
- АГСВ – автоматизация газораспределительных устройств;
- АГСН – автоматизация газораспределительных пунктов;

- АТС – автоматизация устройств теплоснабжения (тепловых пунктов);
- АТМ – автоматизация тепломеханических решений котельных;
- АПТ – автоматизация систем пожаротушения, пылеудаления;
- АХС – автоматизация холодильной установки;
- АВС – автоматизация компрессорной станции (установки воздухооборудования).

Чертежи выполняют в оптимальных масштабах с учетом их сложности и насыщенности информацией. Масштабы на чертежах не указывают (за исключением чертежей изделий и других случаев, предусмотренных в соответствующих стандартах СПДС).

Каждый лист графического и текстового документа должен иметь основную надпись и дополнительные графы к ней. Расположение основной надписи, дополнительных граф, а также размеры рамок должны соответствовать указанным в прилож. Д СТБ 2255–2012 (рис. 1.3).

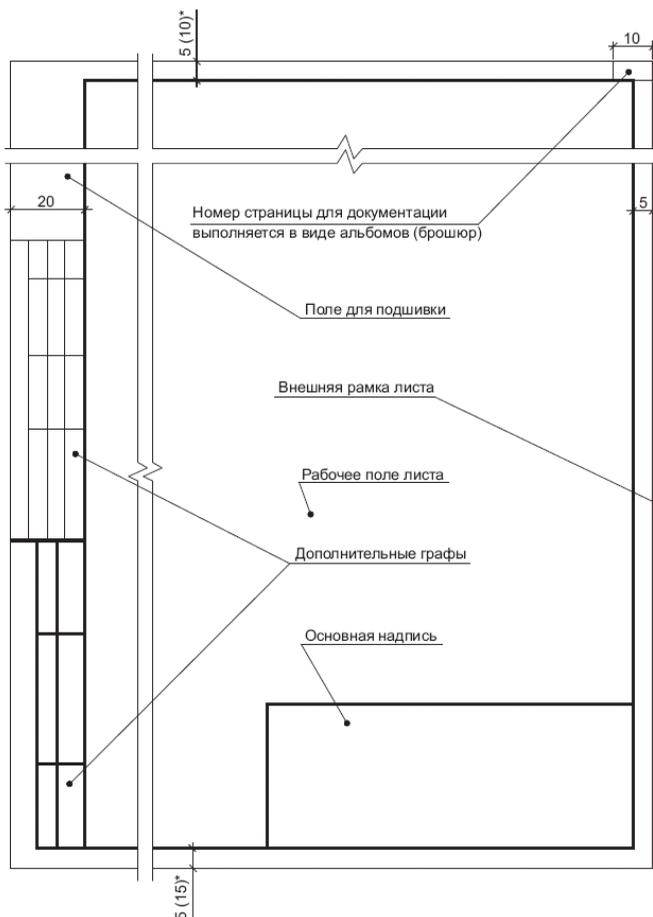
Основную надпись оформляют:

- на листах основных комплектов чертежей, чертежей разделов документации строительного проекта – по форме Е.1 СТБ 2255–2012 (рис. 1.4);
- на первом листе чертежей строительных изделий – по форме Е.2 СТБ 2255–2012 (рис. 1.5);
- на первых листах текстовых документов и эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий – по форме Е.3 СТБ 2255–2012 (рис. 1.6);
- на последующих листах чертежей строительных изделий, текстовых документов и эскизных чертежей общих видов – по форме Е.4 СТБ 2255–2012 (рис. 1.7).

В графах основной надписи и дополнительных графах к ней указывают:

- в графе 1 – обозначение документа;
- в графе 2 – наименование предприятия, в состав которого входит здание, или наименование микрорайона (согласно учебно-методическому пособию [16] «Тема проекта»);
- в графе 3 – наименование здания (сооружения);
- в графе 4 – наименование изображений, помещенных на данном листе;
- в графе 5 – наименование изделия и/или наименование документа;

- в графе 6 – условное обозначение стадии «строительный проект» – «С»;
- в графе 7 – порядковый номер листа. На документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют;
- в графе 8 – общее число листов документа;
- в графе 9 – наименование или различительный индекс организации, разработавшей документ;



*Рис. 1.3.* Расположение основной надписи, дополнительных граф к ней и размерных рамок на листах (в скобках указаны размеры рамок на листах типовой проектной документации)

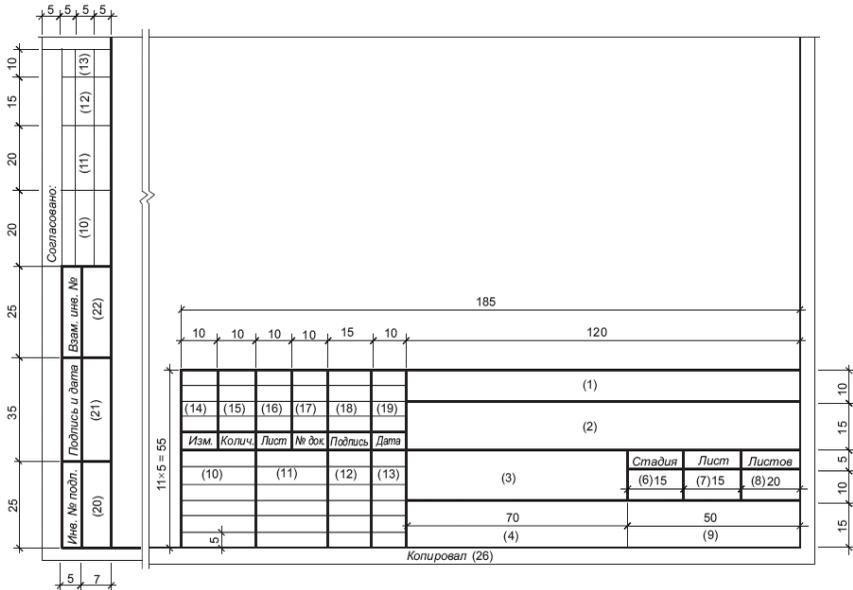


Рис. 1.4. Форма основной надписи и дополнительных граф к ней для листов основных комплектов чертежей, чертежей разделов документации строительного проекта

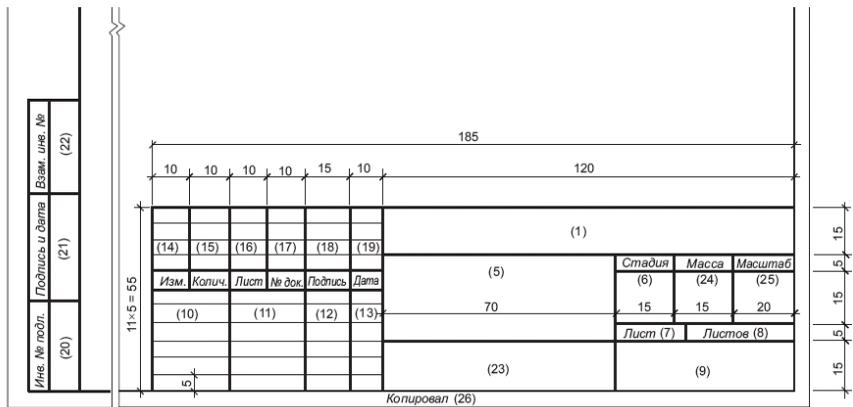


Рис. 1.5. Форма основной надписи и дополнительных граф к ней для первого листа чертежей строительных изделий

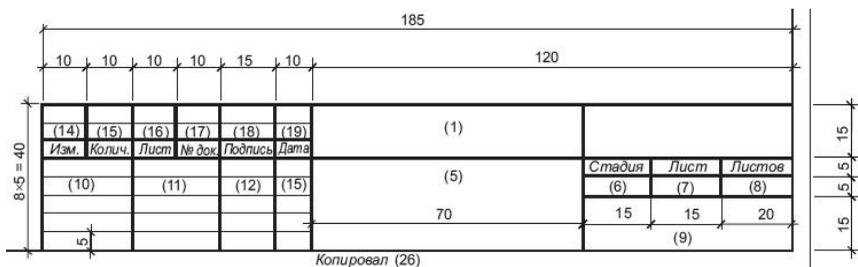


Рис. 1.6. Форма основной надписи и дополнительных граф к ней для первого листа текстовых документов и эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий

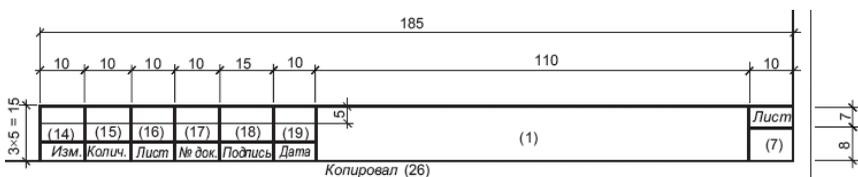


Рис. 1.7. Форма основной надписи и дополнительных граф к ней для последующих листов чертежей строительных изделий и текстовых документов, а также эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий

- в графе 10 – характер работы (разработал, проверил, нормоконтроль, утвердил); допускается свободные строки заполнять по усмотрению разработчика названиями должностей лиц, ответственных за выпуск документа;
- в графах 11–13 – фамилии и подписи лиц, указанных в графе 11, и дату подписания;
- в графах 14–19 – графы таблицы изменений;
- в графе 20 – инвентарный номер подлинника;
- в графе 21 – подпись лица, принявшего подлинник на хранение, и дату приемки (число, месяц, год);
- в графе 22 – инвентарный номер документа, взамен которого выпущен подлинник;
- в графе 23 – обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);
- в графе 24 – массу изделия, изображенного на чертеже, в килограммах без указания единицы измерения;
- в графе 25 – масштаб;
- в графе 26 – подпись лица, копировавшего чертеж.

Приведем основные формы документов, используемых в проекте автоматизации технологических процессов (рис. 1.8–1.12).

Позиц. обозначение	Наименование	Код	Примечание
8			

Рис. 1.8. Форма перечня элементов принципиальной электрической схемы

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
8				

Рис. 1.9. Форма перечня составных частей щита

20	Надписи на табло и в рамках		N надписи	Текст надписи	Кол.	N надписи	Текст надписи	Кол.
8								

Рис. 1.10. Форма таблицы надписей на табло и в рамках

18	Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание
8					

Рис. 1.11. Форма таблицы соединений

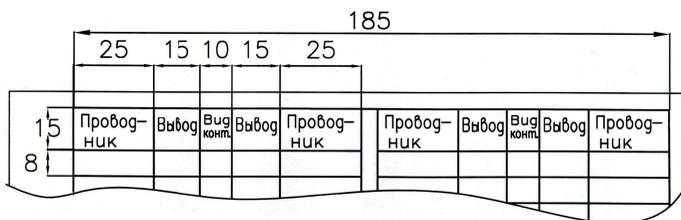


Рис. 1.12. Форма таблицы подключения

Требования к текстовым материалам проекта подробно изложены в учебно-методическом пособии [16].

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что обеспечивают нормативные документы при разработке проекта?
2. Перечислите основные группы нормативных документов, которыми необходимо руководствоваться при проектировании систем автоматизации.
3. Что является основанием для классификации схем по видам и типам?
4. На какие виды подразделяют схемы?
5. Охарактеризуйте основные типы схем, используемых в проекте автоматизации.
6. Перечислите основные этапы разработки проектной документации на проектном предприятии.
7. Охарактеризуйте стадии проектирования.
8. Каков состав проектной документации на стадии архитектурного проекта?
9. Каков состав проектной документации на стадии строительного проекта?
10. Какой основной нормативный документ устанавливает общие требования к оформлению графической части проекта автоматизации?
11. Перечислите требования к присвоению обозначения комплекту чертежей.
12. Какой основной нормативный документ устанавливает общие требования к оформлению пояснительной записки к проекту автоматизации?
13. Какие формы основной надписи следует привести для документов, формы которых представлены на рис. 1.8–1.12?

### 1.3. Технология инженерного проектирования

Качество проекта автоматизации определяется системностью исследования объекта автоматизации, проработкой вариантов решения проектной задачи, всесторонностью обоснования технического решения и в целом системностью применения технологии проектирования.

Приступая к проектированию системы автоматизации, необходимо определить, насколько актуальна автоматизация процесса или установки. Какие недостатки имеют типовые варианты решений, используемых на подобных объектах? Как их устранить? Каковы возможные пути автоматизации? Какие преимущества даст автоматизация процесса или установки? Таким образом, необходимо уяснить цель и задачи автоматизации процесса или установки.

Чтобы определить цели и задачи системы автоматизации, следует охарактеризовать объект автоматизации, проанализировать целесообразность автоматизации отдельных технологических операций и технологического процесса в целом, показать пути автоматизации объекта.

Начинают анализ с подробного изучения технологического процесса и возможных вариантов использования комплектов оборудования. Необходимо иметь подробное описание технологического процесса и каждой технологической операции. При этом следует обратить внимание на те операции, которые могут вызвать частые остановки, выход из строя оборудования, снижение качества продукции, сдерживают увеличение производительности, требуют наибольших затрат труда и энергии. Далее следует определить необходимые характеристики технологического оборудования (производительность, мощность, регулируемые параметры, их диапазон, точность регулирования, способы и средства регулирования).

Завершают анализ технологического процесса определением вида автоматического управляющего устройства (АУУ), которое будет управлять объектом.

Если объект управления – технологический процесс, операция, механизм, орудие, а цель управления – поддержание или изменение по определенному закону управляемой величины или нескольких управляемых величин, то в качестве АУУ используют регулятор.

Если объект управления – сложный процесс, машина, поточная линия, состоящие из отдельных операций и механизмов, а цель

управления – связать эти элементы, обеспечить определенную последовательность работы, переход с режима на режим при определенных условиях, то в качестве АУУ используют автоматы.

Если объектом управления является животноводческий комплекс, птицефабрика, тепличный комбинат, цех или подсобное предприятие, то в качестве управляющего устройства применяют управляющие машины (на базе SCADA-систем).

Если проектирование автоматизации ведут одновременно с технологическим проектированием, правомерно прежде всего сформулировать требования к самому объекту автоматизации. Для этого необходимо выявить его статические, динамические и энергетические характеристики, а также оценить управляемость объекта, оценить, что можно сделать, чтобы улучшить его характеристики.

Ниже рассматривается методика выявления путей автоматизации и требований к АУУ на примере разработки регулятора.

Чтобы найти пути улучшения качества функционирования выбранного технологического процесса, необходимо выявить управляемые величины, а также управляющие и возмущающие воздействия. Для этого рекомендуется представить объект управления в виде «черного ящика». Пример представления для САУ микроклиматом животноводческого помещения показан на рис. 1.13.

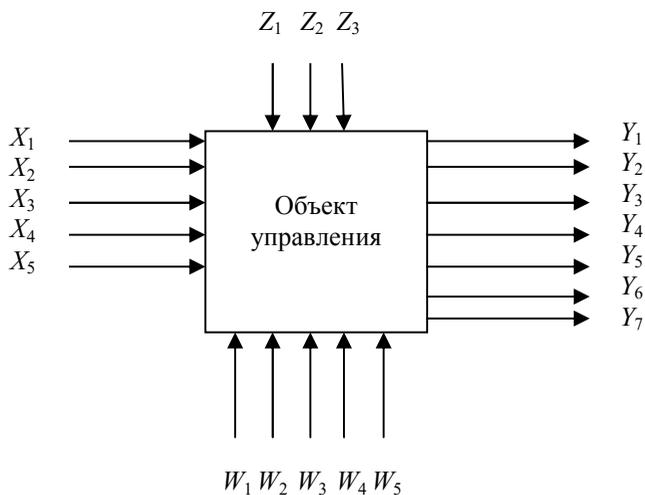


Рис. 1.13. Модель объекта управления (технологический процесс)

Управляемыми величинами, то есть теми параметрами, совокупность которых определяет понятие «микроклимат», являются: температура  $Y_1$ , влажность  $Y_2$  и скорость воздушного потока в зоне обитания животных  $Y_3$ , а также концентрация углекислого газа  $Y_4$ , аммиака  $Y_5$ , сероводорода  $Y_6$  и отрицательных ионов воздуха  $Y_7$  [9, с. 456]. Для других объектов управляемые величины будут другими. Для относительно простых объектов достаточно одной управляемой величины, для сложных, каким является выбранный объект, управляемых величин будет несколько.

После того как выбраны управляемые величины, необходимо определить управляющие воздействия. Как правило, этот вопрос решают технологи и энергетики.

Чтобы обеспечить заданную температуру, необходим обогрев помещения в зимнее время или охлаждение в летний период. В данном случае следует ограничиться рассмотрением зимнего периода. В зависимости от проектного решения возможен обогрев горячей водой или электрической энергией. В первом случае в качестве управляющего воздействия  $X_1$  может выступать температура или (и) расход горячей воды; во втором – мощность электрокалорифера или электрообогреваемой панели. Для обеспечения заданной влажности необходимо либо понижать ее (при избытке), либо повышать (при недостатке). В первом случае процессом управляют при помощи вентилятора, во втором – при помощи увлажнителей. Для определенности в качестве управляющего воздействия выбирается первый вариант – расход воздуха  $X_2$ . Другие управляемые величины также могут определяться расходом воздуха. При этом выявляют «диктующую» вредность, то есть ту управляющую величину, которую труднее всего обеспечить, для которой необходим наибольший расход воздуха. Наконец, для управления концентрацией отрицательных ионов в воздухе используют искусственную ионизацию. Управляющим воздействием служит напряжение на коронирующих электродах ионизатора  $X_3$ .

Далее выявляют возмущающие воздействия: контролируемые (которые возможно и целесообразно измерять) и неконтролируемые (которые измерять невозможно и нецелесообразно). На температуру в помещении влияют контролируемые факторы (наружная температура  $Z_1$ , скорость ветра  $Z_2$ ) и неконтролируемые (открытие дверей и ворот  $W_1$ , изменение тепловыделений животных  $W_2$ ). На влажность

воздуха внутри помещения влияют влажность наружного воздуха  $Z_3$  и влаговыделения животных  $W_3$ , на концентрацию ионов в помещении – радиация стен  $W_4$  и газоразделения животных  $W_5$ .

Изображение объекта в виде «черного ящика» облегчает формулирование требований к автоматизации, суть которых сводится к следующим положениям:

1. Формулирование алгоритма и цели функционирования.

2. Формулирование алгоритма управления на основе алгоритма функционирования объекта. Так, если в соответствии с алгоритмом функционирования требуется поддерживать постоянную температуру в пределах  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , то система управления должна отключать нагрев при повышении температуры до  $21^\circ\text{C}$  и включать его снова при снижении температуры до  $19^\circ\text{C}$ . При более сложном алгоритме функционирования, когда температура в помещении должна зависеть от возмущающих воздействий, необходимо выявить эту зависимость и составить алгоритм управления по возмущению.

3. Определение, какой должна быть система по степени приспособляемости к условиям работы, то есть можно ли рекомендовать применение самонастраивающейся системы, если мы имеем дело с нестационарным объектом, динамические свойства которого изменяются во времени (например, теплица).

4. Выбор системы управления по виду применяемой энергии (электрическая, пневматическая или гидравлическая).

5. Выбор системы по числу управляемых величин.

6. Формулирование требований к качеству переходных процессов: длительности, максимальному динамическому отклонению, колебательности и т. д. Эти требования должны определяться технологией. Если такие требования сформулировать не удастся, то систему в дальнейшем оптимизируют по интегральным показателям качества.

7. Формулирование требований к точности системы. Они также определяются технологией.

Сформулированные требования должны быть включены в техническое задание.

Задание на проектирование оформляется на бланках установленной формы [17], где указывают:

- наименование предприятия и задачу проекта;
- перечень производств, цехов, агрегатов, установок, охватываемых проектом систем автоматизации, с указанием для каждого

особых условий (при их наличии): класс взрыво- и пожароопасности помещений, наличие агрессивной, влажной, сырой, запыленной окружающей среды и т. д.);

- стадийность проектирования;
- требования по вариантной и конкурсной разработке;
- основные технико-экономические показатели;
- сроки строительства и очередности ввода в действие производственных подразделений предприятия;
- наименование организаций – участников разработки проекта предприятия и систем автоматизации;
- предложения по централизации управления технологическими процессами и структуре управления объектом, по объему и уровню автоматизации;
- предложения по размещению пунктов управления, щитов и пультов;
- требования к качеству, конкурентоспособности, экологическим параметрам продукции;
- требования по разработке природоохранных мероприятий, техники безопасности, гигиены и пр.;
- особые условия проектирования.

Вместе с заданием заказчик должен выдать исходные документы и материалы для выполнения проектов систем автоматизации:

- ✓ технологические схемы с характеристиками оборудования;
- ✓ перечень контролируемых и регулируемых параметров;
- ✓ чертежи помещений;
- ✓ данные для расчета регулирующих органов;
- ✓ требования по надежности схем автоматизации;
- ✓ результаты НИР (математическое описание динамических свойств объектов, требования к качеству регулирования и др.);
- ✓ техническая документация по типовым проектам.

Последовательность предпроектных изысканий сводится к следующему:

- сбор исходных материалов для проектирования;
- анализ объекта автоматизации;
- определение целей и задач автоматизации;
- определение вида автоматического устройства управления;
- анализ возможных типовых решений;

- проектное предложение;
- формулирование требований к объекту автоматизации и автоматическому устройству управления.

Технология и содержание первых четырех операций изложена выше. Следует только добавить, что проектно-конструкторская деятельность невозможна без получения знаний о том, что было сделано раньше, и о новых достижениях в области разрабатываемой техники и технологии. Поэтому на этапе предпроектных изысканий нередко ведется патентный поиск и собирается новейшая научно-техническая информация. (Патентный поиск – это нахождение аналогов в решении новой задачи, для того чтобы не изобретать уже известное, а также с целью правовой защиты своего решения, которое может составить предмет изобретения.)

Современные методы разработки проектного предложения можно условно разделить на две большие группы по признаку доминирования в них интуитивных или логических процедур и соответствующих им правил деятельности.

Первая группа – это так называемые эвристические (интуитивные, или иррациональные) методы, которые опираются на активизацию творческой деятельности человека и развитие его способностей на основе развития интуитивных процедур деятельности, фантазии, аналогии и т. п. В эту группу входят методы: «мозговая атака», синектика, эвристических вопросов, эмпатий (личной аналогии), сравнительных стратегий, ассоциативный.

Вторая группа методов основана на использовании оптимальной логики анализа технического объекта, закономерностей его развития. Здесь предлагают логические правила анализа и синтеза, сравнения, обобщения, классификации, индукции, дедукции и т. д. Это рациональные, или логические, методы. Более подробную информацию по перечисленным группам методов можно найти в учебнике [18, с. 51–137].

Метод и термин «*мозговая атака*» предложены американским ученым А. Ф. Осборном как улучшенный вариант диалога Сократа с широким использованием свободных ассоциаций, одновременным созданием микроклимата в малых группах людей для повышения эффективности решения творческих задач. Существует несколько модификаций метода, например прямая и обратная «*мозговая атака*».

Целью «мозговой атаки» является получение максимального количества новых идей за счет взаимного стимулирования членов группы к интенсивному поиску. Преимущество метода в неограниченности спектра проблем для решения при минимальной предварительной подготовке участников и при условии, что проблема сформулирована просто и ясно. Метод можно использовать как в начале проектирования, когда проблема окончательно не определена, так и позднее, когда выделены сложные проблемы. План действий при использовании метода заключается в следующем: собрать группу участников; ввести правило, запрещающее критиковать любую идею, какой бы «дикой» она ни казалась; довести до участников, что необходимо получить максимум идей и участники должны попытаться комбинировать или усовершенствовать идеи, предложенные другими; зафиксировать выдвинутые идеи и дать им затем оценку. Эффективность «мозговой атаки» можно повысить, заранее сообщив участникам суть обсуждаемой проблемы. Недостатки и ограничения метода заключаются в том, что его применение позволяет выдвинуть идею в самом общем виде.

*Метод контрольных эвристических вопросов* заключается в поиске решения задачи с помощью подготовленного перечня (списка) наводящих вопросов. Расчет делается на то, что при ответе на поставленные вопросы наступает то «озарение», которое приводит к нужной идее решения задачи. В. И. Андреев составил следующие эвристические вопросы, стимулирующие решение творческих задач [19]:

1. Нужно ясно понять задачу: что неизвестно? что дано? в чем состоит условие? Возможно ли удовлетворить условию? достаточно ли условие для определения неизвестного? или противоречиво? Сделайте чертеж; введите подходящее обозначение; разделите условие на части; постарайтесь записать их.

2. На этапе составления плана решения: как найти связь между данными и неизвестными? не известна ли вам какая-нибудь родственная задача? нельзя ли ею воспользоваться? нельзя ли использовать метод ее решения? нельзя ли сформулировать задачу проще, иначе? нельзя ли решить часть задачи, условия? все ли данные и условия вами использованы? приняты ли во внимание все понятия, содержащиеся в задаче?

3. Осуществляя план решения, контролируйте каждый свой шаг: ясно ли вам, что предпринятый вами шаг правилен? сумеете ли доказать, что он правилен?

4. Контроль и самоконтроль полученного решения предполагает поиск ответов на такие вопросы: нельзя ли проверить результат? нельзя ли проверить ход решения? нельзя ли получить тот же результат иначе? нельзя ли решить задачу, обратную этой?

Достоинства метода эвристических вопросов заключаются в его простоте и эффективности для решения любых задач. Недостатки и ограничения в том, что он не дает оригинальных идей и решений и, как другие эвристические методы, не гарантирует абсолютного успеха.

*Синектика*, так же как и «мозговая атака», предполагает коллективный поиск новых решений. Однако синектическая группа не является впервые (или случайно) собранной группой людей, а представляет собой тщательно подготовленную группу. Ключевым моментом синектики является подход к процессу решению. В течение всего процесса работы синекторы стараются приблизиться к решению, но не выдвигают законченных идей. Нерациональная информация является причиной проявления в памяти метафор, образов. Постоянное стимулирование подсознания ведет к проявлению интуиции. Синектическая группа должна довести решение до уровня, позволяющего провести практическую реализацию идеи.

*Метод морфологического анализа систем* является одним из примеров реализации системного подхода. Основной принцип метода состоит в систематизированном анализе всех возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения совершенствуемой системы. В рассматриваемом техническом объекте (технической системе или технологическом процессе) выделяют несколько характерных для него структурных или функциональных морфологических признаков. Каждый такой признак может характеризовать какой-то конструктивный режим работы, то есть параметры или характеристики объекта, от которых зависит достижение объектом основной цели, определяемой его назначением. По каждому выделенному морфологическому признаку определяют различные конкретные варианты реализации технического предложения (рис. 1.14). Перебирая возможные сочетания альтернативных вариантов выделенных признаков, можно выявить новые варианты решения задачи, которые при обычном переборе могли бы быть упущены. Алгоритм метода состоит в следующем:

1. Формулирование задачи.
2. Составление списка всех морфологических признаков объекта задачи, то есть всех важных характеристик объекта, его параметров

и режимов работы, от которых зависит реализация объектом своей главной цели.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждому морфологическому признаку и составление морфологической матрицы (рис. 1.15).

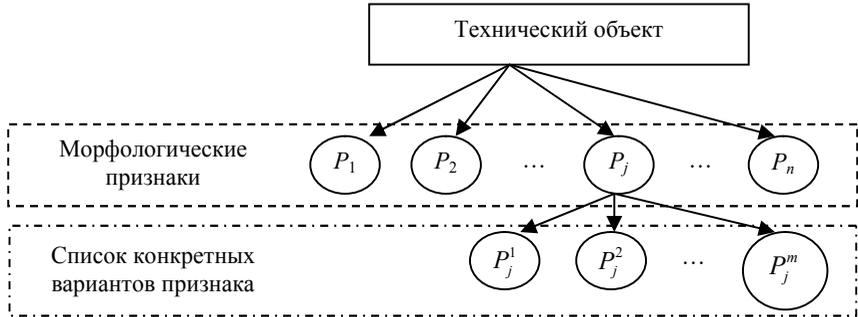


Рис. 1.14. Схема представления объекта совокупностью морфологических признаков

Номер варианта	Морфологические признаки объекта						
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_j$	...	$P_n$
1	$P_1^1$	$P_2^1$	$P_3^1$	...	$P_j^1$	...	$P_n^1$
2	$P_1^2$	$P_2^2$	$P_3^2$	...	$P_j^2$	...	$P_n^2$
3	$P_1^3$	$P_2^3$	$P_3^3$	...	$P_j^3$	...	$P_n^3$
4	$P_1^4$	$P_2^4$	$P_3^4$	...	$P_j^4$	...	$P_n^4$

Рис. 1.15. Морфологическая матрица

4. Формулирование конкретных решений задачи путем сочетаний вариантов морфологических признаков.

5. Определение практической ценности полученных вариантов решения задачи и выбор наиболее эффективных из них.

Метод десятичных матриц состоит в поиске технических решений путем анализа результатов применения десяти эвристических приемов Э (неология, адаптация, мультипликация, дифференциация, интеграция, инверсия, импульсация, динамизация, аналогия, идеа-

лизация) к каждой из десяти групп показателей  $n$  (геометрические, физико-механические, энергетические, конструктивно-технологические, надежность и долговечность, эксплуатационные, экономические и т. д.) технической системы ТС (рис. 1.16). В результате таких действий строится десятичная матрица поиска, в ячейки которой записываются идеи решения задачи, то есть каждая ячейка матрицы соответствует определенному изменению какого-либо из основных параметров системы.

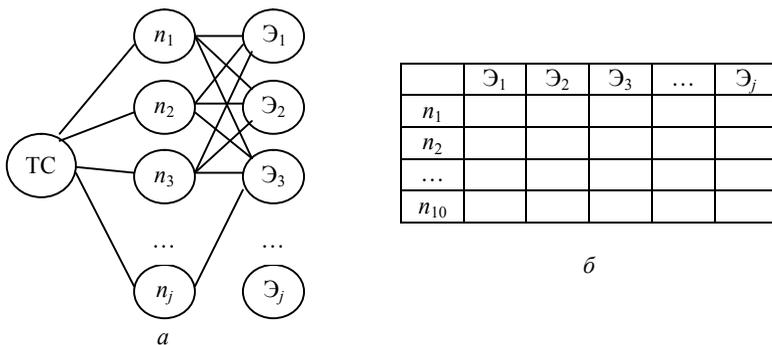


Рис. 1.16. Схема метода десятичных матриц:  
 а – техническая эвристическая система;  
 б – матрица поиска новых технических решений

В результате разработки проектного предложения детально уточняется техническое задание и окончательно формулируются требования к объекту автоматизации и автоматическому устройству управления.

На основном этапе проектирования формулировка задачи проектирования определяется типом технической системы. Различают  $Q$ -систему (система типа «изделие»), элементами которой являются детали и узлы изделия;  $T$ -систему (техническую систему), элементами которой являются детали и узлы технического объекта;  $P$ -систему (систему типа «процесс»), элементами которой являются производственные операции. Для данных систем рассматриваются три характерных типа задач.

*Задача анализа:* задана структура системы, необходимо определить ее функционирование.

*Задача синтеза:* заданы характер функционирования и другие требования к системе, необходимо определить структуру, которая удовлетворяет поставленным требованиям.

*Задача «черного ящика»:* задана система, структура которой неизвестна или известна частично, необходимо определить ее функционирование и, возможно, структуру.

На этапе собственно проектирования системы автоматизации в основном возникает задача синтеза, но часто – и задача «черного ящика».

Синтез САУ включает три основных этапа.

На *первом этапе* разрабатывается математическая модель проектируемой (синтезируемой) системы. Математическая модель отображает связи между показателями состояния, например быстродействием и надежностью системы, ее точностью, качеством выпускаемой продукции и т. п., и параметрами управления, с помощью которых осуществляется воздействие на проектируемую систему, в результате чего меняются ее показатели, состояния и параметры управления. Математическая модель определяет область допустимых вариантов проектирования.

Способы математического описания класса САУ ТП приведены в таблице.

На *втором этапе* на основе математической модели составляется целевая функция, или критерий, оптимальности – математически сформулированная цель синтеза САУ.

В целевой функции могут быть одновременно отражены несколько показателей состояния с добавлением экономических показателей (например, прибыли, себестоимости и т. п.).

В некоторых вариантах целевая функция достигает экстремума. Этот экстремум определяет оптимальную для реализации область, из которой выбирается один из вариантов.

Второй этап часто объединяется с первым.

На *третьем этапе* разрабатываются способы технической реализации выбранного варианта системы, полученного в виде общих математических зависимостей (рекомендаций), то есть составляются функциональные, структурные, динамические, принципиальные, монтажные и другие схемы.

Подробно технология синтеза САУ рассмотрена в учебном пособии [9].

Технико-экономическое обоснование проекта выполняется на стадии разработки архитектурного проекта и затем уточняется на стадии строительного проекта. Его последовательность кратко изложена в п. 3.12.

## Математические модели процессов

Класс модели	Характеристика	Способ описания алгоритма	Предпочтительные методы моделирования
Аналоговые (непрерывные системы)	Все входные, выходные величины и параметры состояний являются непрерывными во времени изменяемыми сигналами	<b>Линейные</b> (векторные) обычные и дифференциальные уравнения в частных производных, дробные рациональные передаточные функции, пространственное изображение состояний. <b>Нелинейные</b> (векторные) дифференциальные уравнения, описательная функция, пространственное изображение состояний	Преобразование Лапласа, интеграл свертки, аналоговое и цифровое моделирование.  Фазовая плоскость, аналоговое, цифровое и гибридное моделирование
Системы импульсного регулирования	Входные и выходные величины являются дискретными во времени. Параметры состояний – непрерывными во времени сигналами. Они управляются в дискретные моменты времени входными величинами и наблюдаются с помощью выходных величин	Дифференциальные (векторные) уравнения, трансцендентные передаточные функции	Дискретное преобразование Лапласа, сумма свертки, гибридное и цифровое моделирование
Дискретные (двоичные) системы	Все входные, выходные величины и параметры состояний могут принимать только дискретные значения	Булева алгебра, теория автоматов, дифференциальные (векторные) уравнения, пространственное изображение состояний, Марковские процессы, таблицы автоматов, графы состояний, логические таблицы	Дискретное преобразование Лапласа, сумма свертки, интеграл Лапласа, цифровое моделирование

То или иное проектное решение требует защиты, которая заключается во всестороннем обосновании основных выводов и предложений. При защите проектного решения следует четко сформулировать все основные технические решения: обоснование темы проекта, ее актуальность и новизну; раскрытие современного состояния решаемой проблемы и принятых технических решений; обоснование выбора системы управления, ее технико-экономических показателей; особенности статических и динамических характеристик объекта; выбранный закон регулирования и тип автоматического управляющего устройства; параметры настройки регулятора, результаты определения устойчивости системы и качества переходных процессов. После краткого резюме основных проектных решений следует сделать выводы о преимуществах и недостатках разработанной системы, сопоставить ее с базовым вариантом.

Критериями оценки проекта могут быть:

- полнота решения, глубина обоснования и эффективность принятых решений, системность, логическая взаимосвязь всех частей проекта друг с другом и с более общей задачей (проблемой), завершенность проекта, объем выполненных работ;
- практическая ценность проекта;
- реализуемость проекта;
- технический уровень проекта, умение применять новейшие достижения науки и техники;
- оригинальность проекта, уровень культуры его выполнения.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Каковы основные этапы разработки технического задания?
2. Каким образом определяется вид автоматического устройства управления, которое будет управлять объектом?
3. Какова методика формулирования требований к объекту автоматизации?
4. Какова методика формулирования требований к автоматическому устройству управления?
5. Каково содержание задания на проектирование?
6. Какие исходные документы и материалы должен передать заказчик для выполнения проекта системы автоматизации?

7. Какова последовательность предпроектных изысканий?
8. На какие группы подразделяют методы разработки проектного предложения?
9. Какова суть метода «мозговая атака»? Подумайте, в каких случаях его можно применить при разработке проекта автоматизации.
10. Дайте сравнительную характеристику методам «мозговая атака» и синектика.
11. Какие этапы включает синтез САУ?
12. Каким критериям должен отвечать проект автоматизации?

## **2. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В САПР**

Наиболее эффективным средством оформления документации проекта, а также поддержки принятия технического решения являются системы автоматизированного проектирования (САПР). Они обеспечивают высокое качество проекта, минимальные затраты на выпуск проекта и соответствие документации проекта нормативным требованиям [11, 22 и др.]. Однако все эти преимущества могут быть реализованы только при условии обладания проектировщиком знаниями о возможностях пакетов САПР, при умении их использовать для решения ряда практических задач, выбирать средства, наилучшим образом реализующие проектную задачу, и способности адаптировать пакет к области проектирования. Поэтому важно освоить принципы и особенности автоматизированного проектирования систем автоматизации, приобрести навыки разработки документации в пакетах САПР, а также умения сопровождения пакетов САПР.

Современные графические пакеты имеют многообразные средства, позволяющие адаптировать их под пользовательские требования, сделать работу с ними более удобной. Кроме того, средства адаптации позволяют любому пользователю автоматизировать ряд операций, выполняемых вручную. Поэтому необходимо иметь представление о возможностях средств адаптации графического пакета и уметь их использовать для настройки пакета под конкретную задачу.

### **2.1. Характеристика пакетов САПР, используемых при разработке проектной документации систем автоматизации**

#### ***2.1.1. Классификация электротехнических САПР***

В настоящее время имеется достаточно много пакетов САПР, обладающих разными характеристиками. Поэтому классификацию САПР принято осуществлять по ряду признаков. Ниже приводятся некоторые из них.

По характеру базовой подсистемы САПР разделяют следующим образом:

- на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования, когда основной процедурой является конструи-

рование, то есть определение пространственных форм и взаимного расположения объектов;

- на базе систем управления базами данных, которые характерны для организации технико-экономических приложений, приложений, разрабатывающих щиты управления, и т. д.;
- на базе конкретного прикладного пакета;
- комплексные (интегрированные), состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов.

По уровню автоматизации САПР разделяют на низко- (до 25 %), средне- (25–50 %) и высокоавтоматизированные системы.

По приложениям выделяют САПР:

- общего машиностроения – Mechanical CAD;
- архитектуры и строительства – ArchiCAD;
- технологических процессов – ProEngineer;
- электрооборудования и т. д.

САПР электрооборудования можно разделить по характеру и числу выпускаемых проектных документов:

- обеспечивающие выпуск определенной части документации. Например, расчет и выпуск принципиальных электрических схем силового оборудования и питания. К таким относятся ELSO (операционная среда DOS) и WinELSO (операционная среда Windows), разработанные системным центром Infars. Данные пакеты обеспечивают разработку принципиальных электрических схем электроснабжения объектов на напряжение 0,4 кВ, позволяют производить электротехнические расчеты в любом узле схемы, автоматизировать подбор кабелей, проводов и аппаратов защиты из соответствующих баз данных под расчетные параметры работы схемы. К подобным системам можно отнести и САПР-Альфа (совместная разработка ФРГ и РФ – компания «КАД ХАУЗ Байс»), которая дополнительно позволяет выпустить в полуавтоматическом режиме планы расположения силового оборудования и освещения. Правда, данная система специализирована для нефтегазовой промышленности;

- обеспечивающие сквозной цикл разработки документации на системы управления электрооборудованием. К таким системам относятся зарубежные разработки:

- CADdy (Германия, ZIEGLER, [www.caddy.ru](http://www.caddy.ru));
- WS-CAD (Германия, TE-KON);
- PC Schematic (Дания, Dps CAD-Center Aps, [www.pcschematic.com](http://www.pcschematic.com)).

Все эти системы обеспечивают минимальные затраты на оформление документации благодаря собственному графическому редактору, однако ориентированы на систему зарубежных стандартов.

В России к таким системам относится Electricis – разработка ООО «Лир». Но более проста в освоении система CADElectro, разработанная совместно фирмами «Техникон» и «Интермех» (Республика Беларусь), которая, кроме того, использует промышленные системы управления базами данных [23].

### ***2.1.2. Характеристика электротехнических САПР***

Электротехнические САПР, которые возможно применить в разработке проекта автоматизации технологических процессов, условно можно разделить на два класса пакетов:

- 1) использующие собственный графический редактор;
- 2) использующие общепринятый графический редактор.

Пакеты первого класса несколько экономят память, работают более надежно и быстро, однако не обладают возможностями адаптации под конкретные пользовательские проектные задачи. Поэтому в данном курсе упор сделан на вторую группу пакетов.

Примерами пакетов первого класса являются ELSO, EPLAN и т. п.; второй группы – САПР-Альфа, Electricis, CADElectro и пр. Краткая сравнительная характеристика данных пакетов приведена в табл. 2.1. Более подробную информацию по пакетам САПР можно найти на указанных сайтах, в журнале «САПР и графика».

### ***2.1.3. Принцип сквозного проектирования в САПР***

Общие принципы проектирования в САПР рассмотрим на примере интегрированной САПР CADElectro 5.0 [24, 25]. Данная система использует в качестве графического редактора AutoCAD 2004–2007, промышленные системы управления базами данных Oracle или Imbase и программные продукты Intermech.

CADElectro – качественный инструмент для создания полного комплекта конструкторской документации на электрооборудование, однако выпустить полный комплект документации проекта автоматизации данная САПР не позволяет. CADElectro является базовым пакетом, который можно использовать для создания большинства документов проекта автоматизации при некоторой адаптации системы.

Сравнительная характеристика электротехнических САПР

Наименование (разработчик)	Состав пакета	Уровень автоматизации	Выпускаемая документация	Примечание
ELSO (системный центр Infars (Россия), <a href="http://www.infars.ru">www.infars.ru</a> )	Подсистема формирования схем электроснабжения; подсистема электротехнических расчетов; подсистема светотехнических расчетов; подсистема автоматизированной разработки документации	Автоматизация разработки узкого пакета электротехнической документации	Справочные таблицы результатов расчетов по нагреву, потере напряжения; таблицы нагрузок; кабельный журнал и ведомость потребностей кабелей и проводов; схемы электрические принципиальные распределительной и питающей сети	Собственный графический редактор
EPLAN (EPLAN Software & Service GmbH & Co (Германия), <a href="http://www.eplan.de">www.eplan.de</a> )	Браузер, откуда осуществляется выход в окно создания проекта, или графический редактор	Высокая степень автоматизации с настройкой на систему зарубежных стандартов	Принципиальные схемы, схемы подключения, перечень элементов, таблицы соединений, конструкция щита	Собственный графический редактор
САПР-Альфа (компания «КАД ХАУЗ Байс» (Россия), <a href="http://www.cadhouse.webzone.ru">www.cadhouse.webzone.ru</a> )	Содержит 15 модулей по количеству выпускаемой документации	Высокая степень автоматизации с настройкой на нефтегазовую промышленность	Справочные таблицы результатов расчетов по нагреву, потере напряжения; таблицы нагрузок; кабельный журнал и ведомость потребностей кабелей и проводов; схемы электрические принципиальные распределительной	Графический редактор AutoCAD

Наименование (разработчик)	Состав пакета	Уровень автоматизации	Выпускаемая документация	Примечание
			и питающей сети; планы расположения силового оборудования и освещения и т. д.	
Nanocad (ЗАО «Нанософт» (Россия), <a href="http://www.nanocad.ru">www.nanocad.ru</a> )	Представляет собой бесплатную базовую платформу (подобную AutoCAD) с платными приложениями, настроенными под конкретную область проектирования	Средняя степень автоматизации	Состав документации по конкретной области проектирования	Собственный графический редактор
Electricis (фирма «Лир» (Россия), <a href="http://www.ler.ru">www.ler.ru</a> )	Включает основные модули: модуль управления проектами; редактор принципиальных схем и схемы подключения Electricis v. 4 (на базе AutoCAD); база данных аппаратов, проводов и библиотека УГО; редактор табличного представления схемы; генератор отчетов; MechaniCS – модуль,	Достаточно высокая автоматизация разработки документации электротехнического проекта	Принципиальные схемы, схемы подключения, перечень элементов и таблицы соединений. Поддерживается только система ЕСКД	Графический редактор AutoCAD

Наименование (разработчик)	Состав пакета	Уровень автоматизации	Выпускаемая документация	Примечание
	предназначенный для оформления чертежей в соответствии с ЕСКД			
CADElectro (фирмы «Техникон» и «Интермех» (Республика Беларусь), www.technicon.by)	Основу пакета составляют редактор принципиальных схем (на базе AutoCAD); редактор текстовых документов; редактор таблиц соединений; редактор сборочных чертежей; база данных аппаратов; система ведения архива	Высокая степень автоматизации за счет автоматической передачи данных между модулями	Схемы электрические принципиальные; таблицы соединений внутреннего монтажа; таблицы соединений внешнего монтажа; таблицы наборов зажимов; схемы соединений и подключения; комплект документации для создания конструктивного устройства; сборочные чертежи; схемы расположения; спецификации и ведомости	Графический редактор AutoCAD

Система CADElectro позволяет создавать:

- схемы электрические принципиальные (ЭЗ);
- перечни элементов схем электрических принципиальных (ПЭЗ);
- таблицы соединений внутреннего монтажа (ТЭ4);
- таблицы соединений внешнего монтажа (ТЭ6);
- таблицы наборов зажимов;
- схемы соединений и подключения (Э4 и Э5);
- комплект документации для создания конструктивного устройства;
- сборочные чертежи (СБ);
- схемы расположения (Э7);
- спецификации и ведомости (ведомости покупных изделий, ведомость содержания драгметаллов и пр.).

Создание данной документации обеспечивается пятью основными модулями [24]:

- редактор принципиальных схем CADElectro (рис. 2.1) позволяет создавать модель принципиальной электрической схемы, передавать данные в другие проектные задачи, а в последней версии – автоматически получать монтажные документы в графической форме после их формирования в табличном виде в редакторе таблиц соединений;

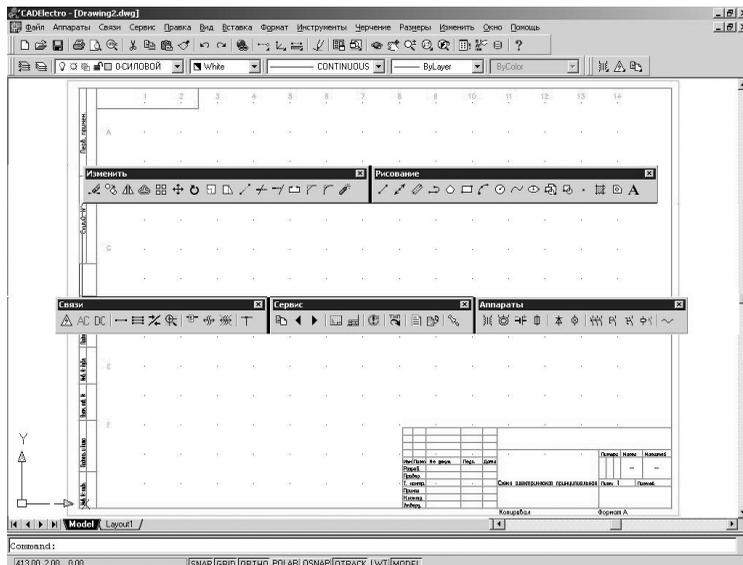


Рис. 2.1. Первый модуль САПР CADElectro – редактор принципиальных схем

- редактор текстовых документов AVS (рис. 2.2) предназначен для получения в автоматическом режиме или вручную перечней элементов, спецификаций, таблиц данных аппаратов, таблиц соединений и подключения, ведомостей и подобных документов и передачи их на печать или в чертеж;

Формат	Зона	Позиция	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A3			ТЕХ0072.01.01.000СВ	Сборочный чертеж		
A4			ТЕХ0072.01.01.000ТН3	Таблица набора зажимов		
A4			ТЕХ0072.01.01.000Т34	Таблица электрических соединений		
				<b>Детали</b>		
A4		1	ТЕХ0072.01.01.001	Кронштейн	1	
				<b>Стандартные изделия</b>		
		2		Винт В.МБ-6г*14.36.019 ГОСТ11644-75	11	
		3		Шайба 6.06.016 ГОСТ11971-78	11	
				<b>Прочие изделия</b>		
		4		Выключатель АЕ 2046М-20Н-40РУВ, 380В, 50Гц, 63А, 12Н ТУ16-522.064-82	3	

Рис. 2.2. Редактор текстовых документов AVS

- редактор таблиц соединений РТС (рис. 2.3) позволяет редактировать монтажные документы, сформированные автоматически по данным модели принципиальной электрической схемы, и передавать данные в AVS и CADElectro для формирования монтажных документов в графической форме;

Марки.	Откуда	Куда	Тип провода	Длина, м	Род тока	Наконечник
L+	Шкаф 1-GV:5	Станок-BP:1	ПВ3 0,75 мм <sup>2</sup> , синий,	1	ПОСТОЯННЫЙ	Н 0,75/14, белый
B5	Шкаф 1-KM1:2,4	Станок-M1:C2	Кабель 1 (ВВГ-1 4x16мм <sup>2</sup> ),	2	СИЛОВОЙ	Н 16/28, зелен...
C5	Шкаф 1-KM1:2,6	Станок-M1:C3	Кабель 1 (ВВГ-1 4x16мм <sup>2</sup> ),	2	СИЛОВОЙ	Н 16/28, зелен...
A5	Шкаф 1-KM1:2,2	Станок-M1:C1	Кабель 1 (ВВГ-1 4x16мм <sup>2</sup> ),	2	СИЛОВОЙ	Н 16/28, зелен...
B6	Шкаф 1-KM2:2,4	Станок-M2:C2	ПВ3 0,75 мм <sup>2</sup> , черный,	2	СИЛОВОЙ	Н 1,5/14, красн...
C6	Шкаф 1-KM2:2,6	Станок-M2:C3	ПВ3 0,75 мм <sup>2</sup> , черный,	2	СИЛОВОЙ	Н 1,5/14, красн...
A6	Шкаф 1-KM2:2,2	Станок-M2:C1	ПВ3 0,75 мм <sup>2</sup> , черный,	2	СИЛОВОЙ	Н 1,5/14, красн...
3	Шкаф 1-KM2:2,63	Станок-SL:?	ПВ3 1 мм <sup>2</sup> , красный,	2	ПЕРЕМЕННЫЙ	Н 1,5/14, красн...
PE	Шкаф 1-XT1:39	Станок-BP:PE	ПВ3 1,5 мм <sup>2</sup> , черный,	2,5	СИЛОВОЙ	Н 2,5/14, синий
PE	Шкаф 1-XT1:39	Станок-M1:PE	ПВ3 1,5 мм <sup>2</sup> , черный,	2,5	СИЛОВОЙ	Н 2,5/14, синий
PE	Шкаф 1-XT1:39	Станок-M2:PE	ПВ3 1,5 мм <sup>2</sup> , черный,	2,5	СИЛОВОЙ	Н 2,5/14, синий
14	Шкаф 1-XT1:40	Станок-SL:?	ПВ3 1 мм <sup>2</sup> , красный,	1	ПЕРЕМЕННЫЙ	Н 1,5/14, красн...

Рис. 2.3. Редактор таблиц соединений РТС

- редактор сборочных чертежей CADMech (рис. 2.4) позволяет формировать общие виды щитов управления и автоматики,

сборочные чертежи и планы расположения, позволяет передавать данные в AVS для формирования таблицы данных аппаратов, перечня элементов щита и т. д.;

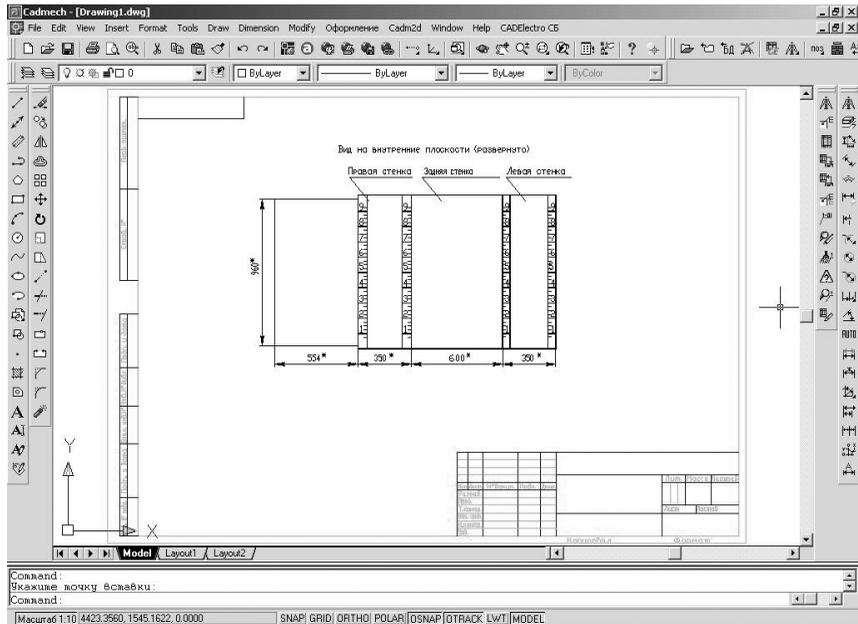


Рис. 2.4. Редактор сборочных чертежей CADMech

- база данных аппаратов Imbase (рис. 2.5) позволяет назначать типы аппаратам проекта и поэтому связывает все четыре модуля системы. Она содержит более 5000 записей электроаппаратуры и материалов, внесенных из промышленного каталога «Информ-электро» и каталогов иностранных фирм, может служить в качестве справочника и пополняться пользователем.

Шестой модуль – Search – предназначен для ведения архива проектной документации и электронного документооборота.

Благодаря своим модулям CADElectro обеспечивает сквозной цикл проектирования согласно представленной на блок-схеме последовательности (рис. 2.6). Это означает, что каждый последующий документ формируется на базе данных предыдущего документа. Тем самым значительно экономится время на ввод данных и в целом на разработку документации проекта.

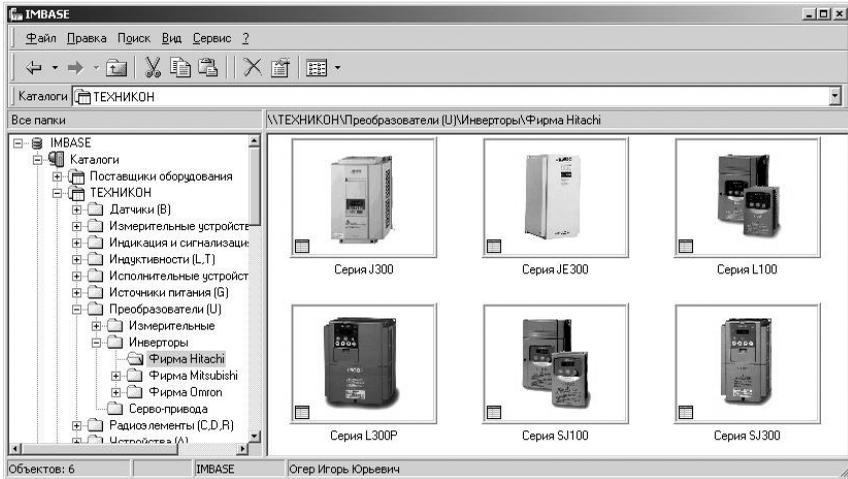


Рис. 2.5. База данных аппаратов Imbase

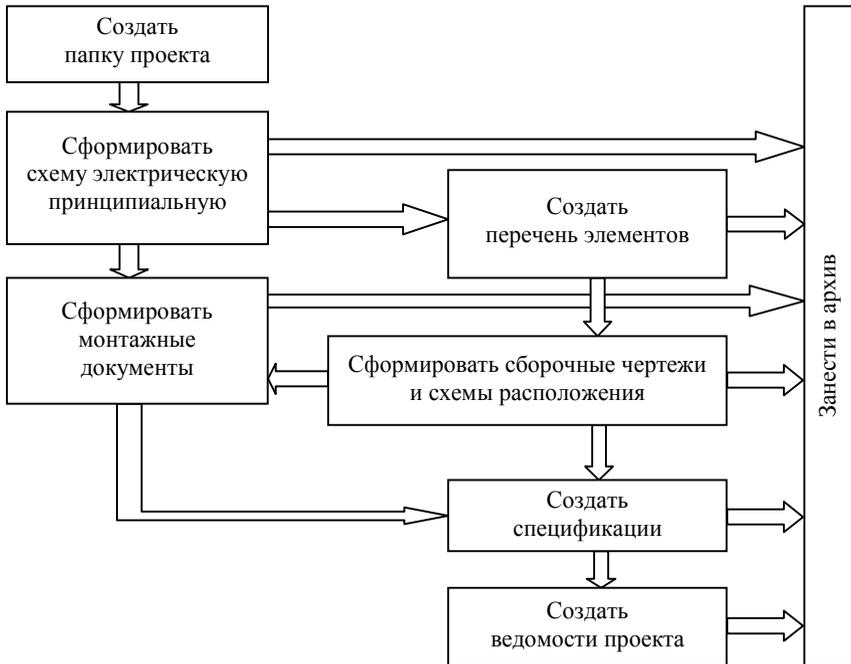


Рис. 2.6. Последовательность сквозного проектирования, реализуемая САПР CADElectro

#### ***2.1.4. Возможности использования электротехнических САПР при разработке проекта автоматизации***

Наиболее важными документами проекта автоматизации являются схема автоматизации и принципиальная схема.

*Схема автоматизации* – основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления технологическим процессом и регулирования его параметров, оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (документ, определяющий структуру и функциональные связи между технологическим процессом и средствами автоматизации).

Схема автоматизации содержит технологическую схему и раскрывает объем автоматизации технологического процесса или установки. Большое многообразие технологических процессов мешает формализовать разработку подобного документа. А определение объема автоматизации тем более является процессом творческим. Поэтому выпуск данного документа в САПР характеризуется наименьшей степенью автоматизации. Тем не менее повторяющиеся элементы схем могут быть собраны в библиотеку графических элементов, что несколько сэкономит время на разработку документа. С этой целью могут успешно применяться как коммерческие пакеты САПР («Компас», фирма «Аскон») с соответствующей базой данных, так и общеприменимый пакет AutoCAD с разработанной пользователем графической библиотекой и настроенным шаблоном.

*Схема принципиальная* – это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия. Она служит основанием для разработки монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и других документов [12]. Процесс разработки данного документа можно в некоторой степени формализовать. В первую очередь это относится к выпуску перечня элементов принципиальной схемы. Многие операции при формировании данного документа также могут быть автоматизированы. Но так как этот документ в проектировании является базовым, придется вводить значительный объем исходной информации для его разработки. САПР может только максимально облегчить эту процедуру. В качестве примеров пакетов САПР, реализующих

разработку данной документации, можно отметить как отечественные разработки (CADElectro), так и российские (Electrics) и зарубежные (CADdy, WS-CAD, PC Schematic). Специализированные САПР максимально сокращают время на оформление принципиальных электрических схем за счет автоматизации всех рутинных операций по отрисовке схемы, автоматического формирования перечня элементов, связи с другими документами проекта.

*Монтажные документы* необходимы для проведения монтажа разработанной системы и базируются на сведениях, имеющихся в принципиальной электрической схеме. Процесс разработки данных документов может быть формализован, поэтому их разработка подлежит высокой степени автоматизации. Примерами пакетов САПР, реализующих разработку данной документации, могут быть пакеты, отмеченные выше.

В последнее время получила распространение табличная форма монтажных документов. Однако на некоторых предприятиях все еще используют и схемы соединений, несмотря на большой формат. *Схема соединений* – это схема, показывающая соединение составных частей изделия и определяющая провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединения и ввода. *Таблица соединений* – это документ, отражающий соединения между аппаратами, приборами и элементами внутри конструктивного устройства и определяющий провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения. *Таблица подключения* раскрывает подключения проводников к каждому элементу конструктивного устройства. Разработка монтажных документов, например в пакете CADElectro, осуществляется с помощью редактора таблиц соединений РТС в полуавтоматическом режиме. Построение записей таблицы соединений производится автоматически на основании данных модели принципиальной электрической схемы. После этого пользователь может их откорректировать и перейти, если необходимо, к разработке монтажного документа в форме схемы. В РТС при обработке данных используется четкий алгоритм расчета таблиц соединений, который накладывает определенную жесткость на порядок работы, а также определяет некоторые условия для проектных и конструктивных решений.

Средним по степени автоматизации является процесс выпуска *документации на щиты автоматики*, так как здесь этот процесс

подлежит частичной формализации. Поддерживает автоматизированное проектирование щитов автоматики пакет CADElectro, также может быть использован AutoCAD с разработанными кафедрой АСУП пользовательскими программами, реализующими компоновку в щите автоматики.

Еще одним документом, который не обладает высокой степенью автоматизации разработки, является чертеж расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации.

Таким образом, обеспечивая автоматизацию всех рутинных операций при разработке документации проекта автоматизации, САПР оставляет выполнение значительного количества операций пользователю, что обуславливается их творческим характером и сложностью формализации.

### ***2.1.5. Особенности автоматизированного проектирования систем автоматизации***

При всем многообразии пакетов САПР ни одним из них нельзя обеспечить в целом полный комплект документации проекта автоматизации. Кроме того, специфические особенности документации проекта автоматизации обуславливают необходимость настройки и адаптации промышленных САПР. (Подробнее об адаптации пакетов САПР – в материале п. 2.3. А применить знания по методике настройки и адаптации потребуется при выполнении курсового проекта по дисциплине.)

Последовательность автоматизированного проектирования систем автоматизации представлена на рис. 1.1. На первых двух этапах полученный результат зависит от способностей самого проектировщика (табл. 2.2).

На этапе предпроектирования можно рекомендовать пакеты для анализа различных вариантов решения: Analiz, MatLAB, MathCAD, во многих случаях не будет лишним и Excel. На этапе собственно проектирования нельзя выделить единственного пакета. Можно рекомендовать пользовательские программы к AutoCAD, пакет AutomatiCS и т. п., которые максимально упрощают основные расчеты и оформление решения. На этапе оформления решения рекомендуется использовать пакеты, автоматизирующие разработку определенного документа. На этапе оценки и технико-экономического обоснования можно использовать пакеты, автоматизирующие расчеты.

Рекомендации по использованию программ  
на различных этапах проектирования систем автоматизации

Этап	Рекомендуемые группы методов	Рекомендуемые пакеты САПР
Постановка задачи	Целеполагание, проблематизация	Только знания инженера-проектировщика
Сбор и анализ исходных данных	Анализ	Excel и другие пакеты, которые помогают в анализе
Предпроектирование	Эвристические, логические, анализ	Analiz, MatLAB, MathCAD
Собственно проектирование	Синтез, расчет, моделирование, анализ, комбинирование и др.	Пользовательские программы, позволяющие максимально упростить основные расчеты и оформление решения, AutomatiCS и т. п.
Оформление проекта	Конструирование, разработка	AutoCAD, CADElectro и др.
Оценка и технико-экономическое обоснование	Расчет, оценка, корректировка	Excel
Выпуск и размножение проекта		Драйверы плоттеров

Таким образом, инженеру по автоматизации сегодня приходится ориентироваться во множестве методов проектирования и владеть достаточно большим количеством современных программных продуктов.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Для чего нужна классификация пакетов САПР?
2. Перечислите признаки классификации пакетов САПР.
3. Перечислите признаки классификации электротехнических САПР.

4. Какова классификация электротехнических САПР?
5. Перечислите наиболее применимые пакеты электротехнических САПР.
6. Перечислите основания сравнения электротехнических САПР.
7. Какой основной принцип проектирования реализуют комплексные САПР? Объясните его смысл.
8. Поясните назначение каждого модуля интегрированной САПР CADElectro.
9. Какова последовательность проектирования в САПР CADElectro?
10. Какие пакеты САПР можно применять в разработке:
  - схем автоматизации;
  - принципиальных электрических схем контроля, регулирования и управления;
  - монтажных документов;
  - щитов автоматики;
  - чертежей расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации?
11. Автоматизация разработки какого документа проекта автоматизации наибольшая, наименьшая? Почему?
12. Какие пакеты САПР можно использовать на каждом из этапов проектирования систем автоматизации?

## **2.2. Принципы, порядок и особенности автоматизированного проектирования систем автоматизации**

### ***2.2.1. Работа в режиме «электронного кульмана» в базовом пакете САПР***

#### ***2.2.1.1. Интерфейс графического редактора***

Какой бы высокой ни была степень автоматизации труда в САПР при выпуске электронного документа, некоторое количество операций приходится делать вручную. В большей степени данное утверждение относится к условиям создания документа в графическом редакторе. И именно в освоении графического редактора возникают наибольшие трудности у начинающих пользователей САПР. Рассмотрим некоторые особенности графического редактора AutoCAD, используемого в САПР CADElectro, – основном пакете, в котором придется работать проектировщику систем автоматизации.

Для комфортной работы в нем необходимо усвоить:

- способы взаимодействия с редактором;
- способы вывода пространства листа документа на видовой экран;
- скорые приемы настройки режимов рисования;
- свойства примитивов;
- наиболее приемлемые с точки зрения вывода на печать приемы создания примитивов и управления их свойствами, а также наиболее быстрые приемы их редактирования;
- способы настройки интерфейса редактора.

Овладение первым компонентом из приведенного списка требует умения использования средств интерфейса графического редактора. К ним относятся:

- строка падающих меню (обычно верхняя), содержащая сгруппированные по меню команды;
- панели инструментов (фиксированные и плавающие);
- командная строка (куда выводятся запросы, которые пользователь обязательно должен отслеживать);
- строка состояния (где отображаются координаты курсора или подсказка при наведении на инструмент или строку меню по команде, а также содержатся кнопки переключения режимов рисования);
- собственно графическое поле построений.

Строка падающих меню может быть изменена путем включения или выключения тех или иных пунктов с помощью закладки Menus (Меню) области Customize диалогового окна Customize User Interface (Адаптация интерфейса). Окно вызывается из падающего меню Tools (Инструменты)\Customize\Interface. Меню можно также загрузить с помощью команды **Menu (Меню)**.

Панели инструментов в редакторе оформлены так же, как и в Microsoft Office. Поэтому, если подвести указатель мыши к пиктограмме одного из элементов любой панели, то через несколько мгновений под указателем появится подсказка с наименованием команды или функции редактора, выполняемой с помощью этой кнопки. Кнопка инструмента может иметь в правом нижнем углу небольшой треугольник . Если нажать на ЛК мыши при указании на такой инструмент и не отпускать некоторое время, то появится панель инструментов, содержащая различные варианты исполнения данной команды.

Панели инструментов могут быть как плавающими, так и закрепленными, с фиксированным местоположением. Можно перемещать

плавающие панели по графическому полю и менять их размер. Плавающую панель можно сделать фиксированной, если перетащить ее за пределы графического поля. А закрепленная панель превращается в плавающую, как только попадает в область графического поля путем перетаскивания. Вывести требуемые панели инструментов можно через контекстное меню, вызываемое обычно щелчком ПК мыши по какой-либо панели инструментов, присутствующей на экране. А изменить наполнение панели инструментов можно через диалоговое окно *Customize User Interface* (Адаптация интерфейса), вызываемое с помощью пункта *Toolbars* (Панели) меню *View* (Вид).

Строка состояния содержит координаты курсора и кнопки включения/выключения режимов черчения. В строке состояния также выводятся сообщения и подсказки по элементу интерфейса.

Окно командных строк обычно расположено перед строкой состояния и служит для ввода команд и ведения диалога с редактором. Однако, начиная с версии AutoCAD 2006, при работе в графическом редакторе можно обойтись без окна командных строк, так как имеется возможность включить динамический режим, при котором команды можно вводить в окно, привязанное к курсору.

Графическое поле – основная рабочая зона, в которой находится видимая часть рисунка.

Для выбора в меню (и на панели инструментов) часто используется устройство указания типа «мышь». При работе с мышью обычно левая кнопка (ЛК) применяется для выбора и указания точки на экране, а правая кнопка (ПК) – для выполнения действия типа «Ввод». Если, удерживая клавишу *Shift*, выполнить щелчок правой кнопкой мыши, то выпадет курсорное меню. В некоторых случаях правая клавиша имеет специальное назначение. Указатель мыши меняется в зависимости от места указания. Он имеет вид перекрестия на графическом поле, вид стрелки при выборе из меню и I-образный вид в командной строке или текстовом окне. Курсорное меню по умолчанию содержит список объектных привязок и переключатель режима отслеживания.

### ***2.2.1.2. Способы ввода команд в графическом редакторе***

Весь диалог с графическим редактором идет на языке команд. Команды можно вводить различными способами: набирать на клавиатуре (отображается в командной строке или в появляющемся

возле курсора окне в графическом редакторе при включении режима DYN), выбирать из меню или щелкать по соответствующей пиктограмме на панели инструментов. Команда может быть введена только в тот момент, когда в окне командных строк высвечивается подсказка Command: (Команда:).

Для ввода команды с клавиатуры нужно напечатать имя команды и нажать клавишу «Ввод» или «Пробел». Некоторые команды могут быть использованы в прозрачном режиме путем ввода их с предшествующим апострофом (**'Zoom ('Покажи)**) во время выполнения другой команды. Когда выполнение прозрачной команды завершится, основная команда станет активной. К прозрачным командам относятся обычно команды изменения параметров черчения или таких режимов рисования, как **SNAP (ШАГ)**, **GRID (СЕТКА)** или **Zoom (Покажи)**. Для подавления вызова диалогового окна при выполнении команды нужно ввести знак минус перед ее именем, например **-Attedit**.

После ввода команды редактор выдает запросы, в ответ на которые необходимо ввести дополнительную информацию: численное значение, ключевое слово или точку.

*Ключевое слово* (переключает способ выполнения команды) стоит в квадратных скобках [ ] – для набора слова достаточно ввести буквы, написанные заглавными. А в угловых скобках < > обычно стоит *значение по умолчанию*, подразумевающее «пустой» ввод.

Самый простой способ ввода точки – *визуальный*, когда щелчком ЛК мыши указывается положение точки на экране. Другой способ ввода координат – *с клавиатуры* – подразделяется на ввод *абсолютных* или *относительных* координат, которые могут быть *декартовыми* или *полярными*. Например, 92, -81.04 означает набор способом ввода *абсолютных декартовых* координат. В данном случае указана точка с координатами:  $X = 92$  мм,  $Y = -81.04$  мм. При вводе координат с клавиатуры запятая является разделителем между абсциссой и ординатой, а точка используется как разделитель между целой и дробной частями числа. Пример *абсолютных полярных* координат: 115<45, где символ < интерпретируется как знак угла. В данном примере новая точка отстоит от начала координат в плоскости на 115 мм, а вектор, проходящий из точки (0,0) в новую точку, образует угол 45° с положительным направлением оси абсцисс. Относительные координаты вводятся относительно

предыдущей указанной точки и задаются символом @. Например, @15, -32 – это *относительные декартовые* координаты; @182.6<145 – это *относительные полярные* координаты.

Поясним это на примере. Воспользуемся командой **Pline** (**Плиния**) для отрисовки линии заданной толщины. Команду вызовем, допустим, через пункт Polyline (Плиния) падающего меню Draw (Черчение). При этом в командной строке появится следующая запись:

\_pline

*То есть «Плиния»*

From point:

*То есть «От точки:». В ответ на этот запрос следует указать координаты точки любым доступным способом: щелчком ЛК мыши на экране либо вводом с клавиатуры.*

Current line-width is 0.20

*То есть «Текущая ширина линии 0.20»*

Specify next point or [Arc/Halfwidth/Length/Undo/Width]: W

*То есть «Укажите следующую точку или [Дуга/Полиширины/Длина/Отменить/Ширина]:». В ответ на данный запрос можно либо указать следующую точку для прорисовки полилинии текущей толщины, либо ввести ключевое слово из перечисленных в квадратных скобках [ ]. В данном случае пользователь ввел ключевое слово (width – ширина), используя букву, написанную в строке заглавной.*

Starting width <0.20>: 1

*То есть «Начальная ширина <0.20>: 1». В ответ на данный запрос пользователь ввел значение начальной ширины 1 (мм), не используя значение по умолчанию.*

Ending width <1.00>:

*То есть «Конечная ширина <1.00>:». В ответ на данный запрос пользователь задал «пустой» ввод, используя значение по умолчанию, то есть ввел значение конечной ширины, стоящее в угловых скобках <>. Таким образом произведено переключение на новое значение ширины полилинии. После этого можно отрисовать линию новой заданной толщины. Для выхода из команды набран «пустой» ввод.*

Таким образом, работа с любой командой графического редактора требует отслеживания запросов, которые являются достаточно объемными для команд редактирования и требуют предварительной проработки.

### ***2.2.1.3. Настройка режимов рисования***

Чтобы сформированный чертеж был выполнен с соблюдением всех требований нормативов, необходимо рационально использовать режимы рисования и их настройку. К режимам рисования относят: ШАГ, СЕТКА, ОРТО, полярную привязку, объектную привязку, ВЕС и некоторые другие. Управлять данными режимами можно с помощью кнопок, находящихся в строке состояния. Режим считается включенным, если включена соответствующая ему кнопка. Включение и выключение кнопки режима осуществляется щелчком ЛК мыши. Если подвести указатель мыши к кнопке режима, то над ней через мгновение появится подсказка.

Кнопка SNAP (ШАГ) позволяет включать или выключать режим привязки к точкам сетки с определенным настраиваемым шагом или угловой привязкой. Перемещения тогда осуществляются по прямоугольным сегментам с заданным шагом. Роль кнопки SNAP (ШАГ) выполняет также функциональная клавиша F9. Следует помнить, что для высокого качества выполнения чертежа шаг обязательно должен быть включен. А вот параметры шага лучше менять – для удобства выполнения построений.

Кнопка GRID (СЕТКА) позволяет включать/выключать отображаемую в зоне лимитов сетку из точек с настраиваемым шагом. Эта сетка может отличаться от сетки, используемой в режиме ШАГ. Аналог кнопки – клавиша F7.

Кнопка ORTHO (ОРТО) включает или выключает режим ортогональности. Если этот режим включен, то редактор начинает исправлять вновь строящиеся прямолинейные сегменты отрезков и полилиний до вертикальности или горизонтальности. При включенном режиме невозможно провести линию или перенести примитив под определенным углом. Аналог – клавиша F8.

Кнопка POLAR (ОТС-ПОЛЯР) является расширением режима ORTHO (ОРТО) на углы с некоторым настраиваемым шагом. Аналог – клавиша F10.

При включении с помощью кнопки OTRACK (ОТС-ПРИВ) режима отслеживания объектной привязки редактор показывает, какая функция объектной привязки могла бы быть использована вблизи показываемого примитива. Аналог – клавиша F11.

Кнопка DYN (ДИН) позволяет включить режим динамического ввода. При этом режиме сообщения команд, их параметры, вводимые

пользователем данные отображаются в небольших окнах около курсора.

Кнопка LWT (BEC) включает или выключает режим отображения весов элементов чертежа. *Вес линии* – это ширина, с которой линия будет выводиться на внешнее устройство.

Настройка режимов может быть выполнена с помощью диалогового окна Drafting Settings (Режимы рисования), которое вызывается либо с помощью пункта Drafting Settings (Режимы рисования) падающего меню Tools (Сервис), либо с помощью пункта Settings (Настройка) курсорного меню, вызываемого с помощью щелчка ПК мыши, если поставить ее указатель на одну из кнопок режимов (кроме кнопок ORTHO (ОПТО), LWT (BEC), MODEL (МОДЕЛЬ)). Также можно набрать с клавиатуры команду вызова диалогового окна DDRModes (ДиалогСред).

#### **2.2.1.4. Управление просмотром рисунка**

В рабочем пространстве графического редактора графические объекты могут иметь координаты любой величины. Для удобства работы AutoCAD имеет специфические команды, управляющие отображением на экране нужной части рисунка.

Перемещения по листу чертежа легко осуществляются с помощью многокнопочной мыши. Функция скроллинга мыши позволяет быстро попасть в требуемую зону чертежа, так как настроена на использование команд зуммирования и панорамирования. Если крутить скроллинг на себя, то изображение на экране уменьшается, от себя – увеличивается, что соответствует выполнению команды зуммирования. Если, нажав на скроллинг, перемещать мышь, то перемещается и лист чертежа в видовом экране, что соответствует выполнению команды панорамирования. Если осуществить двойной щелчок скроллингом, то рисунок будет отцентрирован на экране.

Сложнее приходится, когда используется обычная мышь. Чтобы обеспечить комфортные условия отображения окна зрения (область рисунка, выводимая на экран), приходится хорошо изучить команды управления видовым экраном редактора. Для изменения размера и места расположения видимой на экране части чертежа используется команда **Zoom (Покажи)**. Вызвать список различных вариантов выполнения команды можно из экранного меню View (Вид), вторичного меню Zoom (Покажи) падающего меню

View (Вид), стандартной панели инструментов и панели инструментов Zoom (Покажи). Также может быть вызвана команда **Pan (Пан)** с различными опциями. Заслуживает внимания и команда **'DSViewer**, вызывающая окно общего вида, в котором отображается весь рисунок и которое позволяет быстро переместиться в любую часть рисунка с любым масштабом отображения (вызов по пути меню View (Вид)\Aerial View (Общий вид)). Можно рекомендовать подробно изучить все опции перечисленных команд управления окном зрения и попробовать действие команд с различными опциями, используя издание [26, с. 179–188].

### *2.2.1.5. Особенности команд редактирования и рисования*

Некоторое количество примитивов или графических объектов, несмотря на высокую степень автоматизации, приходится формировать вручную. Недостаточно представлять назначение команд рисования. Наибольшие трудности вызывает именно отслеживание запросов и ввод необходимых ключей и параметров команд. Поэтому при изучении возможностей команды рисования следует соблюдать следующую последовательность:

а) уяснить имя команды, ее функциональное назначение, способы вызова (путь вызова в меню);

б) выявить основные параметры команды, уяснить их назначение;

в) проверить параметры команды в действии, фиксируя последовательность ввода ответов на запросы команды, понять, в каких случаях и для каких примеров их лучше использовать.

Одними из основных команд, которыми приходится пользоваться при работе с любым документом проекта, являются команды отрисовки текста. К ним относятся:

– **Dtext (Дтекст)** – позволяет отрисовать однострочный текст в динамическом режиме отображения в графической зоне редактора;

– **Mtext (Мтекст)** – позволяет отрисовать многострочный текст.

В ряде случаев наиболее приемлемой для использования является команда **Dtext**. Вызвать команду можно несколькими способами: набрать в командной строке **Dtext** и нажать на клавишу «Ввод» или использовать путь меню Draw (Черчение)\Text (Текст)\Single Line Text (Текст одиночной линии). Потом нужно ответить на достаточное количество запросов, примеры которых приведены в табл. 2.3.

Протокол запросов и ответов команды **Dtext**

Запрос–ответ	Комментарий
<p><code>_dtext Current text style: "Standard" Text height: 3.00 Specify start point of text or [Justify/Style]: J</code> (<i>дтекст Текущий текстовый стиль: «Стандарт» Высота текста: 3.00 Укажите начальную точку текста или [Выравнивание/Стиль]: В</i>)</p>	В ответ на первый запрос опций команды введена опция выравнивания. Если задать «пустой» ввод, команда перейдет в режим ввода текста – начальная точка
<p>Enter an option [Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]: M (<i>Введите опцию [Выровненный/Вписанный/Центр/Середина/Правый/ВЛ/ВС/ВП/СЛ/СС/СП/НЛ/НС/НП]: С</i>)</p>	Требуется ввести ключ выравнивания. В ответ на него введен ключ <i>M</i> – горизонтальное и вертикальное центрирование строки текста. Другие ключи: <i>A</i> – текст, вписанный между двумя точками с автоматически определенной высотой; <i>F</i> – строка текста заданной высоты выравнивается между двумя точками и др. [26, с. 32]
<p>Specify middle point of text: (<i>Указываем точку центра текста щелчком ЛК мыши в рабочей зоне</i>)</p>	Запрашивается точка выравнивания текста
<p>Specify height &lt;3.00&gt;: 5</p>	Запрашивается высота текста и в скобках указывается значение по умолчанию
<p>Specify rotation angle of text &lt;0&gt;:</p>	Запрашивается угол поворота текста и в скобках указывается значение по умолчанию
<p>Text: Рисунок 1</p>	Ввод текста
<p>Text:</p>	Если необходимо писать текст еще, то на дальнейший запрос достаточно щелкнуть ЛК мыши в требуемой точке отрисовки нового текста и продолжить его набор

Выход из команды обеспечивается «пустым» вводом. При повторе команды нажатием на клавишу «Пробел» или «Ввод» новый текст помещается под старым с той же высотой, наклоном и типом выравнивания.

При формировании чертежа практически не обойтись без команд редактирования. Команды редактирования требуют набора примитивов для дальнейших действий, то есть выбора подмножества объектов рисунка. Если пометить объекты в ответ на запрос Command: (Команда:), то на самом деле это будет означать выполнение команды **Select (Выбрать)**, формирующей набор объектов, над которыми в процессе выполнения команды будут произведены определенные действия. Также команда может быть введена с помощью клавиатуры. Она будет выдавать запрос, повторяющийся в цикле, пока не нажать на клавишу «Ввод».

Команда выбора по умолчанию действует в режиме АВТО.

В ответ на запрос необходимо указать точку с помощью мыши или ввести одну из опций выбора. Если при указании точки с помощью мыши квадратная мишень попадает на линию какого-то объекта, то он выбирается и подсвечивается. Если внутри мишени не оказывается линий объектов, указанная точка становится первой точкой рамки выбора. Вторая точка, указываемая в этот момент времени, становится вторым углом рамки. Если вторая точка рамки была указана правее первой, рамка является обычной (то есть выбирает только объекты, попавшие внутрь рамки), а если вторая точка указана левее первой – секущей рамкой (то есть выбирает и объекты, попавшие внутрь рамки, и объекты, пересеченные рамкой).

#### ***2.2.1.6. Работа с примитивами: использование слоев, цветов, типов линий и других свойств***

Графические примитивы помимо геометрических данных имеют свойства: цвет, тип линии, принадлежность слою, уровень и высоту. Использование свойств примитивов в САПР позволяет передавать наиболее полную информацию о том или ином элементе чертежа из модуля в модуль. Например, использование различных слоев для формирования линий связи (силовых, переменного тока и постоянного тока) при разработке модели принципиальной электрической схемы позволяет программно назначать по умолчанию типы проводок при формировании монтажных документов.

Свойства примитивов можно изменить с помощью соответствующих инструментов на панели инструментов свойств объектов, которая обычно расположена под стандартной панелью (рис. 2.7). На панели находятся четыре раскрывающихся списка – Color Control (Цвета), Linetype Control (Веса линий) и Plot Style Control (Стили печати). Работа со слоями ведется через отдельную панель Layers (Слой) (рис. 2.8). Значения, установленные в списках данных панелей, определяют текущие установки основных свойств. Пункты Layer (Слой), Color (Цвет), Linetype (Тип линии) и Plot Style (Стили печати) падающего меню Format (Формат) также дают возможность управлять текущими установками этих свойств.



Рис. 2.7. Панель свойств объектов

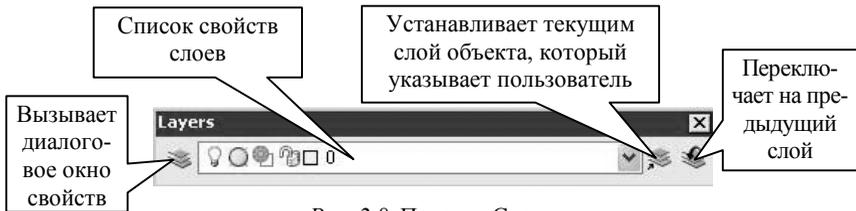


Рис. 2.8. Панель «Слой»

Различают постоянный и переменный цвет и тип линии. Поясним разницу между этими свойствами на примере цвета примитива. *Постоянный цвет* – это код цвета, по которому редактор отображает примитив именно этим цветом независимо от того, на каком слое или в каком блоке он находится. *Переменный цвет* – это цвет ByLayer [ПоСлою] (примитив принимает цвет, который назначен слою, на котором тот находится; при изменении цвета слоя цвет такого примитива изменяется) и ByBlock [ПоБлоку] (с каждым вставленным блоком на чертеже в этом случае можно связывать свой собственный цвет).

*Тип линии* – это шаблон (последовательность чередующихся линейных сегментов, пробелов, точек), по которому отрисовываются



Диалоговое окно Linetype Manager (Диспетчер типов линий) также может быть вызвано через меню Format (Формат)\Linetype (Тип линии) или командой **Linetype (Типлини)**. Окно предназначено для операций с типами линий текущего документа. В центральной части окна в форме списка приводятся имена типов линий, которые уже загружены в рисунок. Для загрузки нового типа линии предназначена кнопка *Load (Загрузить)*, для установки текущим – *Current (Текущий)*.

Масштаб отрисовки типа линии задается командой **Ltscale (Лмасштаб)**, а также значением в соответствующем поле предыдущего диалогового окна.

Каждый примитив обязательно принадлежит какому-либо слою. Слой можно уподобить прозрачным калькам, из которых может состоять чертеж. Очевидно, что на разных слоях удобно располагать объекты, объединенные по какому-либо признаку.

Например, при выполнении чертежа фасада щита удобно промежуточные линии (оси симметрии устанавливаемых приборов, монтажную зону щита и т. п.) выполнять на отдельном слое, который при выводе на плоттер будет отключаться. Рекомендуется с определенным слоем связывать свой цвет, когда на этом слое расположены функционально связанные элементы, или свой тип линии.

Каждый слой имеет свои свойства, которые определяются в диалоговом окне управления свойствами слоев (рис. 2.10), вызываемом кнопкой панели Слои.

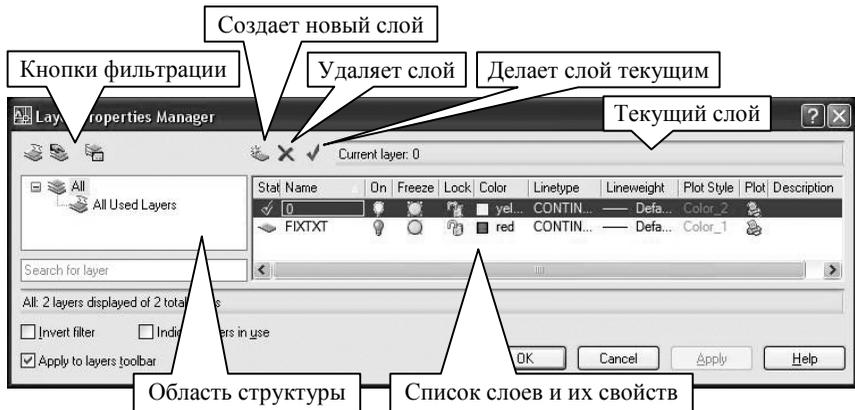


Рис. 2.10. Диалоговое окно управления свойствами слоев

Диспетчер свойств слоев также может быть открыт через меню **Format (Формат)\Layer (Слой)** или командой **Layer (Слой)**. В левой части окна располагается область структуры, в которой показано «дерево» групп слоев. В правой части окна располагается табличная область, в которой показаны имена и свойства слоев, относящихся к группе, выделенной в данный момент в структуре. Один слой в рисунке является текущим (показан в правом верхнем углу).

*Текущий слой* – это слой, на котором по умолчанию создаются новые объекты. Над табличной областью расположены кнопки, позволяющие создать, удалить или установить текущим слой.

Слой может иметь следующие характеристики:

- **Name (Имя)** – имя слоя;
- **On (Вкл)** – состояние слоя (включен или выключен): объекты, расположенные на выключенных слоях, становятся невидимыми;
- **Freeze in all** – состояние замораживания на всех видовых экранах одновременно (объекты, расположенные на замороженном слое, также временно невидимы);
- **Lock** – состояние блокированности (блокировка предназначена для защиты объектов слоя от удаления и редактирования);
- **Color** – текущий цвет для объектов слоя, у которых в качестве цвета задано значение **ByLayer**;
- **Linetype** – текущий тип линии для объектов слоя, у которых в качестве типа линии задано значение **ByLayer**;
- **Lineweight** – текущий вес линии для объектов слоя, у которых в качестве веса задано значение **ByLayer**;
- **Plot Style** – стиль печати, применяемый при выводе к слою;
- **Plot** – состояние объектов слоя относительно вывода на внешнее устройство (выводить или нет).

Таким образом, любой созданный в графическом редакторе примитив принадлежит слою и обладает цветом и типом линии (а также уровнем и высотой, что при двумерной отрисовке не является существенным). Если примитив обладает переменными свойствами, например по слою, то установки свойств примитива могут быть изменены изменением свойств слоев. Кроме того, изменить свойства примитивов позволяет команда **Properties (ОкноСв)**, открывающая немодальное окно **Properties (Свойства)**. Если на графическом экране отметить объект, то в окне будут показаны свойства примитива, которые можно изменять.

### 2.2.1.7. Порядок и особенности вывода документа на печать

Для получения «твердой» копии электронного документа могут использоваться различные устройства: принтеры, плоттеры, графопостроители. Особенности вывода на печать определяются как требованиями к выводимому документу (к толщине линии, точности передачи окружностей, цветам), так и используемыми драйверами печатающих устройств.

Для вывода на плоттер используется команда **Plot (Печать)**, пункт Plot (Печать) падающего меню File (Файл). При этом вызывается диалоговое окно печати Plot, приведенное на рис. 2.11.

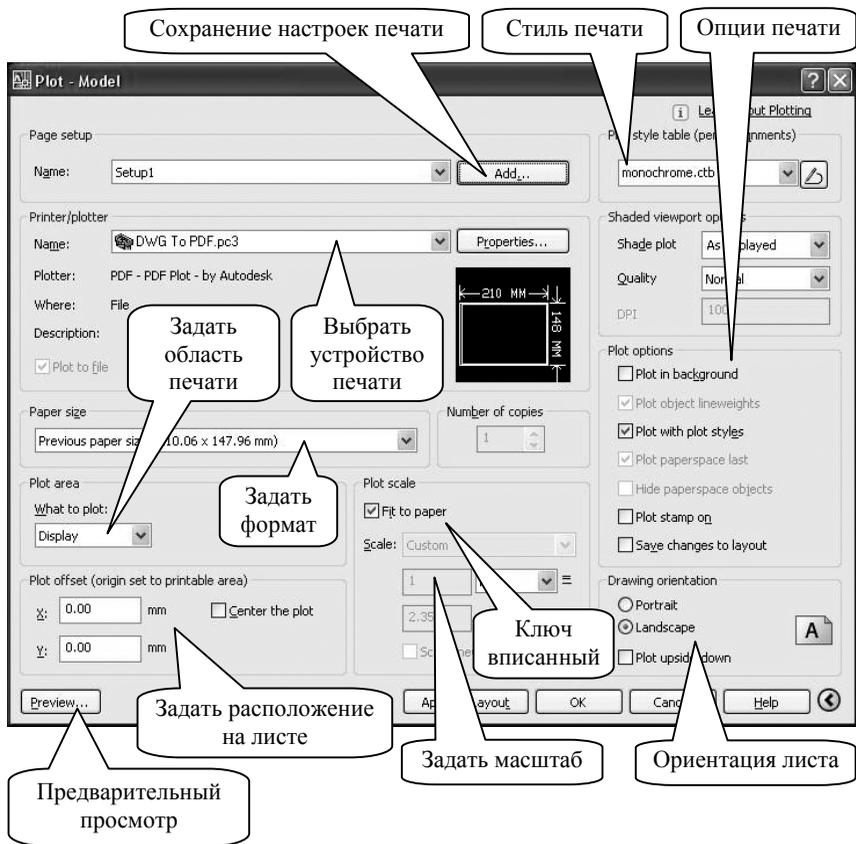


Рис. 2.11. Диалоговое окно печати текущего рисунка

Диалоговое окно печати предназначено для полного определения параметров вывода: конфигурации плоттера, листа бумаги и части рисунка, которую нужно вывести. Окно разделено на две части, правая часть по умолчанию не показывается. Чтобы ее увидеть, следует нажать кнопку More Options (Alt+>)  в правом нижнем углу.

В диалоговом окне печати необходимо:

- выбрать устройство печати – область Printer\plotter, закладка Name;

- задать размер бумаги в области Paper size;

- выбрать область печати – область Plot area, закладка What to plot (используется один из ключей: Display выбирает то, что показано на экране; Extents – границы построений; Limits – лимиты построений; Window – выбор с помощью рамки непосредственно в графическом экране);

- задать расположение на формате листа в области Plot offset;

- задать масштаб печати (или выбрать Fit to paper) – область Plot scale, закладка Scale;

- задать стиль печати в области Plot style table (например, при выводе на печать принципиальной схемы необходимо назначать стиль monochrome, чтобы получить черно-белый вариант чертежа);

- задать ориентацию листа – область Drawing orientation;

- просмотреть фрагмент печати – кнопка Preview;

- если просмотр области печати устраивает, можно сохранить настройки кнопкой Add в области Page setup и пустить на печать кнопкой ОК.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Чем необходимо овладеть для комфортной работы в графическом редакторе САПР?

2. Дайте определение интерфейса.

3. Что относят к средствам интерфейса графического редактора САПР?

4. Как может быть изменена строка падающих меню?

5. Какими могут быть панели инструментов?

6. Как вывести требуемую панель инструментов на экран?

7. Как изменить состав инструментов на панели инструментов?

8. Что отображается в строке состояния?

9. Как изменить состав кнопок в строке состояния?

10. Приведите в соответствие понятие и его смысл в таблице:

Понятие	Смысл
1. Графическая зона	а) элемент интерфейса графического редактора, содержащий инструменты (кнопки), обеспечивающие вызов команд редактора на исполнение
2. Командная строка	б) строка, расположенная под командной строкой (самая нижняя) и содержащая координаты курсора и кнопки включения/выключения режимов черчения
3. Панель инструментов	в) часть воображаемой экранной плоскости чертежа, предназначенная для выполнения построений
4. Строка состояния	г) элемент интерфейса графического редактора, расположенный над строкой состояния, обеспечивающий диалог пользователя с редактором с помощью команд посредством выдачи запросов и сообщений

11. Каково содержание курсорного меню?

12. На каком языке ведется диалог с графическим редактором САПР?

13. Каковы способы ввода команд в графическом редакторе?

14. Какая клавиша служит для прерывания действия команды в графическом редакторе?

15. Какие клавиши могут выполнять функцию ввода в графическом редакторе?

16. Какие клавиши могут использоваться для повтора предыдущей команды?

17. Что означает параметр, забранный в угловые скобки < >, при вводе запроса в командную строку?

18. Что означает термин «прозрачная команда»?

19. Что означает термин «“пустой” ввод»?

20. Что такое «ключевое слово»?

21. Перечислите способы ввода координат точки.

22. Для чего служат режимы рисования?

23. Назовите способы переключения режимов рисования.

24. Каким образом произвести настройку режимов рисования?

25. Какие существуют режимы объектной привязки?

26. Для чего служит шаблон?
27. Что обеспечивает команда панорамирования?
28. Что обеспечивает команда зуммирования?
29. Какая команда позволяет быстро вернуться к предыдущему виду на экране?
30. Перечислите способы вызова команд управления видовым экраном.
31. Какова последовательность действий при изучении особенностей команд рисования?
32. Какова основная особенность команд редактирования?
33. Каковы способы вызова команды выбора примитивов для редактирования?
34. Каковы различия режимов выбора: рамка и секущая рамка? В каких случаях лучше использовать тот или иной режим?
35. Что относится к свойствам примитивов?
36. Что такое слой?
37. Что такое тип линии?
38. Какими могут быть цвет и тип линии?
39. Какие свойства присущи слою?
40. Каким образом производится управление свойствами слоев и примитивов?
41. Какая связь существует между слоем, цветом и типом линии примитива?
42. Как вызвать диалоговое окно печати?
43. Какие установки должны быть заданы в диалоговом окне печати для вывода на печать принципиальной схемы, выполненной в CADElectro?

## ***2.2.2. Работа с базой элементов: особенности создания и применения***

### ***2.2.2.1. Виды и свойства баз данных в используемых пакетах САПР***

Любое проектирование невозможно без информационного обеспечения и системы управления информационными массивами. Например, в пакете CADElectro находится несколько баз данных:

- база данных условных графических обозначений аппаратов (библиотека УГО) – содержит изображения аппаратов, применяемые при проектировании принципиальной электрической схемы;

- база данных изображений аппаратов на компоновочных чертежах (база данных изображений) – содержит изображения аппаратов на сборочных чертежах и схемах расположения;
- база данных типов аппаратов, которая является связующим элементом баз, указанных выше, – содержит типы аппаратов, которые выбираются при проектировании принципиальной схемы;
- база данных проводов, кабелей и клемм, используемых в РТС.

Первые две базы представляют собой библиотеку блоков в формате *dwg*, используемых в соответствующем графическом документе. Две вторые базы являются текстовыми информационными массивами.

Системой управления данными базами, связывающими их воедино, является СУБД *Imbase*. Она обеспечивает целостность данных (полноту и достоверность), защиту данных от несанкционированного доступа (система паролей), распределенную обработку данных, имеет удобный пользовательский интерфейс (подобно проводнику *Windows*).

Загрузке базы данных предшествует ввод пароля (рис. 2.12). Работа с базой данных подобна работе с проводником *Windows* (рис. 2.13). Она имеет иерархическую структуру, представленную каталогами, папками, таблицами, в которых содержатся заполняемые по типу данных поля. Обычно для аппарата присутствуют следующие поля: наименование, условная запись для заказа, документ, согласно которому произведена запись (обозначение технического условия или номера каталога), данные о поставщике, содержании драгметаллов, масса, имена блоков и значения атрибутов, а также некоторые другие полезные данные, собранные в примечании.

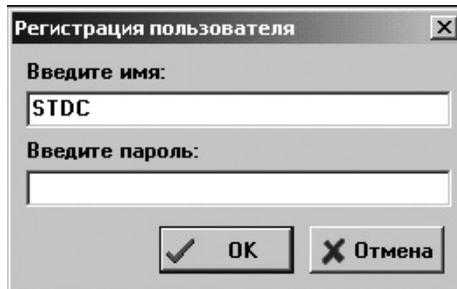


Рис. 2.12. Окно ввода пароля

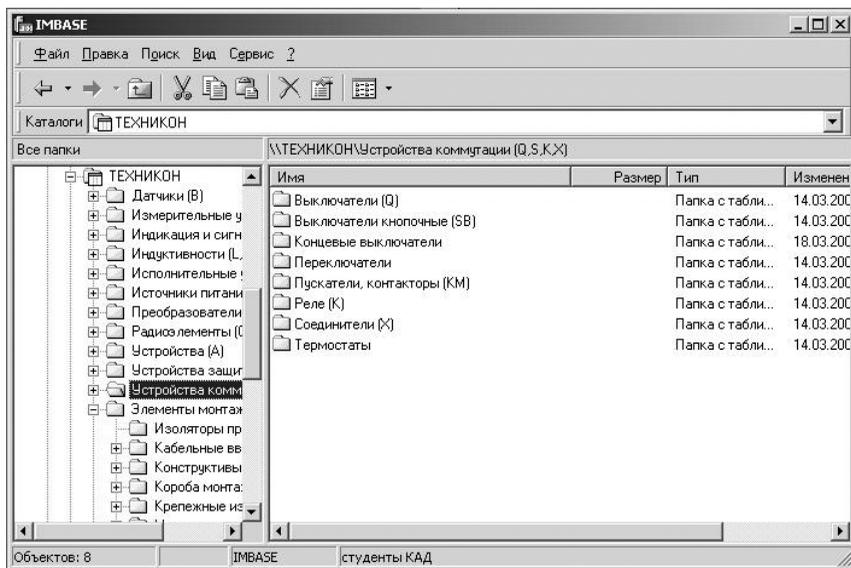


Рис. 2.13. Вид окна СУБД Imbase

Перемещаться по вложенности каталогов или папок можно нажатием на «+» (раскрывает вложенность) или «-» (сворачивает вложенность) в левой части окна, либо щелчком ЛК мыши по изображению папки, каталога и т. д. в этой же части, либо двойным щелчком ЛК мыши по изображению требуемой папки в правой части окна.

При необходимости по каждому аппарату можно просмотреть подробные сведения, приведенные в каталоге «Информэлектро» или зарубежных каталогах. Для этого нужно открыть папку или таблицу с необходимой группой аппаратов и воспользоваться кнопкой «Включить/Выключить изображение»  на панели инструментов. При этом высветится изображение и краткие сведения по аппарату (группе аппаратов) в верхней части окна (рис. 2.14).

Необходимо сказать несколько слов и об особенностях библиотеки изображений. Хотя элементы библиотеки и являются блоками, используемыми в системе графического редактора, или составными примитивами и, соответственно, подчиняются требованиям их создания, оговоренным в редакторе, они все же имеют некоторые специфические особенности по созданию графики и заданию имени.



Рис. 2.14. Вызов информации по аппарату в СУБД Imbase

Для блока УГО принципиальной электрической схемы характерно следующее:

- должна быть обеспечена кратность пяти размеров между выводами УГО аппарата;
- должны быть в наличии обязательные атрибуты: позиционное обозначение (имя POS), обозначение зажимов аппарата (имя Zn, где n – номер зажима), точка разрыва (имя Zpn, где n – номер зажима) линии связи, перекрестная ссылка (имя XREF) для аппарата, формируемого разнесенным способом;
- имя блока должно соответствовать следующему шаблону: c1\_c2\_c3\_c4, где c1 – позиционное обозначение, присваиваемое аппарату согласно ГОСТ 2.710, c2 – способ изображения на схеме, c3 – идентификационный код зажимов элемента, присутствующий и в записях базы данных аппаратов, c4 – индивидуальный код элемента, благодаря которому обеспечивается уникальность имени.

### 2.2.2.2. Блок как элемент графической базы данных пакета САПР

Наиболее часто используемыми средствами, позволяющими автоматизировать работу с графическим редактором, являются: использование блоков как стандартных элементов документов проекта,

использование графических меню как эффективного средства организации библиотек блоков, использование средств программирования для создания интеллектуальных команд и собственно программ, решающих проектные задачи.

*Блоком* является составной поименованный примитив графического редактора, представляющий элемент графической базы данных и сохраненный в формате *dwg* на диске в папке, определенной в системе. Блок может использоваться в чертеже многократно, его можно вставить в чертеж под любым углом и в любом масштабе, что позволяет сократить время на создание чертежа, упростить редактирование и сэкономить память на диске. Создав новый блок с тем же именем, что и старый, можно заменить блок во всем чертеже.

Кроме простых примитивов графического редактора в блок может входить специальный примитив, называемый *атрибутом*. Он является текстовой переменной – «ячейкой», в которую при вставке блока можно записать некоторую строку. Это позволяет, однажды создав блок, в который входит атрибут, с каждым вставленным блоком связывать новую текстовую строку (параметры отрисовки строки определяются атрибутом и едины для всех вхождений блока).

Для работы с блоками предназначены следующие команды:

- **Attdef** – создание атрибута;
- **Block** – создание блока;
- **Ddatte** – редактирование значений атрибутов конкретного блока;
- **Insert** – размещение блока в чертеже;
- **Minsert** – размещение блока в чертеже массивом;
- **Wblock** – запись блока на диск.

Необходимо заметить, что примитивы, входящие в блок, редактировать отдельно нельзя. В чертеж в действительности вставляются не примитивы, образующие блок, а сам блок, то есть определяется точка вставки, имя блока и другие свойства. При редактировании блок будет рассматриваться как один объект (например, командами **Move (Перенеси)**, **Erase (Сотри)**). Чтобы работать с отдельными примитивами блока, необходимо перенести в рисунок не сам блок, а именно примитивы из определения блока. Это можно осуществить двумя способами:

✓ разместить блок в чертеже командой **Insert (Вставить)** и затем воспользоваться командой **Explode (Взорвать)**. При этом блок

удаляется из чертежа, а на его место вставляются примитивы из определения блока;

✓ на запрос команды **Insert (Вставка)** перед именем блока нужно ввести (\*). При этом в чертеж будут вставлены примитивы из определения блока, а не сам блок.

Основные особенности, связанные с установкой свойств примитивов при определении блока, заключаются в следующем:

❖ если примитивы, из которых состоит блок, имели постоянные свойства (цвет, тип линии – не по блоку и не по слою) и при вставке в блок находились не на слое «0», то при вставке блока они будут отрисованы не на текущем слое, а на том слое, на котором были определены, и тем цветом, который они имели при записи в блок. Командой **Change (Измени)** нельзя изменить их цвет и тип линии;

❖ если примитивы, из которых состоит блок, имели переменные свойства (цвет, тип линии – по блоку или по слою) и при вставке в блок находились не на слое «0», то при вставке блока они будут отрисованы не на текущем слое, а на том слое, на котором были определены, и тем цветом, который они имели при записи в блок. Командой **Change (Измени)** можно изменить их цвет и тип линии;

❖ если примитивы, из которых состоит блок, имели переменные свойства и при вставке в блок находились на слое «0», то при вставке блока они будут отрисованы на текущем слое с цветом текущего слоя и цвет можно будет менять изменением цвета слоя или командой **Change (Измени)**.

Эти свойства определены свойствами нулевого слоя, который не может быть удален или переименован. Именно он предназначен для работы с блоками, и это необходимо помнить при создании блоков.

Последовательность создания блока как элемента графической базы данных примерно следующая:

1. В соответствии с требованиями ГОСТ уяснить требования к изображению и размерам элемента.

2. Проверить установки слоя, цвета, типа и толщины линии в списках панелей инструментов Properties (Свойства) и Layers (Слой):



Примитивы должны быть отрисованы на слое «0» (ноль) со значениями `ByLayer` для цвета, типа и толщины линии. Такое определение свойств необходимо для того, чтобы блок после вставки на схему принимал свойства текущего слоя.

Если установки не соответствуют указанным выше, их необходимо изменить, щелкая по кнопкам  соответствующих списков панелей инструментов и выбирая требуемые пункты.

3. Проверить установки параметров черчения, щелкнув ПК мыши по кнопке SNAP (ШАГ)  в строке состояния и выбрав пункт `Settings` (Параметры) из контекстного меню (рис. 2.15). При этом появится окно ***Drafting Settings (Чертежные настройки)***. В этом окне устанавливается кратность шага 1. Для лучшего чтения расстояния между элементами чертежа можно рекомендовать в этом же окне включить режим СЕТКА и установить шаг сетки кратным пяти. В процессе работы интервалом шага рекомендуется варьировать в соответствии с минимальным размером отрисовки.



Рис. 2.15. Контекстное меню

4. Собственно отрисовать примитивы графического изображения блоков аппарата командами рисования (падающее меню `Draw` (Черчение)), при необходимости исправляя изображение командами редактирования (падающее меню ***Modify (Изменить)***). В качестве примера далее демонстрируется порядок создания блока контакта реле времени (рис. 2.16).

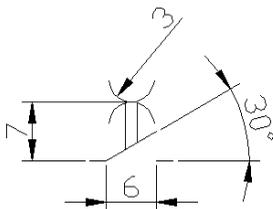


Рис. 2.16. Размеры УГО контакта реле времени

5. Создать атрибуты блока. Например, для создания атрибута задания позиционного обозначения можно воспользоваться командой **Attdef** (меню Draw\Block\Define Attributes). При этом будет загружено диалоговое окно определения атрибутов (рис. 2.17). Рассмотрим несколько подробнее назначение разделов данного окна.

В разделе Mode (Режим) имеются четыре флага свойств атрибута:

- **Invisible** (Скрытый) – значение атрибута с таким параметром на чертеже не отображается;
- **Constant** (Постоянный) – атрибут получает фиксированное значение (например, значение из поля Value раздела Attribute), которое нельзя редактировать после вставки блока в чертёж;
- **Verify** (Контролируемый) – при вставке блока проводится проверка правильности значения, если имеется предустановленное значение по умолчанию;
- **Preset** (Установленный) – атрибут автоматически получает значение по умолчанию, определенное, например, в поле Value раздела Attribute, но после вставки блока его можно изменить командой редактирования атрибутов.

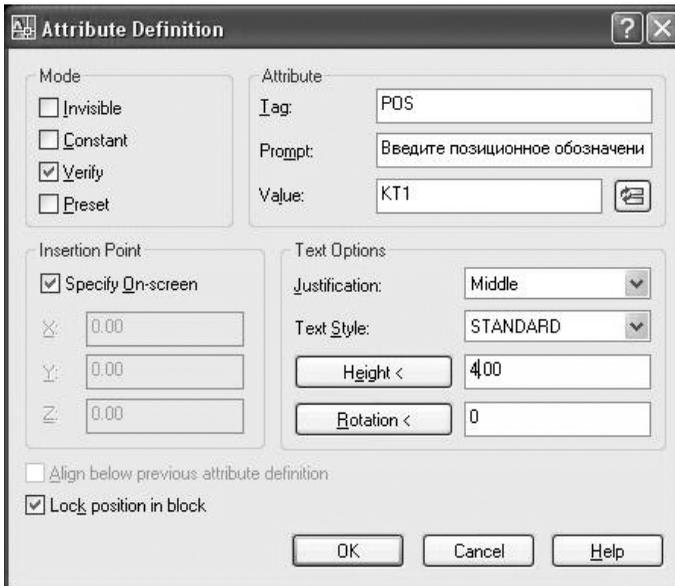


Рис. 2.17. Диалоговое окно определения атрибутов

Раздел Attribute (Атрибут) содержит четыре поля:

- Tag (Имя) – в поле заносится имя атрибута, которое используется для извлечения атрибута (не должно содержать пробелов);
- Prompt (Подсказка) – вводится текстовая расшифровка имени атрибута, которая выводится для запроса в командной строке, а также отображается в окне редактирования значений атрибутов;
- Value (Значение) – используется для указания значения, предлагаемого по умолчанию после вставки блока в чертеж.

Параметры раздела Text Options (Опции текста) используются для форматирования текста:

- Justification (Выравнивание) – из выпадающего списка можно выбрать способ выравнивания для текста значения атрибута;
- Text Style (Стиль) – из списка можно выбрать стиль текста;
- Height (Высота) – в поле можно ввести высоту текста атрибута (в миллиметрах) или считать его с экрана, щелкнув по кнопке ;
- Rotation (Поворот) – в поле можно ввести угол поворота текста атрибута (в градусах) или считать его с экрана, щелкнув по кнопке .

В разделе Insertion Point (Точка вставки) можно ввести в соответствующие строки числовые координаты точки, в которой атрибут будет привязан к блоку, или воспользоваться флагом  Specify On-screen, чтобы после выхода из диалогового окна указать точку вставки непосредственно в графической зоне.

Флаг Align below previous attribute definition (Выравнивание по предыдущему атрибуту) становится активным после определения первого атрибута и позволяет разместить следующий атрибут под предыдущим.

После того как значения во всех полях определены, нужно щелкнуть ЛК мыши по кнопке ОК. Аналогично можно создать остальные атрибуты, задав им соответствующие свойства и параметры.

6. Создать блок. Для этого необходимо воспользоваться командой **Wblock**, набранной в командной строке. При этом будет загружено диалоговое окно создания блока и сохранения его на диске (рис. 2.18).

В разделе Source (Источник) указывается источник данных, из которого будут выбираться примитивы, составляющие блок:

- Block (Блок) – позволяет выбрать из списка имя блока, вставленного в чертеж, чтобы сохранить его в отдельном файле;

- Entire drawing (Весь чертеж) – автоматически выбирает текущий рисунок для сохранения его в виде блока в отдельном файле;
- Objects (Объекты) – предоставляет пользователю возможность самостоятельно выбрать примитивы, которые должны войти в формируемый блок.



Рис. 2.18. Диалоговое окно записи блока на диск

Раздел Base Point (Базовая точка) определяет точку, по которой блок будет привязан к курсору при вставке блока в чертеж. Базовая точка блока УГО всегда должна располагаться на конце одного из выводов УГО. Для указания точки вставки можно воспользоваться одним из следующих способов:

- ввести в поля *X* и *Y* координаты базовой точки;
- щелкнуть ЛК мыши по кнопке Pick Insertion (Указать точку вставки)  для указания базовой точки на чертеже.

В разделе Objects (Объекты) можно с помощью кнопки Select Objects (Выберите объекты)  выбрать объекты, которые будут входить в блок, а также определить следующие параметры:

- Retain (Сохранить) – объекты, входящие в блок, будут сохранены на чертеже в первоначальном виде;

➤ **Convert to block** (Конвертировать в блок) – объекты, которые были выбраны, по завершении команды **Wblock**, будут преобразованы на чертеже в блок;

➤ **Delete from drawing** (Удалить из чертежа) – по завершении команды **Wblock** выбранные объекты будут удалены из чертежа. О наличии выбранных объектов символизирует строка, расположенная в данном разделе под описанными переключателями.

В разделе **Destination** (Получатель) необходимо указать расположения файла созданного блока на диске компьютера.

В поле **File name** (Имя файла) вводится имя файла для создаваемого блока.

Поле **Insert units** (Единицы вставки) – единицы измерения, в которых блок будет вставляться в чертеж.

После установки всех параметров выход из диалогового окна осуществляется с помощью кнопки **ОК**.

Так как был установлен флаг **Convert to block** (Конвертировать в блок), то в рисунке получим следующий блок (рис. 2.19).

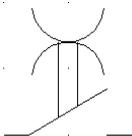


Рис. 2.19. Вид блока

7. Чтобы изображение блока УГО можно было отображать в слайдовой библиотеке, необходимо создать его слайд. Для этого нужно центрировать на весь экран изображение блока, полученное в предыдущем шаге, и набрать команду **Mslide**. В диалоговом окне сохранения необходимо ввести имя и область сохранения слайда.

8. Для более быстрой вставки блоков можно создать соответствующий инструмент на пользовательской панели инструментов, либо зарегистрировать блок в графическом меню-библиотеке (материал п. 2.2.2.3), либо добавить его вызов на палитру инструментов.

В первом случае (при создании инструмента на панели инструментов) можно воспользоваться командой настройки меню **Cui** или щелкнуть ПК мыши в произвольном месте любой панели инструментов и в открывшемся контекстном меню выбрать пункт **Customize...** (Настроить...). При этом откроется диалоговое окно настройки (рис. 2.20).

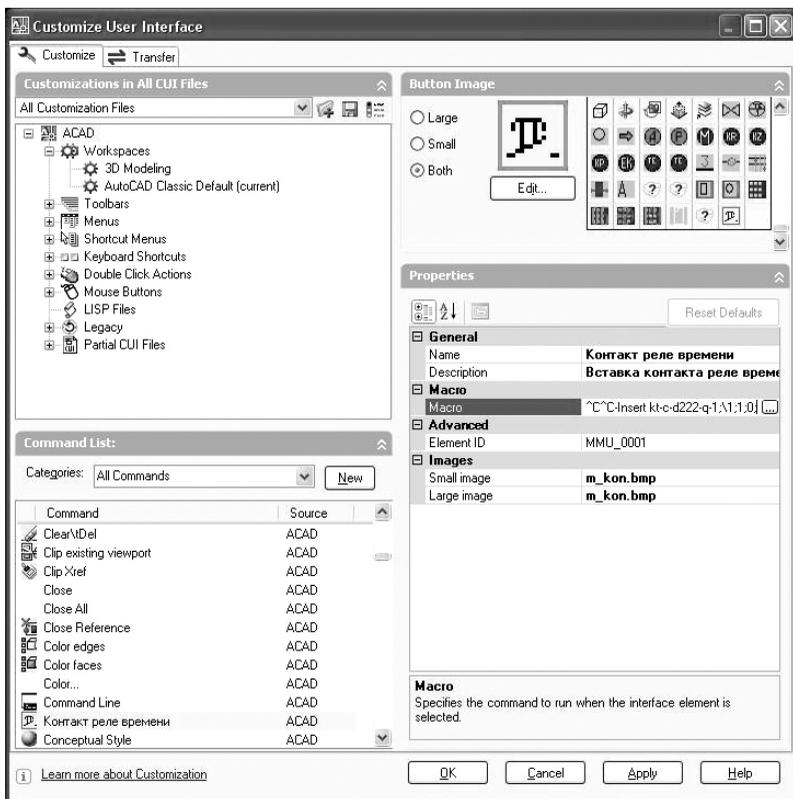


Рис. 2.20. Диалоговое окно настройки интерфейса редактора

Создать новый инструмент можно, используя клавишу New (Новый). При этом в правой части диалогового окна станет доступной область свойств инструмента Properties. В полях области свойств инструмента необходимо задать:

- имя инструмента (поле Name);
- описание (поле Description), которое будет высвечиваться в строке состояния при указании курсором на инструмент;
- команду и ее опции (поле Macro), которые будут выполняться и применяться при нажатии на кнопку «`^C^C-Insert kt-c-d222-q-1;1;1;0;`». В записи макроса знак «`->`» подавляет появление диалогового окна при вставке блока, слово «Insert» означает имя команды (вставка блока), «`kt-c-d222-q-1`» является именем блока, знаки «`;>`»

и «пробел» аналогичны вводу, «\» означает ожидание ввода параметра пользователем, «1», «1» и «0» – опции команды, обеспечивающие вставку блока в масштабе 1:1 и с углом поворота 0°.

Также необходимо задать для инструмента какое-либо изображение, выбрав его из списка в верхней правой части диалогового окна либо создав новое. Выбранное в списке можно отредактировать во встроенном редакторе, воспользовавшись клавишей Edit (Изменить).

Остается перетащить созданный инструмент на существующую панель инструментов или на вновь созданную. В первом случае необходимо открыть требуемую панель, пройдя по вложенности в левой верхней части диалогового окна, и перетащить туда инструмент из правой нижней части. Для создания новой панели можно воспользоваться контекстным меню (пункт New\Toolbar).

Далее остается нажать на кнопки Apply (Применить) и Close (Заккрыть) и опробовать созданный инструмент. Получится примерно следующая панель с инструментом:



### ***2.2.2.3. Организация графической библиотеки через центр управления***

Вставку блока через палитру инструментов особенно целесообразно организовать при наличии рисунка, имеющего большое количество блоков, которые нужно позаимствовать для собственных инструментов. Для создания своей палитры вставки блоков необходимо открыть рисунок, их содержащий, и вызвать центр управления (рис. 2.21) по пути меню TOOLS\Palettes\DesignCenter (Инструменты\Палитры\ЦентрУправления). Откроется палитра DESIGNCENTER (ЦЕНТРУПРАВЛЕНИЯ), на которой требуется перейти на закладку Open Drawings (Открытые рисунки). На этой закладке имеется вложенность, разделенная по группам для открытых рисунков (рис. 2.21). Если зайти во вложенность Blocks, щелкнув по ней ЛК мыши, в правой области появятся существующие на рисунке блоки. Чтобы вынести кнопки для их вставки на палитру инструментов, следует выделить нужные, используя клавиши Ctrl или Shift, и через контекстное меню выбрать пункт Create Tool Palette. При этом появится новая палитра инструментов, для которой будет запрашиваться имя (рис. 2.22). Для добавления блоков на палитру инструментов достаточно их перетащить из центра управления.

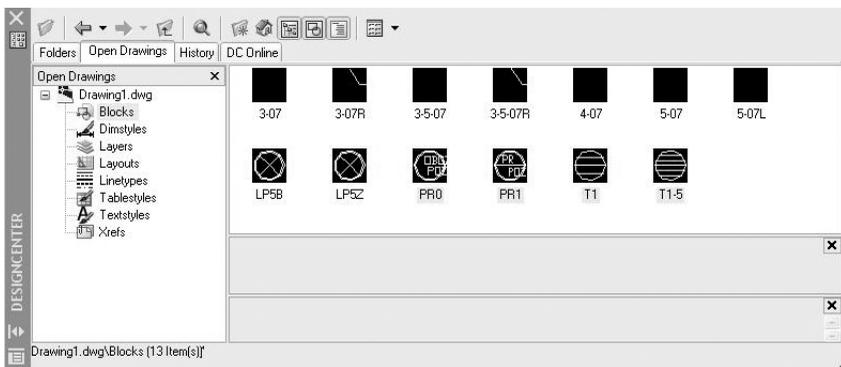


Рис. 2.21. Вид окна центра управления

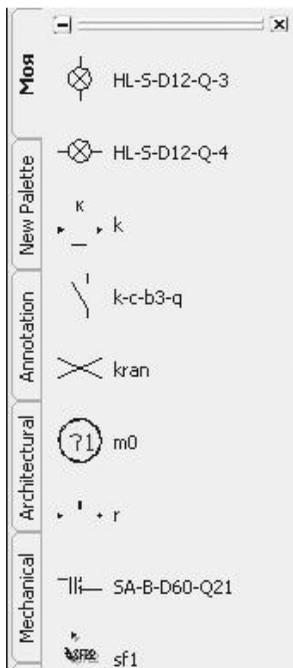


Рис. 2.22. Вновь созданная палитра

Таким образом, база элементов в системе CADElectro пополняется пользователем достаточно быстро и просто при учете специфических требований. Это делает пакет общеприменимым

на каждом проектном предприятии и, кроме того, обеспечивает формирование каждым сотрудником отдела базы в целом и дает возможность работы с ней в сети.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что такое база данных?
2. Какие требования предъявляют к СУБД?
3. Какие виды баз данных выделяют в САПР CADElectro?
4. Каким образом можно перемещаться по вложенности папок в каталогах СУБД Imbase?
5. Каким образом просмотреть подробную информацию по аппарату, приведенному в таблице СУБД Imbase?
6. Какие сведения об аппарате должны быть занесены в таблицу СУБД Imbase?
7. Каким должно быть значение кратности шага при выполнении принципиальной схемы с учетом особенностей базы условных графических обозначений аппаратов?
8. Дайте определение слайда.
9. Перечислите принципы пополнения базы данных пакета САПР.
10. Какова последовательность действий по созданию инструмента панели инструментов графического редактора?
11. Дайте определение атрибута как элемента блока.
12. Перечислите основные свойства атрибута.
13. Какая команда предназначена для создания атрибута? Что задается при создании атрибута?
14. Какая команда позволяет изменить значение атрибута? Какова последовательность действий при этом?
15. Перечислите основные команды для работы с блоками.
16. Какие преимущества дает использование блоков при разработке документации?
17. Какой слой предназначен для создания блоков? Его свойства.
18. Если примитивы при вставке в блок находились не на слое «0» и имели переменные свойства, то каким образом они будут отрисованы при вставке блока?
19. Какова последовательность действий по созданию палитры, позволяющей выполнять вставку блоков?

### 2.3. Цели, способы и средства адаптации пакета САПР к области разработки документации систем автоматизации

Одним из важных свойств САПР является возможность ее настройки любым пользователем. Средства адаптации графического редактора позволяют сделать работу с ним наиболее удобной для конкретного пользователя, то есть подстроить редактор под определенные потребности и запросы. Такие возможности дают средства создания библиотеки типовых элементов чертежей, модификации меню редактора, создания собственного меню, а также средства создания пакетных файлов и встроенные языки программирования. Кроме того, в графическом редакторе САПР CADElectro (которым является AutoCAD) поддерживаются языки высокого уровня – VBA, C++. Рассмотрим основные преимущества использования каждого из этих средств.

#### 2.3.1. Характеристика пакетных файлов

Командные пакеты создаются, чтобы редактор мог автономно, без участия пользователя, выполнять запрограммированную последовательность команд. Кроме того, они позволяют создавать циклические демонстрации, составленные из сменяющихся изображений, так называемых слайдов.

Файл командного пакета имеет расширение \*.scr и создается в любом текстовом редакторе, не ставящем специальные символы (можно использовать, например, Блокнот). В отдельной строке набирается команда и ответы на запросы команды, разделенные пробелами. В пакет можно включать и комментарии. Строка комментария должна начинаться с символа «;». Далее командный пакет нужно сохранить в формате простого текстового файла с расширением \*.scr. Примером текста такого файла может быть следующий фрагмент, формирующий изображение (рис. 2.23):

```
;командный пакет формирует окружность, вписанную в квадрат  
Line 0,0 0,1 1,1 1,0 close  
Circle .5,.5 Diameter 1.0
```



Рис. 2.23. Пример сформированного изображения

Для запуска пакета используется команда **Script (Пакет)** меню Tools (Инструменты), пункт Run Script (Пакет). При вызове команды открывается диалоговое окно Select Script File (Выбор пакетного файла), в котором нужно выбрать пакетный файл. После этого редактор аккуратно выполняет все команды из этого файла строка за строкой так, как будто они были введены пользователем в командную строку. Поэтому в пакетном файле должны быть зафиксированы все ответы пользователя на приглашения в командной строке, возникающие по ходу выполнения очередной команды.

Специальные команды, используемые в пакетных файлах:

- **Delay nnnn** – по этой команде редактор делает паузу, которая продолжается nnnn миллисекунды;
- **Rscript** – по этой команде редактор повторяет выполнение командного пакета с самого начала. То есть можно создать циклически повторяющийся пакет, остановить выполнение которого можно в любой момент, нажав на клавишу Esc;
- **Resume** – команда возобновляет выполнение командного пакета после его остановки клавишей Esc.

### *2.3.2. Организация пользовательского меню*

Модификация меню позволяет:

- ✓ группировать вместе часто используемые команды, расположенные в стандартном меню далеко друг от друга;
- ✓ исключать из меню редко используемые команды;
- ✓ формировать «новые» команды из последовательности стандартных команд;
- ✓ создавать свои графические меню-библиотеки из часто используемых графических элементов;
- ✓ при помощи встроенного языка программирования вставлять в меню программы макроопределения.

Файлы меню графического редактора представляют собой обычные текстовые файлы, содержащие командные строки и макроопределения. Исходные файлы, которые можно изменять в любом текстовом редакторе, не ставящем свои специальные символы, имеют расширение \*.mnu, скомпилированный \*.cu1. После редактирования исходного файла и последующей его загрузки он автоматически компилируется заново и создается резервная копия файла (расширение \*.mns).

Файлы меню делятся на разделы, относящиеся к определенным зонам меню. Разделы начинаются с метки **\*\*\***. Каждому разделу соответствует свой заголовок, после которого идет последовательность команд раздела меню или строки, вызывающие субменю.

Выделяют следующие разделы:

➤ **Buttons** – меню специальных многокнопочных устройств указания;

➤ **Pop** – так называемые падающие и контекстные меню;

➤ **Toolbars** – панели инструментов: связи между пиктограммами этих панелей и командами, положение панелей на экране, состояние и т. д.;

➤ **Image** – мозаичные (графические) меню;

➤ **Screen** – экранное меню;

➤ **Tablet** – планшетное меню;

➤ **Helpstrings** – текстовые сообщения, которые выводятся в строку состояния при выборе соответствующего пункта меню или пиктограммы на панели инструментов;

➤ **Accelerators** – клавиши ускоренного доступа, связанные с определенными функциями или пунктами меню.

Раздел меню может быть очень большим, в этом случае он подразделяется на *субменю* – более мелкие группы меню. Метка субменю определяет начало подраздела и имеет формат **\*\*имя\_меню [номер]**. Обращение к субменю осуществляется по следующей маске: **\$раздел=субменю**.

Каждый пункт меню может состоять из необязательного заголовка, команды (последовательности команд) и параметров (опций). *Заголовком* является набор символов, заключенных в квадратные скобки.

При выборе пункта меню графический редактор автоматически ставит после него пробел, поэтому введено соглашение: ставить в конце текстовой строки специальный символ. Специальными символами, применяющимися при формировании меню, являются:

- «;» – равнозначно нажатию на клавишу «Ввод»;
- «+» – продолжение пункта меню на следующей строке;
- «\» – управляющий символ, указывающий редактору на необходимость приостановки действия команды для ввода информации с клавиатуры;

- «\» или «/» – путь доступа к файлам;

- «\*» (в начале строки) – повторный вызов только что выполнявшейся команды;
- «^C» – равнозначно нажатию Ctrl+C;
- «[--]» – формируется разделительная черта.

Пример оформления падающего меню:

```
***POP12
**MI
ID_Mnmi [Moe]
[->Рисование]
Id_Line [&Отрезок]^C^C_Line
Id_Circlecr [<-КругЦР]^C^C_Circle\R;\
[--]
[->Редактирование]
Id_Erase [&Compu]^C^C_Erase
Id_Move [<-Перенеси]^C^C_Move
```

В этом примере:

\*\*\*POP12 – задает место размещения этого падающего меню в строке главного меню (12-я позиция, начиная с левого края);

\*\*MI – наименование меню;

ID\_Mnmi – дескриптор имени меню, который идентифицирует заголовок файла меню;

[Moe] – имя меню, которое видно на экране;

-> – головной пункт подменю;

<- – конец секции подменю.

Описание отдельных пунктов меню включает идентификатор и код команды. Символ аперсанда (&) в имени пункта выделяет символ горячей клавиши для вызова этого пункта. После имени пункта, заключенного в квадратные скобки, следует код выполняемой команды. Каждый пробел в коде команды равнозначен нажатию на клавишу «Ввод», поэтому в состав команды можно включать и выбор опций или задание параметров команды. Если в качестве параметра передается какой-либо текст, его следует заключить в двойные кавычки. Символ «\» – ожидание ввода параметров пользователем при выполнении команды. Поэтому, если нужно передать в макросе путь в структуре каталогов, в качестве разделителей используют символ «\». Идентификатор используется для организации связи между строками подсказок, помещенных в раздел Helpstrings, и отдельными пунктами меню.

При установке указателя мыши на тот или иной пункт меню текст подсказки появляется в строке состояния. Если в разделе, например, введено Id\_Line [Запуск команды **Line**], то строка, заключенная в квадратные скобки, появится в строке состояния при выборе пункта меню Отрезок.

В результате подзагрузки данного фрагмента на экране появится дополнительное падающее меню Мое (рис. 2.24).



Рис. 2.24. Вид меню

В нем содержится два пункта (Рисование и Редактирование), которые имеют собственную вложенность, обозначенную на экране символом ►.

### 2.3.3. Организация графического меню-библиотеки

Описание графического меню должно находиться в разделе меню **\*\*\*Image**. Загрузка меню выполняется по маске \$I=имя\_меню. По маске \$I=\* текущее мозаичное меню отображается на экране и становится доступным. Например, по строке «ID\_БазаПС [БазаПС]^C^C\$I=Blokі \$I=\*» загружается графическое меню Blokі.

Рассмотрим коды для создания графического меню.

**\*\*\*Image**

**\*\*Blokі**

[Вставка блоков принципиальных схем]

[Катушка]^C^C\_Insert k\1;1;0;

После объявления графического меню (**\*\*Blokі**) указывается его заголовок, который изображается в верхней части окна (рис. 2.25). Ниже располагаются строки команд со своими заголовками.

В зависимости от конструкции заголовка поле списка в окне заполняется по-разному:

[имя\_слайда] – в поле списка выводится имя слайда, который отображается в виде пиктограммы;

[имя\_слайда, заголовок] – в поле списка выводится заголовок, а слайд отображается в виде пиктограммы;

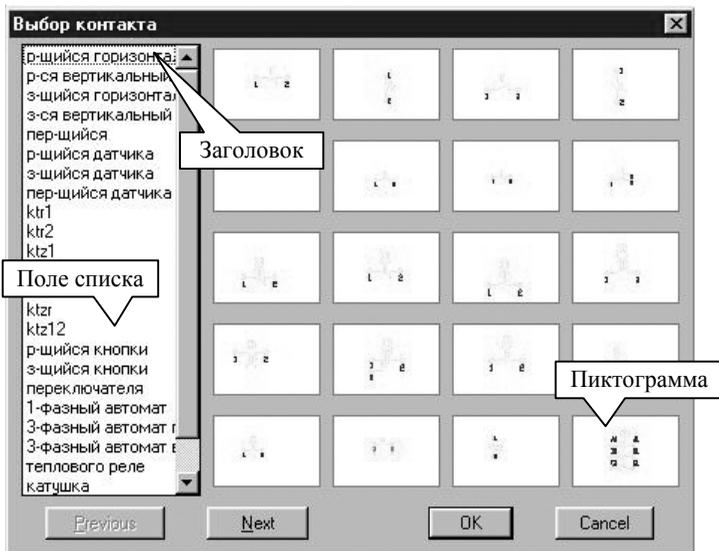


Рис. 2.25. Вид графического меню

[пустой] – заголовок используется как разделительная строка, и никакая пиктограмма не отображается;

[заголовок] – в поле списка выводится текст заголовка, и никакая пиктограмма не отображается;

[библиотека (имя\_слайда)] – в поле списка выводится имя слайда из библиотеки, который отображается в виде пиктограммы;

[библиотека (имя\_слайда, заголовок)] – в поле списка выводится заголовок, а слайд отображается в виде пиктограммы.

### 2.3.4. Основные возможности программирования в графическом редакторе пакета САПР

Все или почти все, что выполняется в графическом редакторе вручную, можно реализовать программно. Для серьезной адаптации графического редактора AutoCAD предназначен встроенный язык программирования AutoLISP, который является действенным инструментом создания автоматизированных рабочих мест. Действительно, в систему автоматического проектирования AutoCAD превращает не только его открытая структура, дающая возможность дополнять стандартные средства, но и то, что система поддерживает языки программирования высокого уровня: VBA, C++ и др.

### **2.3.4.1. Встроенный язык программирования AutoLISP**

Будучи частью редактора, встроенный язык программирования AutoLISP позволяет оперировать переменными различных типов и передавать их значения командам редактора при вводе данных. При ответах на запросы команд редактора можно также использовать выражения AutoLISP, в которых могут выполняться различные арифметические и условные операции над числовыми значениями и значениями определенных переменных. Кроме того, AutoLISP позволяет:

- читать и писать внешние файлы, таким образом обмениваясь с внешними программами;
- создавать различные функции и новые команды;
- осуществлять программный доступ (считывание и изменение) к данным, относящимся к объектам рисунка, а также к таблицам редактора, в которых хранится информация о блоках, слоях, видах, стилях, типах линий и т. д.;
- осуществлять программное управление графическим экраном и вводом/выводом с различных устройств.

Язык программирования AutoLISP является функциональным языком. Все вычисления, преобразования и управление программой в таких языках осуществляются с помощью встроенных функций или функций, определенных пользователем.

К AutoLISP можно обращаться с командной строки. Если первым символом в строке ввести круглую открывающую скобку, то интерпретатор командной строки перейдет в режим ввода выражения AutoLISP. Выход из этого режима осуществляется при вводе скобки, закрывающей вводимое выражение.

Основными типами данных AutoLISP являются:

- символ – запись или обозначение (имя, состоящее из букв, цифр и специальных символов);
- строковые константы – текстовые константы, заключенные в кавычки;
- действительные числа;
- целые числа;
- дескрипторы файлов – данные, в которых хранится описание открытого файла;
- «имена» примитивов графического редактора;
- встроенные и внешние функции.

Переменные любого из простых типов называют *атомами*. Набор разделенных пробелами атомов и (или) списков, заключенных в круглые скобки, называют *списком*. Список всегда начинается с открывающей скобки и заканчивается закрывающей, а элементы списка разделяются пробелами. Примером списка может быть, например, отрезок. В представлении AutoCAD он является списком двух координат: ((10 20) (40 20)).

Список, в котором первым элементом является функция, называется *выражением*. Выражение AutoLISP должно иметь вид:

(функция аргумент1 аргумент2 ... аргумент№)

Здесь *функция* – имя операции, которая должна быть выполнена. Записывать имя функции нужно сразу же после открывающей скобки без пробела. Аргументы представляют собой средство передачи значений функции. Ими могут быть переменные, константы, выражения. AutoLISP анализирует выражение слева направо, пока не встретится закрывающая или открывающая скобка. Если встречается закрывающая скобка, то AutoLISP завершает анализ выражения, выполняет функцию и передает ее значение на уровень старше или в графический редактор. Если встречается открывающая скобка, AutoLISP переходит к анализу выражения на уровень младше и, пока не завершит его, не перейдет к дальнейшему анализу выражения предыдущего уровня.

В качестве примера выражения рассмотрим представление вычисления  $(5 + 5) : 2$ .

В командной строке графического редактора для вычисления значения этого выражения нужно ввести следующее:

(/ (+ 5 5) 2)

Здесь «/» и «+» – имена функций AutoLISP; 5, 5, 2 – аргументы.

Основные свойства выражений:

- каждая открывающая круглая скобка должна сопровождаться закрывающей;
- сразу после открывающей круглой скобки должен стоять идентификатор операции, выполняемой при вычислении выражения;
- после вычисления (выполнения) каждого выражения возвращается результат. Результатом может быть нуль (nil) или результат вычисления последнего подвыражения;

- с логической точки зрения любое возвращаемое выражение либо истинно, либо ложно. Если значение вычисляется, то выражение считается истинным, если значение выражения не может быть вычислено, то оно ложно.

Основными классами функций AutoLISP являются:

*функции присвоения* – функции, присваивающие переменным заданные значения (например, setq);

*математические функции* – позволяют вычислять математические выражения (+, -, \*, /, cos и т. д.);

*логические функции* – функции, сравнивающие между собой аргументы по определенному ключу (and, not, or и т. д.);

*функции работы со строками и функции преобразования* – производят операции над строковыми переменными (например, (strcat строка1 строка2) сцепляет аргументы);

*функции ввода данных* – позволяют ввести данные с клавиатуры (например, (getpoint [точка] [текст запроса-подсказки]) предлагает пользователю ввести точку);

*функции работы со списками* – например, (list выражение1 выражение2) составляет список из аргументов;

*функции организации циклов* – например, while;

*функции ветвления* – выполняют те или иные операции по какому-либо условию (например, if);

*функция ввода команд графического редактора* – имеет вид (command аргумент1 аргумент2 ...);

*функция создания функции* – имеет вид (defun имя (аргументы/ локальные параметры) тело функции);

*специальные функции* – управляют режимами графического редактора;

*геометрические функции* – определяют построение графических примитивов;

*функции работы с файлами;*

*функции работы с диалоговыми окнами* – открытия, закрытия диалогового окна, передачи ключей функциям AutoLISP и т. д.

Примеры работы с функциями AutoLISP перечисленных классов можно найти в издании [27, с. 53–232].

В качестве примера программы на языке AutoLISP можно привести следующую функцию, обеспечивающую простановку цифр на чертеже в цикле, увеличивая число на единицу, пока пользователь не нажмет «пустой» ввод. После «;» идет комментарий.

```

;программа простановки обозначения маркировки
(defun C:Mark ( I )
;объявление функции, представляющей команду
(setq nmark (getint "\nВведите начальное обозначение марки-
ровки<I>:")
;запрос первоначального значения обозначения и присвоение его
;переменной nmark
tmark (getpoint "\nВведите точку вставки обозначения марки-
ровки цепи <32 250>:")
)
;запрос точки вставки обозначения и присвоение его переменной
;tmark
(if (eq nmark nil)(setq nmark I))
;если пользователь на запрос нажал «пустой» ввод, установить
;значение переменной по умолчанию равным I
(if (eq tmark nil)(setq tmark (list 32 250)))
;если пользователь на запрос нажал «пустой ввод», установить
;значение точки вставки по умолчанию равным (32 250)
(while (/= tmark nil)
;начало цикла, который заканчивается при условии равенства
;значения tmark nil
(command "_Insert" "3-07" tmark I I 0 nmark nmark)
;вставка блока 3-07 в точку tmark в масштабе I:I с углом поворота
;ноль и значением контролируемого атрибута nmark
(setq tmark (getpoint "\nВведите точку вставки маркировки
цепи:"))
;запрос нового значения точки вставки маркировки
nmark (+ nmark I))
;установка нового значения переменной nmark
);конец цикла
);конец функции

```

Для упрощения процесса написания и отладки программ на языке AutoLISP в систему AutoCAD введена среда Visual LISP. Войти в окно Visual LISP (рис. 2.26) можно с помощью команды **Vlisp**, которая может быть вызвана по пути меню Tools (Инструменты)\AutoLISP\Visual LISP Editor (Редактор Visual LISP).

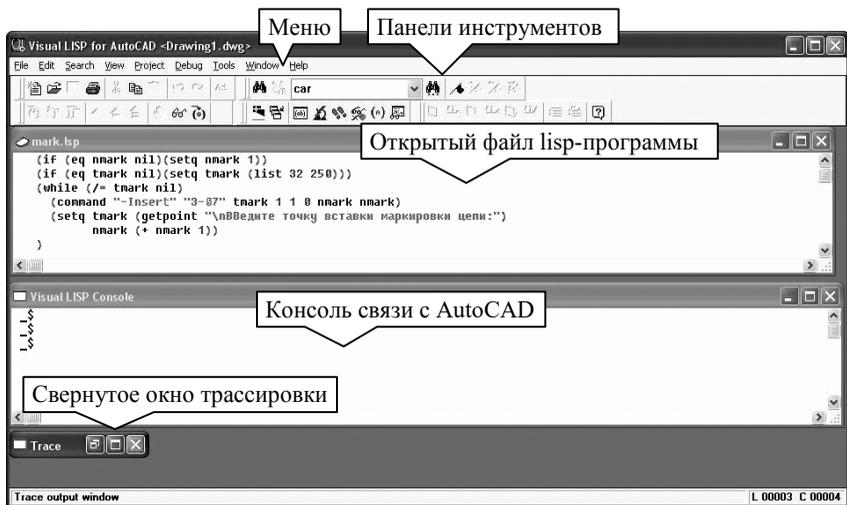


Рис. 2.26. Окно Visual LISP

Окно Visual LISP является самостоятельной оболочкой внутри системы AutoCAD со своим меню и панелями инструментов. Внутри рабочей зоны располагаются окна для открываемых файлов, окно Visual LISP Console (для связи с AutoCAD), окно трассировки для отладки программ.

В среде Visual LISP с помощью пунктов New File (Новый файл) и Open File (Открыть файл) можно создавать, открывать и редактировать текстовые файлы следующих типов:

- lisp-программы (расширение \*.lsp);
- dcl-файлы диалоговых окон (расширение \*.dcl);
- sql-файлы операций с базами данных (расширение \*.sql);
- программы на языке C++ (расширение \*.c, \*.cpp).

Включенный в состав среды текстовый редактор оказывает существенную помощь в написании файлов этих типов, поскольку уже в процессе ввода текста выполняет синтаксический анализ, выделяя символы, соответствующие скобкам, операторам, комментариям и т. д. Результаты своего синтаксического анализа редактор отображает, выделяя цветом набранный текст.

Имеется эффективное средство проверки набранных программ. Если воспользоваться пунктом Check Text in Editor (Проверка текста в редакторе) меню Tools (Сервис), то будет осуществлена синтакси-

ческая проверка текста программы активного окна. При успешной проверке в окне Build Output будет выдано сообщение:

```
[CHECKING TEXT mark.lsp loading...]
```

```
...
```

```
; Check done.
```

При наличии ошибок в том же окне будет выдан код ошибки, например:

```
; error: extra right paren on input
```

```
; Check done.
```

Можно посмотреть место ошибки через пункт Show error source контекстного меню.

Специальное окно Visual LISP Console заменяет пользователю в среде Visual LISP зону командных строк AutoCAD. С консоли можно вводить выражения AutoLISP, загружать и выполнять функции, в нее же выводятся сообщения Visual LISP и AutoCAD.

Для загрузки lisp-программы, находящейся в открытом окне текстового редактора, следует выбрать пункт Load Text in Editor (Загрузка текста в редактор) меню Tools (Сервис). Visual LISP выполнит программу и, если в ней нет ошибок, выведет результат на консоль.

Несколько lisp-программ, выполняемых совместно, можно объединить в проекты средствами Visual LISP. Каждый такой проект является самостоятельным приложением, которое может работать в исходных текстах или скомпилированных файлах с расширением \*.fas. Если в приложение необходимо включить dcl-файлы диалоговых окон или вспомогательные текстовые файлы, то следует пользоваться инструментом разработки сложных приложений (VLX-приложений). Подробнее об этом можно прочитать в издании [27, с. 256–268].

#### ***2.3.4.2. Язык создания диалоговых окон DCL***

Важным компонентом программы, вызываемой в графическом редакторе, являются диалоговые окна, в которых отображается полезная информация и в которые удобно вводить дополнительные данные. Рассмотрим, каким образом создается, например, следующее диалоговое окно ввода позиционного обозначения аппарата (рис. 2.27).



Рис. 2.27. Вид диалогового окна

Для диалоговых окон разработан специальный язык Dialog Control Language (DCL). На этом языке описание диалогового окна, представленного выше, будет выглядеть следующим образом:

```
po : dialog {
  label="Позиционное обозначение";
  :edit_box {
    label="Введите значение";
    edit_width=40;
    value="KM1";
    key="po";}
  ok_only;}
```

Данный текст сохранен в файле с расширением \*.dcl. Он состоит из логических единиц – *директив*, расположенных последовательно. Директивы могут записываться в одном из двух видов:

1) <метка>:<оператор>{<атрибуты>}

Например:

```
uz1 : edit_box {label="Введите значение";
  edit_width=40; value="KM1"; key="po";}
```

2) <метка>;

Например:

```
ok_only;
```

Здесь <метка> – это идентификатор с уникальным именем. Во втором примере метка является ссылкой на уже существующую область, заданную в стандартном файле графического редактора.

Параметр <оператор> – это либо ключевое слово определения диалогового окна, либо ключевое слово с типом поля, либо метка другой директивы, либо ключевое слово группирования полей.

Параметр <атрибуты> – это последовательность разделенных точкой с запятой операций присвоения атрибутам значений, которая имеет вид:

```
<атрибут N>=<значение N>;
```

Наиболее применимыми атрибутами являются:

- `label` – метка (строка, заключенная в кавычки, которая определяет надпись поля);

- `key` – имя (ключ) поля;

- `width` – ширина окна и др.

К основным полям диалогового окна относятся:

- `button` – поле, напоминающее обычную клавишу клавиатуры;

- `edit_box` – поле, в котором пользователь может набирать или редактировать текстовую строку;

- `list_box` – список;

- `popup_list` – раскрывающийся список;

- `image` – поле с изображением;

- `errtile` – поле для отображения сообщений об ошибках;

- `slide` – скользящая шкала;

- `toggle` – переключатель;

- `radio_button` – кнопка или группа кнопок, объединенных в ряд выбора;

- `bojed_radio_column` – ряд выбора, имеющий рамку, и др.

Признаком конца директивы (и, соответственно, разделителем между директивами) является точка с запятой или закрывающая фигурная скобка. Скобки должны быть сбалансированы (количество открывающих скобок должно быть равно количеству закрывающих). Между ключевыми словами, разделительными символами, метками, числовыми и строковыми значениями может быть любое количество пробелов. Текстовые строки должны заключаться в двойные кавычки. Все ключевые слова, метки и коды полей должны состоять только из латинских букв (верхнего и нижнего регистров), цифр и символа подчеркивания и начинаться обязательно с буквы. Управление информацией, введенной в диалоговое окно пользователем, осуществляется по ключу поля. Организация управления диалогом обеспечивается семейством функций AutoLISP [27, с. 324–330].

### ***2.3.4.3. Поддерживаемые языки программирования***

В последнее время с выходом более поздней версии базового пакета САПР стало возможным применение для программирования в графическом редакторе языков высокого уровня – C++, VBA.

Программирование с помощью VBA реализует идеологию объектно-ориентированного программирования и позволяет работать с объектами прикладной среды на языке, подобном языку обычных манипуляций. При такой технологии объектная модель работающего приложения представляется как совокупность объектов, свойств, методов и событий. Каждому объекту соответствует перечень методов (операций), которые могут к нему применяться. Например, активный документ можно закрыть, примитив можно скопировать, отразить и т. д. При формировании программы на VBA необходимо манипулировать объектами, используя присущие им свойства и методы, для программирования их реакции на то или иное событие. *Событие* – это некоторое действие, которое чувствует объект класса и на которое может отреагировать. Какова будет реакция объекта, зависит от программиста, который создает обработчик события.

Для разработки таких программ используется редактор VBA, вызов которого осуществляется по пути Tools (Инструменты)\Макро\Редактор Visual Basic. Рассмотрим пример программы на VBA, которая отключает видимости всех слоев, кроме текущего.

```
Sub Alloff ( ) ;объявление процедуры  
Dim LayerCollection as AcadLayers ;объявление переменных  
Dim testLayer as AcadLayer  
Dim currentLayer as AcadLayer  
Set LayerCollection=ThisDrawing.Layers ;ссылки на объекты  
Set testLayer=ThisDrawing.ActiveLayer ;базы данных чертежа  
Set currentLayer=ThisDrawing.ActiveLayer  
For Each testLayer in LayerCollection ;цикл просмотра членов  
If testLayer.Name<>currentLayer.Name ;коллекции Layers и  
Then testLayer.LayerOn=False ;сброс признака видимости  
End If ;всех слоев, кроме текущего  
Next  
Set LayerCollection=Nothing ;сброс определенных переменных  
Set testLayer=Nothing  
Set currentLayer=Nothing  
End Sub ;конец процедуры
```

Следует отметить, что данный язык рационально использовать для решения задач, которые невозможно организовать на встроенном языке программирования графического редактора.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Перечислите основные средства адаптации графического редактора САПР к узкоспециальной области проектирования.
2. Каково назначение пакетных файлов?
3. Приведите пример пакетного файла.
4. Что представляет собой файл меню?
5. Что обеспечивает модификация меню?
6. Какая команда предназначена для загрузки файла меню?
7. Каковы основные разделы меню?
8. Каков синтаксис пункта меню?
9. Перечислите принципы создания графического меню-библиотеки.
10. Каковы возможности AutoLISP?
11. К каким языкам относится AutoLISP?
12. Дайте определение списка, функции, выражения как элементов языка программирования AutoLISP.
13. Приведите пример использования AutoLISP для вычисления выражения, набираемого в командной строке графического редактора.
14. Как проходит анализ выражения AutoLISP интерпретатором графического редактора?
15. Каковы свойства выражения AutoLISP?
16. Перечислите классы функций AutoLISP.
17. Для чего предназначен DCL?
18. Чем оперирует DCL?
19. Какими средствами реализуется управление диалоговым окном?
20. Приведите пример описания диалогового окна.
21. В чем заключается идеология объектно-ориентированного программирования?
22. Когда рационально использовать программирование на VBA в графическом редакторе?

### 3. ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

#### 3.1. Структурные схемы систем автоматизации

##### 3.1.1. Структура систем управления. Определение. Виды представления структур. Примеры структур

При разработке проекта автоматизации необходимо решить, с каких мест те или иные участки объекта управления будут управляться, где будут размещаться пульта управления, какова взаимосвязь между ними, то есть выбрать структуру управления. *Структура* – это совокупность частей автоматизированной системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, а также пути передачи воздействия между ними. Графическим представлением структуры является структурная схема. Согласно ГОСТ 2.701 структурная схема – это схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Структурная схема предназначена для общего ознакомления с системой.

Общий вид структурной схемы системы автоматизации представлен рис. 3.1.

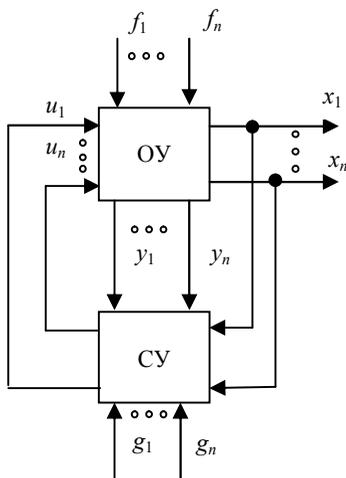


Рис. 3.1. Общий вид структурной схемы системы автоматизации:  
ОУ – объект управления; СУ – система управления

Система автоматизации состоит из двух структурных частей: объекта управления (ОУ) и системы управления (СУ). В результате взаимодействия ОУ и СУ система автоматизации в целом обеспечивает алгоритм функционирования, характеризующийся параметрами  $x_1 \dots x_n$ . Кроме этих основных параметров работа комплексного объекта автоматизации характеризуется рядом вспомогательных параметров  $y_1 \dots y_n$ , которые также должны контролироваться и регулироваться. В процессе работы на объект поступают возмущающие воздействия  $f_1 \dots f_n$ , вызывающие отклонение параметров  $x_1 \dots x_n$  от заданных значений. Информация о текущих значениях параметров поступает в систему управления и сравнивается с предписанными им значениями  $g_1 \dots g_n$ , в результате чего система управления вырабатывает управляющие воздействия  $u_1 \dots u_n$  для компенсации отклонений выходных параметров  $y_1 \dots y_n$ .

Система управления, в зависимости от важности регулируемых параметров, должна обеспечивать разные уровни автоматизации. Поэтому структура системы автоматизации следующая:

- одноуровневая централизованная (рис. 3.2) – управление объектом производится с одного пункта управления (используется для управления относительно несложными объектами или объектами, расположенными на небольшой территории);

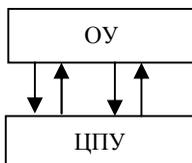


Рис. 3.2. Одноуровневая централизованная структура управления:  
ОУ – объект управления; ЦПУ – центральный пункт управления

- одноуровневая децентрализованная (рис. 3.3) – отдельными частями сложного объекта управляют из самостоятельных пунктов (используется для управления распределенными объектами);

- многоуровневая (рис. 3.4) – для управления сложными технологическими процессами. Отдельные технологические установки управляются децентрализованно с пунктов 1–5. Наиболее ответственные параметры посылают на пункты 6 и 7. Основные параметры, определяющие технологический процесс в целом, приходят на пункт 8.

Управление с пунктов 1–5 составляет первый уровень, 6 и 7 – второй уровень, 8 – третий уровень управления.

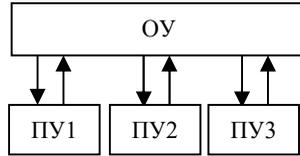


Рис. 3.3. Одноуровневая децентрализованная структура управления:  
ОУ – объект управления; ПУ – пункт управления

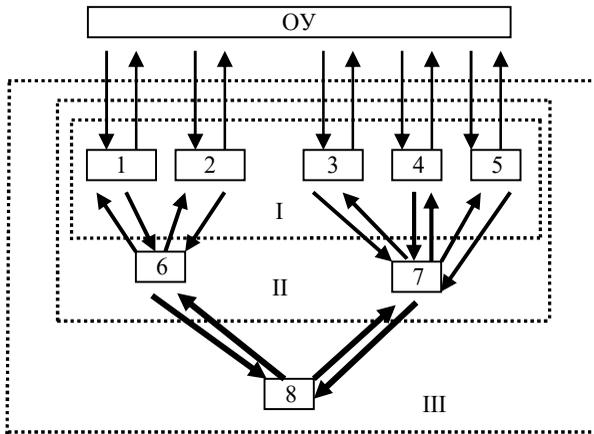


Рис. 3.4. Многоуровневая структура управления:  
ОУ – объект управления; 1–8 – пункты управления; I–III – уровни управления

В общем случае любая система может быть представлена следующими структурами:

- *конструктивной* – каждая часть системы представляет собой самостоятельное конструктивное целое;
- *функциональной* – каждая часть системы предназначена для выполнения определенной функции (полные сведения о функциональной структуре с указанием контуров регулирования даются на схеме автоматизации);
- *алгоритмической* – каждая часть системы предназначена для выполнения определенного алгоритма преобразования входной величины, являющегося частью алгоритма функционирования.

### **3.1.2. Основные требования к оформлению структурных схем. Нормативная документация. Исходные данные для разработки. Содержание схем**

Рассмотрим, каким образом оформляются конструктивные структурные схемы (рис. 3.5). Следует отметить, что для простых объектов автоматизации эти схемы могут не приводиться. Требования к данным схемам устанавливает РТМ 252.40–76 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Структурные схемы управления и контроля». Согласно этому документу конструктивные структурные схемы содержат:

- технологические подразделения объекта автоматизации;
- пункты контроля и управления, в том числе не входящие в состав разрабатываемого проекта, но имеющие связь с проектируемой системой;
- технический персонал и службы, обеспечивающие оперативное управление и нормальное функционирование технологического объекта;
- основные функции и технические средства, обеспечивающие их реализацию в каждом пункте контроля и управления;
- взаимосвязи между частями объекта автоматизации.

Элементы структурной схемы изображают в виде прямоугольников. Отдельные функциональные службы и должностных лиц допускается изображать кружком. Внутри прямоугольников раскрывается структура данного участка. Функции автоматизированной системы управления технологическим процессом указываются условными обозначениями, расшифровка которых дается в таблице над основной надписью по ширине надписи. Взаимосвязь между элементами структурной схемы изображают сплошными линиями, слияния и разветвления – линиями с изломом. Толщина линий следующая: условных изображений – 0,5 мм, линий связи – 1 мм, остальных – 0,2–0,3 мм. Размеры элементов структурных схем не регламентируются и выбираются по усмотрению разработчика. В примере (рис. 3.5) приведен фрагмент выполнения конструктивной схемы управления и контроля станции водоочистки. В нижней части раскрыты технологические подразделения объекта автоматизации. В прямоугольниках средней части раскрыты основные функции и технические средства пунктов местного управления

агрегатами. В верхней части раскрыты функции и технические средства пункта централизованного управления станцией. Продолжение схемы идет на последующих листах. Поэтому обозначены переходы линий связи на последующие листы и показан обрыв прямоугольника, раскрывающего структуру объекта автоматизации.

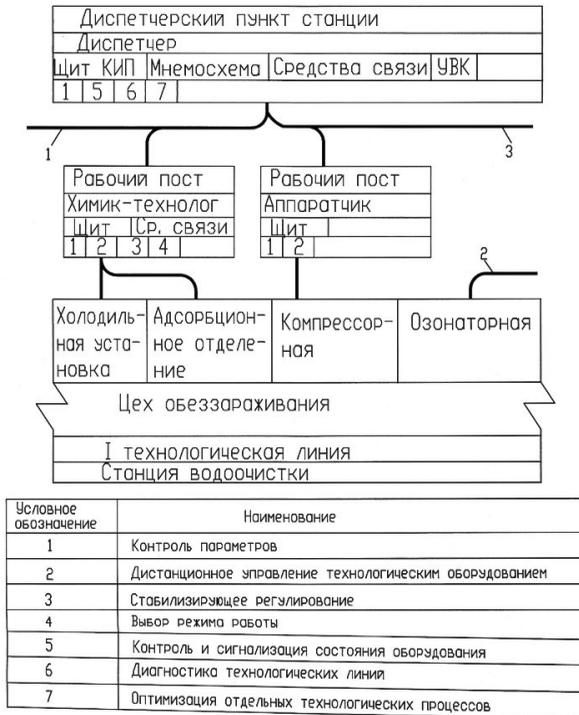


Рис. 3.5. Структурная схема управления отделением озonoобработки питьевой воды

На линиях связи между отдельными элементами системы управления может быть указано направление передаваемой информации или управляющих воздействий; при необходимости линии связи могут быть помечены буквенными обозначениями вида связи, например: К – контроль, С – сигнализация, ДУ – дистанционное управление, АР – автоматическое регулирование, ДС – диспетчерская связь, ПГС – производственная телефонная (громкоговорящая) связь и т. п.

## ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что понимают под структурой систем управления?
2. Охарактеризуйте параметры на обобщенной структурной схеме системы автоматизации.
3. Охарактеризуйте уровни структуры систем автоматизации.
4. Охарактеризуйте виды представления структуры.
5. Каково содержание конструктивных структурных схем?
6. Каковы основные требования к оформлению конструктивных структурных схем?

## **3.2. Разработка схем автоматизации**

### ***3.2.1. Требования к оформлению схем автоматизации***

Схема автоматизации относится к структурным функциональным схемам. Это основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления технологическим процессом и регулирования его параметров и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (определяющий структуру и функциональные связи между технологическим процессом и средствами автоматизации).

Согласно ГОСТ 21.408–2013 [11] на схеме автоматизации изображают:

- 1) технологическое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздуховоды) автоматизируемого объекта;
- 2) ТСА или контуры контроля, регулирования и управления (контур – совокупность отдельных функционально связанных приборов, выполняющих определенную задачу по контролю, регулированию, сигнализации, управлению и т. д.);
- 3) линии связи между отдельными ТСА или контурами (при необходимости).

Также при необходимости на поле чертежа даются пояснения и таблица условных обозначений, не предусмотренных действующими стандартами.

Схемы автоматизации выполняют двумя способами:

- развернутым (рис. 3.6), при котором на схеме изображают состав и место расположения ТСА каждого контура контроля и управления;

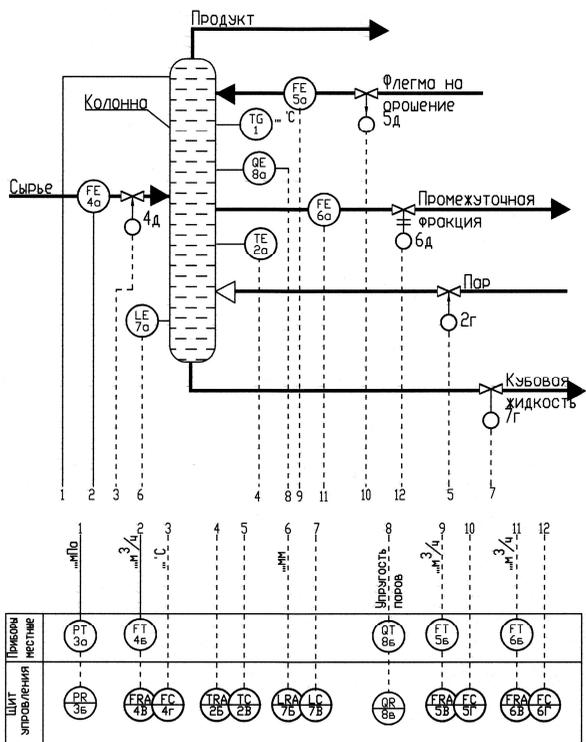


Рис. 3.6. Пример выполнения схемы автоматизации развернутым способом

– упрощенным (рис. 3.7), при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных ТСА и указания места расположения).

В последнем случае контур независимо от количества входящих в него элементов изображают в виде окружности (прямоугольника), разделенного горизонтальной чертой. В верхнюю часть окружности записывают буквенное обозначение, определяющее измеряемый (регулируемый) параметр и функции, выполняемые данным контуром, в нижнюю – номер контура. На схеме для контуров САР изображают, кроме того, исполнительные механизмы, регулирующие органы и линию связи, соединяющую контур с исполнительным механизмом. Предельные рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин указывают рядом с графическими обозначениями контуров.

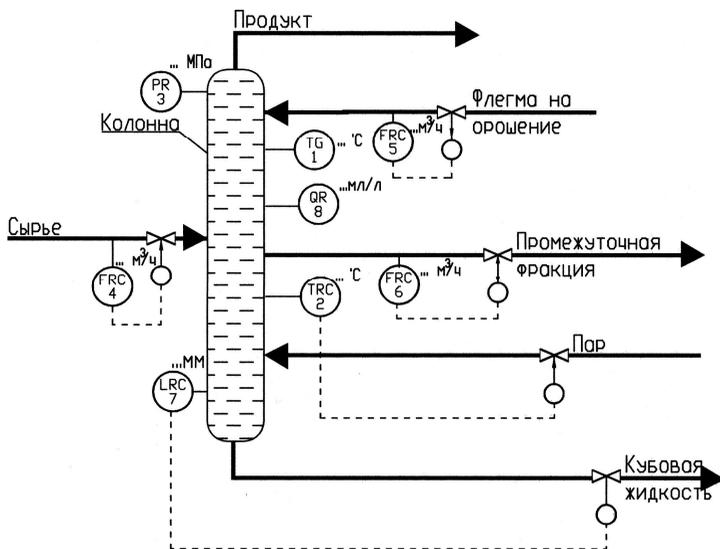


Рис. 3.7. Пример выполнения схемы автоматизации упрощенным способом

Сложные технические средства рекомендуется расчленять на отдельные технологические узлы и выполнять схемы этих узлов в виде отдельных чертежей на нескольких листах или на одном. При расположении схемы автоматизации на нескольких листах на концах линий, переходящих с одного листа схемы на другой лист, указывают наименования этих линий или присвоенные им обозначения схемы, где показано продолжение этих линий. Такие пояснения дают на каждом из взаимосвязанных листов или схем.

**Технологическое оборудование и коммуникации** изображаются, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения, но технологическая схема должна давать ясное представление о принципе работы и взаимодействии со средствами автоматизации. Кроме того, технологическое оборудование изображают с учетом требований следующих стандартов: ГОСТ 2.780–96 [28], ГОСТ 2.782–96 [29], ГОСТ 2.788–74 [30], ГОСТ 2.789–74 [31], ГОСТ 2.790–74 [32], ГОСТ 2.791–74 [33], ГОСТ 2.792–74 [34], ГОСТ 2.793–79 [35], ГОСТ 2.794–79 [36], ГОСТ 2.795–80 [37].

На технологических трубопроводах показывают регулируемую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом. Технологические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показывают только в тех случаях, когда они механически соединяются или взаимодействуют со средствами автоматизации. Некоторые элементы технологического оборудования допускается изображать на схеме автоматизации в виде прямоугольников с указанием наименования этих элементов или не показывать вообще (когда они не оснащаются ТСА и не влияют на работу системы автоматизации).

Технологическое оборудование изображают сплошной тонкой линией (0,2–0,5 мм) по ГОСТ 2.303–68 [38]. Необходимые виды, разрезы и сечения технологического оборудования даются по ГОСТ 2.305–2008 [39], ГОСТ 2.306–68 [40].

Условное обозначение трубопровода состоит из графического упрощенного изображения (ГОСТ 2.784–96 [41]) и обозначения транспортируемой среды согласно ГОСТ 14202–69 [42], прилож. 3, выдержки из которого даны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Условные обозначения трубопроводов в зависимости от транспортируемой среды по ГОСТ 14202–69

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
1	Вода	2	Пар
1.1	Питьевая	2.1	Низкого давления (до 2 кгс/см <sup>2</sup> )
1.2	Техническая	2.2	Насыщенный
1.3	Горячая (водоснабжение)	2.3	Перегретый
1.4	Горячая (отопление)	2.4	Отопление
1.5	Питательная	2.5	Влажный (соковый)
1.6	Резерв	2.6	Отборный
1.7	Резерв	2.7	Резерв
1.8	Конденсат	2.8	Вакуумный
1.9	Прочие виды воды	2.9	Прочие виды пара
1.0	Отработанная, сточная	2.0	Отработанный

Продолжение таблицы 3.1

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
3	Воздух	4	Газы горючие
3.1	Атмосферный	4.1	Светильный
3.2	Кондиционированный	4.2	Генераторный
3.3	Циркуляционный	4.3	Ацетилен
3.4	Горячий	4.4	Аммиак
3.5	Сжатый	4.5	Водород и газы, его содержащие
3.6	Пневмотранспорта	4.6	Углеводороды и их производные
3.7	Кислород	4.7	Оксись углерода и газы, ее содержащие
3.8	Вакуум	4.8	Резерв
3.9	Прочие виды воздуха	4.9	Прочие виды горючих газов
3.0	Отработанный	4.0	Отработанные горючие газы
5	Газы негорючие	6	Кислоты
5.1	Азот и газы, его содержащие	6.1	Серная
5.2	Резерв	6.2	Соляная
5.3	Хлор и газы, его содержащие	6.3	Азотная
5.4	Углекислый газ и газы, его содержащие	6.4	Резерв
5.5	Инертные газы	6.5	Неорганические кислоты и их растворы
5.6	Сернистый газ и газы, его содержащие	6.6	Органические кислоты и их растворы
5.7	Резерв	6.7	Растворы кислых солей
5.8	Резерв	6.8	Резерв
5.9	Прочие виды негорючих газов	6.9	Прочие жидкости кислотной реакции
5.0	Отработанные негорючие газы	6.0	Отработанные кислоты и кислые стоки (при pH < 6,5)

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
7	Щелочи	8	Жидкости горючие
7.1	Натриевые	8.1	Жидкости категории А ( $t_{в.п} < 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
7.2	Калийные	8.2	Жидкости категории Б ( $t_{в.п} < 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
7.3	Известковые	8.3	Жидкости категории В ( $t_{в.п} > 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
7.4	Известковая вода	8.4	Смазочные масла
7.5	Неорганические щелочи и их растворы	8.5	Прочие органические горючие жидкости
7.6	Органические щелочи и их растворы	8.6	Взрывоопасные жидкости
7.7	Резерв	8.7	Резерв
7.8	Резерв	8.8	Резерв
7.9	Прочие жидкости щелочной реакции	8.9	Прочие горючие жидкости
7.0	Отработанные щелочи и щелочные стоки ( $\text{pH} > 8,5$ )	8.0	Горючие стоки
9	Жидкости негорючие	0	Прочие вещества
9.1	Жидкие пищевкусковые продукты	0.1	Порошкообразные материалы
9.2	Водные растворы (нейтральные)	0.2	Сыпучие материалы зернистые
9.3	Прочие растворы (нейтральные)	0.3	Смеси твердых материалов с воздухом
9.4	Водные суспензии	0.4	Гели
9.5	Прочие суспензии	0.5	Пульпы водяные
9.6	Эмульсии	0.6	Пульпы прочих жидкостей
9.7	Резерв	0.7	Резерв
9.8	Резерв	0.8	Резерв
9.9	Прочие негорючие жидкости	0.9	Резерв
9.0	Негорючие стоки (нейтральные)	0.0	Отработанные твердые материалы

Линия, изображающая трубопровод, является сплошной основной линией (толщина 0,5–1,5 мм по ГОСТ 2.303–68 [38]). Соединение и пересечение трубопроводов изображают:

- а)  (соединение);
- б)  (пересечение трубопроводов без соединения друг с другом).

Обозначение среды указывают в разрыве линий трубопровода через расстояние не менее 50 мм.

У изображений технологического оборудования и трубопроводов делают поясняющие надписи и указывают стрелками направления потоков на линиях трубопроводов. Трубопроводы, идущие к конечным аппаратам и устройствам, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают и делают поясняющие надписи.

Запорную нерегулирующую арматуру, используемую в системах автоматизации, изображают согласно ГОСТ 2.785–70 [43]. Примеры изображения трубопроводной арматуры приведены на рис. 3.8.

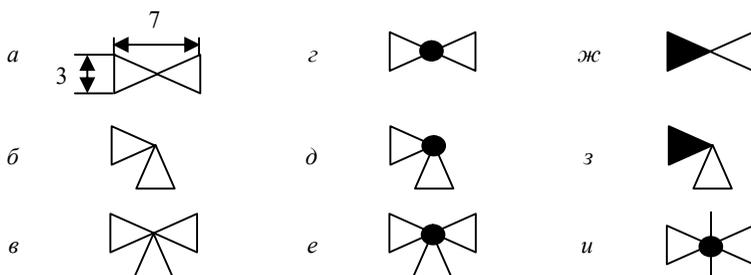


Рис. 3.8. Изображение трубопроводной арматуры:

- а – проходной вентиль; б – угловой вентиль; в – трехходовой вентиль;  
 г – проходной кран; д – угловой кран; е – трехходовой кран;  
 ж – проходной клапан; з – угловой клапан; и – задвижка

Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимают по ГОСТ 21.208–2013 [44], согласно которому устанавливаются два метода построения условных обозначений – упрощенный и развернутый.

При *упрощенном* методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции (например,

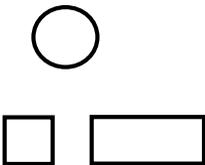
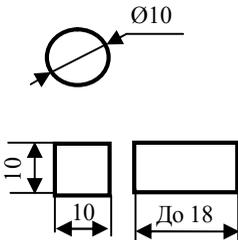
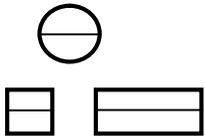
контроль, регулирование, сигнализацию) и выполненные в виде отдельных блоков, изображают одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру не изображают.

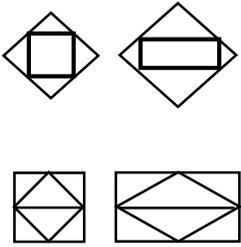
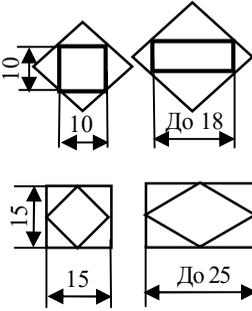
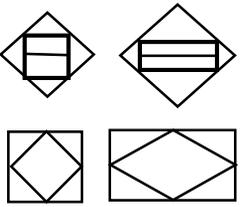
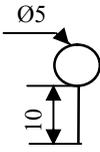
При *развернутом* методе построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением.

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают графические (табл. 3.2), буквенные (табл. 3.3) и цифровые обозначения.

Таблица 3.2

Условные графические обозначения приборов автоматики по ГОСТ 21.208–2013

Наименование	Обозначение	Размеры обозначений
1. Прибор, аппарат, устанавливаемый вне щита (по месту): а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		
2. Прибор, аппарат, устанавливаемый на щите, пульте: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		Размеры те же
3. Функциональные блоки цифровой техники (контроллер, системный блок, монитор, устройство сопряжения и др.)		Размеры по усмотрению разработчика применительно к удобству рассмотрения схемы

Наименование	Обозначение	Размеры обозначений
<p>4. Прибор, устройство ПАЗ, установленный вне щита:</p> <p>а) основное обозначение;</p> <p>б) допускаемое обозначение</p>		
<p>5. Прибор, устройство ПАЗ, установленный на щите*:</p> <p>а) основное обозначение;</p> <p>б) допускаемое обозначение</p>		<p>Размеры те же</p>
<p>6. Исполнительный механизм. Общее обозначение</p>		
<p>7. Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала:</p> <p>а) открывает регулирующий орган;</p> <p>б) закрывает регулирующий орган;</p>		<p>Размеры те же</p>

Наименование	Обозначение	Размеры обозначений
в) оставляет регулирующий орган в неизменном положении		Размеры те же
8. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом**		Размеры те же

*Примечание:* ПАЗ (система противоаварийной автоматической защиты) – система управления технологическим процессом, которая в случае выхода процесса за рамки безопасности выполняет комплекс мер по защите оборудования и персонала.

\*При размещении оборудования ПАЗ в шкафах, стойках и стativaх, предназначенных для размещения только ПАЗ, на схемах допускается не обозначать это оборудование ромбами.

\*\*Обозначение может применяться с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала.

В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение, в соответствии с табл. 3.3. В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов, преобразователей сигналов и вычислительных устройств, приведены в табл. А1 ГОСТ 21.208–2013.

При построении условных обозначений преобразователей сигналов, вычислительных устройств надписи, определяющие вид преобразователей или операции, осуществляемые вычислительным устройством, наносят справа от графического обозначения прибора.

Буквенные обозначения устройств, выполненных в виде отдельных блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят, должны начинаться с буквы *H*.

Таблица 3.3

Буквенные условные обозначения приборов автоматики по ГОСТ 21.208–2013

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>A</i>	Анализ. Величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т. п.	–	Сигнализация	–	–
<i>B</i>	Пламя, горение	–	–	–	–
<i>C</i>	+	–	–	Автоматическое регулирование, управление	–
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	–	–	Величина отклонения от заданной измеряемой величины
<i>E</i>	Напряжение	–	Чувствительный элемент	–	–
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
<i>G</i>	+	–	Первичный показывающий прибор	–	–

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6
<i>H</i>	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
<i>I</i>	Ток	–	Вторичный показывающий прибор	–	–
<i>J</i>	Мощность	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
<i>K</i>	Время, временная программа	–	–	Станция управления	–
<i>L</i>	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	+	–	–	–	Величина или среднее положение (между верхним <i>H</i> и средним <i>L</i> )
<i>N</i>	+	–	–	–	–
<i>O</i>	+	–	–	–	–
<i>P</i>	Давление, вакуум	–	–	–	–
<i>Q</i>	Количество	Интегрирование, суммирование по времени	–	+	–
<i>R</i>	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
<i>S</i>	Скорость, частота	Самосрабатывающее устройство безопасности	–	Включение, отключение, переключение, блокировка	–

1	2	3	4	5	6
<i>T</i>	Температура	–	–	Преобразование	–
<i>U</i>	Несколько разнородных измеряемых величин	–	–	–	–
<i>V</i>	Вибрация	–	+	–	–
<i>W</i>	Вес, сила, масса	–	–	–	–
<i>X</i>	Нерекомендуемая резервная буква	–	Вспомогательные компьютерные устройства	–	–
<i>Y</i>	Событие, состояние	–	–	Вспомогательное вычислительное устройство	–
<i>Z</i>	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ	–	+	–

*Примечание:* буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «–» не используются.

Первая буква *Y* показывает состояние или событие, которое определяет реакцию устройства.

Символ *S* применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемых величин *F*, *P*, *T* и указывает на самосрабатывающие устройства безопасности – предохранительный или отсечной клапан, термореле. Символ *S* не должен использоваться для обозначения устройств, входящих в систему инструментальной безопасности – ПАЗ.

Символ *Z* применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины для устройств системы инструментальной безопасности – ПАЗ.

Порядок расположения буквенных обозначений принимают в соответствии с рис. 3.9.

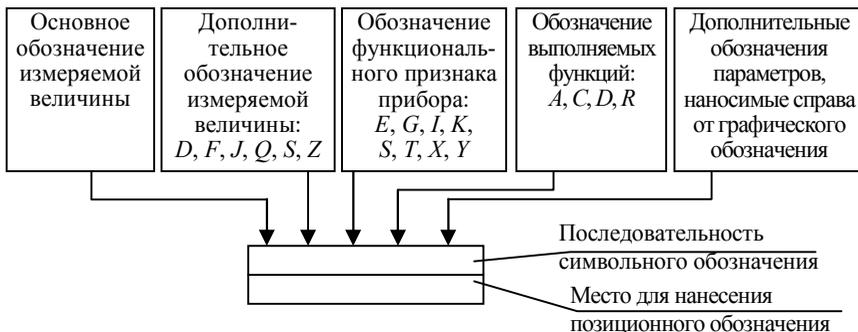


Рис. 3.9. Принцип построения условного обозначения прибора

При построении буквенных обозначений указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используют в данной схеме.

Букву *A* применяют для обозначения функции «сигнализация» независимо от того, вынесена ли сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор.

Букву *E* применяют для обозначения чувствительного элемента, выполняющего функцию первичного преобразования: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, сужающие устройства расходомеров и т. п.

Букву *S* применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки.

Букву *T* применяют для обозначения первичного бесшкального прибора с дистанционной передачей сигнала.

Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляется, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается конкретизировать добавлением букв *H* и *L*. Эти буквы наносят справа от графического обозначения.

Функция *D* при объединении с функцией *A* (тревога) указывает, что измеренная переменная отклонилась от задания или другой контрольной точки больше, чем на предопределенное число.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, допускается использовать резервные буквы. Применение резервных букв должно быть расшифровано на схеме.

Цифровые (позиционные) обозначения приборов указывают в нижней части окружности или с правой стороны от нее, обозначения электрических аппаратов – справа от их условного графического обозначения.

Позиционные обозначения технических средств присваивают по спецификации оборудования и составляют из цифрового обозначения соответствующего контура и буквенного обозначения (прописными буквами русского алфавита) каждого элемента, входящего в контур (в зависимости от последовательности прохождения сигнала). Во избежание разночтений буквы «З» и «О», имеющие начертание, похожее на начертание цифр, применять не допускается.

Электроаппараты, входящие в систему автоматизации (звонки, сирены, сигнальные лампы, табло, ЭД и др.), показывают на схеме условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.722–68 [45], ГОСТ 2.732–68 [46], ГОСТ 2.741–68 [47] и присваивают им буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710–81 [48].

Для присвоения позиций комплексам в схемах каскадного или связного регулирования необходимо руководствоваться следующим правилом: если какой-либо прибор или регулятор связан с несколькими датчиками или получает дополнительные воздействия по другим параметрам, то все элементы схемы, осуществляющие дополнительные функции, необходимо отнести к той функциональной группе, на которую оказывают воздействие.

Остальные ТСА показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, расположенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваивают заголовок, соответствующий показанным в нем техническим средствам. Первым располагают прямоугольник, в котором показаны внешитовые приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком «Приборы местные», ниже – прямоугольники, в которых показаны щиты и пульты, а также комплексы технических средств.

При необходимости изображения щита на последующих листах одной схемы, прямоугольник щита не замыкается с правой стороны. В этом месте делают соответствующую надпись.

Каждая связь между ТСА, расположенными по месту и в щитах, обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь (см. табл. 3.4).

Таблица 3.4

Условные графические обозначения линий связи по ГОСТ 21.408–2013

Наименование	Обозначение
Связь с технологическим процессом, импульсная трубная линия	
Линия питания электроэнергией	~ 220 В 
Линия передачи электронного или электрического аналогового, цифрового или дискретного сигнала	
Линия передачи электронного или электрического аналогового, цифрового или дискретного сигнала искробезопасная	
Линия внутрисистемной связи (Ethernet и др.)	
Волоконно-оптическая линия связи	
Беспроводная линия связи или электромагнитные сигналы, свет, радиация, радио, звук и т. д. <i>Примечание:</i> варианты обозначения <i>а, б</i> – по выбору исполнителя	

К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов допускается подводить линии связи с любой стороны, в т. ч. сбоку и под углом. Линии связи изображаются сплошной тонкой линией. Расстояние между соседними линиями не менее 3 мм. Если необходимо указать направление передачи сигнала, на линии наносят стрелки. Допускается изображать линии связи с разрывом при большой протяженности и/или при сложном их расположении (см. рис. 3.6 и 3.7). Места разрывов линий связи нумеруют арабскими цифрами в порядке их расположения в прямоугольнике с заголовком «Приборы местные».

Допускается пересечение линий связи с изображениями технологического оборудования. Пересечение линий связи с обозначениями приборов не допускается.

На линии связи указывают предельные (max и min) рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин по ТР 2007/003/ВУ [49] или в единицах шкалы выбираемого прибора. Для обозначения разрежения ставят «←» (минус). Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование и не имеющих линий связи, эти значения указывают рядом с обозначением приборов.

### ***3.2.2. Пример выполнения схем автоматизации***

В качестве примера взят процесс сушки зерновых в колонковой сушилке. Технологическими требованиями к процессу сушки являются: обеспечение влажности зерновых на выходе из сушилки – 14 %, обеспечение требуемого режима сушки, определяемого допустимой температурой нагрева зерновых (зависит от типа и вида культуры) и времени их пребывания в зоне сушки.

Определение необходимого объема датчиков, вторичных приборов, исполнительных устройств осуществляется на основе детального анализа работы технологического оборудования, выявления алгоритма управления оборудованием. При этом решаются следующие вопросы:

- выявление режимов работы оборудования и допустимых переходов между ними;
- установление технологических параметров, подлежащих автоматическому управлению, регулированию, контролю, сигнализации, уточнение пределов их измерения с целью последующего отбора ТСА, реализующих данные функции;

- определение количества необходимых автоматических защит и блокировок;
- выбор ТСА, наиболее полно отвечающих предъявленным требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта;
- размещение приборов и аппаратуры на щитах или по месту, определение способов представления требуемой информации о ходе технологического процесса.

Определим ТСА для выбранной зерносушилки. Исходя из технологических требований, в процессе сушки зерновых нужно обеспечить необходимую влажность на выходе из сушилки (соответственно, требуется ее контролировать, поэтому следует предусмотреть датчик влажности зерна, отбираемого, например, для контроля в подсушильном бункере), но также важно не допустить перегрева зерна, что требует контроля его температуры в камерах сушки и нагрева. Кроме того, для стабилизации температуры теплоносителя, подаваемого в камеру сушки и нагрева, тоже следует предусмотреть датчики температуры. Так как в целях экономии тепла предполагается использовать отработанный агент сушки повторно, но только если его влажность не слишком велика, то необходим датчик влажности отработанного теплоносителя. Для последнего требуется дополнительно установить воздушный клапан (с электрифицированным приводом), который будет изменять направление агента сушки: выброс наружу либо повторное использование. В остальном состав приводов остается таким, как предусмотрено конструкцией сушилки. Но, чтобы не перегреть зерно, по сигналам датчиков температуры следует устанавливать скорость выгрузки, поэтому для двигателей выпускных устройств и выгрузного шнека должно быть предусмотрено регулирование частоты вращения с помощью преобразователей частоты.

В качестве устройства управления предусмотрен контроллер, к которому подключается панель оператора (ПО). Использование контроллера позволит обеспечить требуемый режим сушки в зависимости от типа и вида зерна, так как будет варьироваться температура нагрева зерна и температура теплоносителя. ПО позволит оперативно отслеживать ход процесса, кроме того, с ее помощью можно предусмотреть задание оператором типа и вида зерновой культуры, в соответствии с которыми должны быть обеспечены оптимальные режимы сушки. Контроллер, получая сигналы от датчиков, по заданной программе управляет исполнительными механизмами через выходные сигналы.

Таким образом, САУ процессом сушки должна обеспечивать:

- поточную работу оборудования сушилки при условии успешного запуска топки;
- поддержание режимов сушки в зависимости от исходной и конечной влажности зерна, его вида и типа;
- повторное использование теплоносителя при условии, что его влажность меньше допустимой для использования.
- контроль технологических параметров.

Итак, покажем объем автоматизации технологического процесса на схеме автоматизации (рис. 3.10). На этапе разработки будем пользоваться понятием типа датчика без учета его типоразмера и технических характеристик.

Зерно после первичной очистки поступает в норию сырого зерна (с электродвигателем М3). При больших объемах поступающего зерна используется дополнительная нория загрузки (М4) с завальной ямой. Из нории зерно поступает в приемный бункер сушилки и распределяется по двум колонкам. Для контроля верхнего и нижнего уровня в бункере сушилки используем датчики уровня LS. В нижней зоне колонок выгрузное устройство (М7) подает зерно в нижний бункер, откуда шнеком (М6) выгружает его в зависимости от влажности (МЕ2) через перекидной клапан (М12) на выгрузку через норию сухого зерна (при влажности менее 14 %) либо на повторную сушку (при влажности более 14 %).

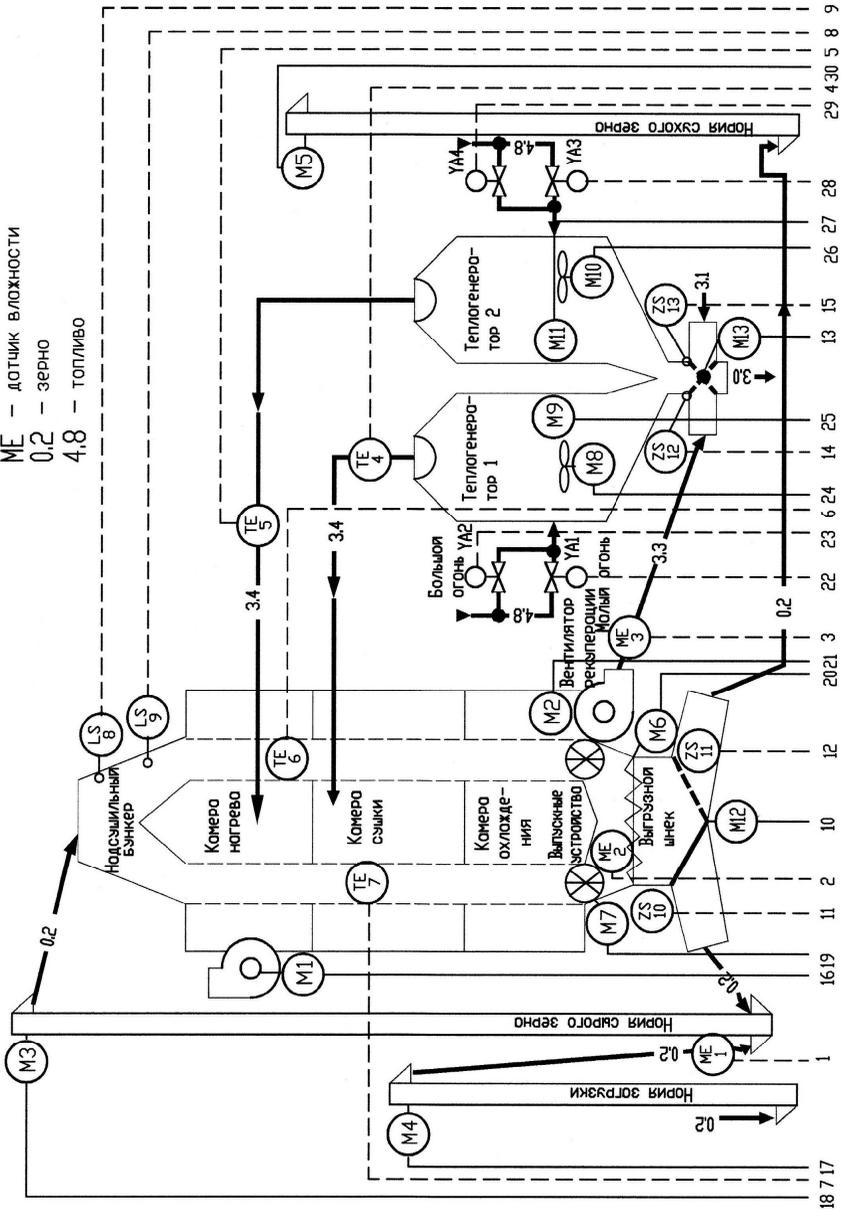
В начальный период сушки зерно пропускают на повторную сушку через перекидной клапан (М12). При стабилизации режима сушки до кондиционной влажности клапан устанавливается на выгрузку зерна из сушилки.

В камеру нагрева поступает теплоноситель от теплогенератора 2. Пройдя через слой зерна, теплоноситель отдает тепло, насыщается влагой и выбрасывается наружу вентилятором (М1).

В камере сушки зерно имеет меньшую влажность, чем в зоне нагрева, и подвергается большей температуре теплоносителя, который, пронизывая зерно, насыщается влагой в меньшей степени.

Вентилятор рекуперации (М2) подает воздушные потоки из камер сушки и охлаждения к распределителю (М13), который в зависимости от влажности отработанного теплоносителя (МЕ3) устанавливает распределитель на выброс теплоносителя или на его повторное использование.

ME — датчик влажности  
 0,2 — зерно  
 4,8 — топливо





В теплогенераторах воздух подогревается в теплообменнике. Сгорание топлива происходит в камере сгорания. Продукты сгорания не смешиваются с теплоносителем и выбрасываются наружу. Для контроля температуры теплоносителя используют термометры сопротивления ТЕ4 и ТЕ5.

Контроллер должен изменять пропускную способность сушилки в зависимости от исходной и конечной влажности зерна. Температура и подача теплоносителя регулируется автоматически отдельно для каждой камеры в зависимости от температуры нагрева зерна (ТЕ6 и ТЕ7). При влажности сырого зерна менее 22 %, измеряемой влагомером МЕ1, механизм М13 переключает потоки теплоносителя на рекуперацию. При отклонении от нормы температуры (ТЕ6 и ТЕ7) или влажности зерна на выходе (МЕ2) контроллер выдает команду выпускным устройствам (М6 и М7) увеличить или уменьшить скорость перемещения зерна по колонкам (преобразователь частоты SC) и/или изменить режим работы соответствующего теплогенератора (перейти с «большого» (клапаны YA2 и YA4) на «малый огонь» (клапаны YA1 и YA3) и наоборот).

### ***3.2.3. Особенности выполнения схем автоматизации в САПР***

Разработка схемы автоматизации в САПР характеризуется малой степенью автоматизации и большим количеством ручных операций. Данный документ содержит технологическую схему и раскрывает объем автоматизации технологического процесса или установки. Большое многообразие технологических процессов мешает формализовать разработку подобного документа. А определение объема автоматизации тем более является процессом творческим. Поэтому выпуск данного документа в САПР характеризуется наименьшей степенью автоматизации. Тем не менее повторяющиеся элементы схем могут быть собраны в библиотеку графических элементов, что несколько сэкономит время на разработку документа. С этой целью могут успешно применяться как коммерческие пакеты САПР («Компас», фирма «Аскон») с соответствующей базой данных, так и общеприменимый пакет AutoCAD с разработанной пользователем графической библиотекой и настроенным шаблоном.

Для работы со схемой автоматизации в AutoCAD можно рекомендовать использовать шаблон (в диалоговом окне начала работы – кнопка Use a Template), в котором заданы приемлемые установки режимов рисования и выполнены первоначальные построения:

рамка, основная надпись, заготовка для отображения основных ТСА. Поскольку изображение технологического оборудования на схеме автоматизации повторяет таковое на технологической схеме, можно использовать в качестве шаблона и существующую технологическую схему (если имеется в наличии). Кроме того, наиболее рационально создать графическую библиотеку типовых технологических процессов (см. материал п. 2.2.2) и воспользоваться ею на первоначальном этапе создания схемы автоматизации.

Элементы схемы автоматизации с точки зрения автоматизации проектирования подразделяются на четыре группы:

- первая – нетиповые элементы, например контур картофелехранилища, моечной машины, линии трубопроводов, связи и т. п., которые приходится отрисовывать полностью «вручную» с помощью команд рисования;

- вторая – типовые элементы технологического оборудования, например вентилятор, задвижка и т. д., которые могут являться блоками без атрибутов;

- третья – типовые элементы самой схемы автоматизации – датчик, регулятор и т. п., которые могут являться блоками с атрибутами (их организацию целесообразно осуществлять через графическое меню-библиотеку);

- четвертая – элементы самой схемы автоматизации, отрисовку которых можно автоматизировать с помощью пользовательской программы, написанной на встроенном языке программирования, например оформление разрывов линии связи (программа «Маркировка»).

Максимально быстрого формирования схемы автоматизации можно добиться сочетанием нескольких средств автоматизации работ в графическом редакторе: использованием шаблонов (рациональная организация начала работы); использованием графических меню (организация графической базы данных); использованием макроопределений и программ в меню (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Организация меню, вызывающего графическую библиотеку

## ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. К какому виду представления структуры можно отнести схему автоматизации?
2. Каково содержание схемы автоматизации?
3. Охарактеризуйте способы выполнения схемы автоматизации.
4. Каковы требования к выполнению технологического оборудования на схеме автоматизации?
5. Каковы требования к выполнению приборов и других ТСА на схеме автоматизации? Каковы особенности их выполнения в САПР?
6. Каковы требования к выполнению линий связи на схеме автоматизации?
7. Какие пакеты САПР можно использовать при разработке схем автоматизации?
8. Какова степень автоматизации разработки схемы автоматизации?

### **3.3. Проектирование устройств питания систем автоматизации**

#### ***3.3.1. Требования к системам питания систем автоматизации***

Система питания систем автоматизации должна обеспечивать необходимую надежность (бесперебойность) питания, соответствующее качество электроэнергии (отклонения и колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой, пульсация напряжения должны находиться в допустимом диапазоне), экономичность, удобство и безопасность обслуживания.

При разработке проектной документации систем питания рассматривают следующие вопросы:

- выбор и обоснование схем электропитания, рода тока, значения напряжения и мощности источника;
- расчет параметров сети и выбор аппаратуры управления и защиты цепей питания;
- выбор и расчет системы освещения щитов и устройств электропитания;
- выбор способа прокладки проводок;
- расчет сечений и выбор марок проводок.

Остановимся на этих вопросах более подробно.

**Выбор и обоснование схем электропитания, рода тока, значения напряжения и мощности источника**

В схемах электропитания выделяют два основных звена:

- ✓ питающая сеть (от источников питания до щитов и сборок питания);
- ✓ распределительная сеть (от щитов и сборок питания до электроприборов).

С учетом взаимного расположения щитов питания контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) и источников питания, а также в соответствии с требованиями резервирования питающие сети могут быть (рис. 3.12):

- радиальными;
- магистральными;
- радиально-магистральными;
- с одно- и двухсторонним питанием.

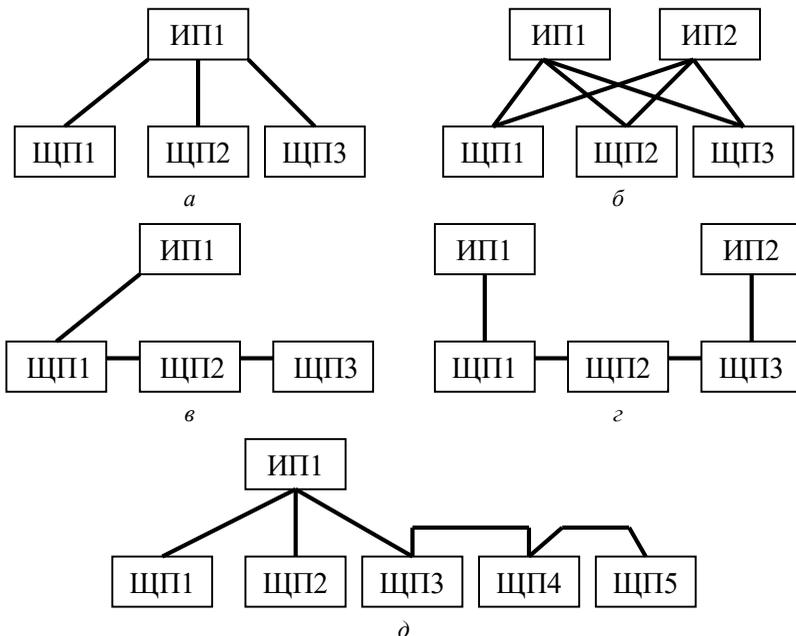


Рис. 3.12. Схемы питания:

*а* – радиальная с односторонним питанием; *б* – радиальная с двухсторонним питанием; *в* – магистральная с односторонним питанием; *г* – магистральная с двухсторонним питанием; *д* – радиально-магистральная

**Радиальные** схемы питания применяют, когда щиты питания размещаются в различных направлениях от источника питания и когда расстояние между щитами больше, чем от источника питания до щитов. **Магистральные** схемы питания применяют для питания группы щитов, если расстояние между щитами значительно меньше расстояния до источника питания. Схемы с **односторонним** питанием применяют только для щитов, допускающих перемены в электроснабжении. Как правило, распределительные сети строят по радиальному принципу.

Конфигурация питающей сети зависит от категории надежности электроснабжения объекта. Надежность схем электропитания должна обеспечивать надежность электроснабжения автоматизированного объекта в целом.

Сельскохозяйственные потребители и их электроприемники в отношении требований к надежности электроснабжения подразделяются на три категории по ТКП 385–2012 [50]:

– электроприемники категории 1 – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, технических средств противопожарной защиты по СТБ 11.0.2. Электроприемники категории 1 в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания может быть допущен лишь на время автоматического включения резервного питания. В состав электроприемников категории 1 может входить особая группа электроприемников, для электроснабжения которой должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого, взаимно резервирующего источника питания;

– электроприемники категории 2 – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов, нарушению нормальной жизнедеятельности. Электроприемники категории 2 в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустим на время, необходимое

для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады;

– электроприемники категории 3 – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения категории 1 и категории 2. Для электроприемников категории 3 электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерыв электроснабжения, необходимый для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышает 24 ч (1 сут).

Источники питания системы автоматизации должны иметь достаточную мощность и обеспечивать требуемое напряжение у электроприемников. Отклонение напряжения на шинах источника питания не должно превышать значений, при которых осуществляется нормальная работа наиболее удаленных или наиболее чувствительных к отклонению напряжения электроприемников: КИП и регулирующих устройств –  $\pm 5\%$ , аппаратов управления, электродвигателей – 5–10 %, сигнальных ламп – 2,5–5 %

Аппаратура управления и защиты должна обеспечивать:

1) включение и отключение электроприборов и участков сетей в нормальном режиме работы;

2) защиту от всех видов короткого замыкания и от перегрузки (в тех случаях, когда это требуется).

Справочные данные для выбора некоторых аппаратов защиты и коммутации приведены в прилож. 1 практикума [51, с. 158].

Порядок выбора аппаратуры управления и защиты:

### **1. Определяют расчетные параметры цепи.**

К расчетным параметрам цепи относят длительный и кратковременный ток линии [52, с. 150].

Длительный ток линии эквивалентен ожидаемому меняющемуся току по наиболее тяжелому воздействию на проводник – тепловому износу его изоляции.

Для ответвления к отдельному токоприемнику в качестве длительного расчетного тока принимают его номинальный ток.

Для группы токоприемников длительный ток определяют как

$$I_{\text{дл}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3}U}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{расч}}$  – полная расчетная мощность линии, ВА;

$U$  – напряжение линии, В.

$$\begin{aligned}
S_{\text{расч}} &= \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2} ; \\
P_{\text{расч}} &= \sum_{i=1}^{i=n} P_{\text{пот}i} ; \\
P_{\text{пот}} &= \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} k_3 ; \\
Q_{\text{расч}} &= \sum_{i=1}^{i=n} Q_{\text{расч}i} ; \\
Q_{\text{расч}i} &= \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \left[ m(1 - k_3^2) + k_3^2 \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}}}{\cos \varphi_{\text{н}}} \right] ,
\end{aligned} \tag{2}$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетная активная мощность группы токоприемников, Вт;  
 $Q_{\text{расч}}$  – расчетная реактивная мощность группы токоприемников, Вар;

$P_{\text{пот}}$  – потребляемая мощность электродвигателя, Вт;

$P_{\text{н}}$  – мощность электродвигателя, Вт;

$\eta_{\text{н}}$  – номинальный КПД;

$k_3$  – коэффициент загрузки электродвигателя;

$\cos \varphi_{\text{н}}$  – номинальный коэффициент мощности;

$m$  – коэффициент, зависящий от значения предыдущего коэффициента, определяется по диаграмме (прилож. 2 практикума [51, с. 168]).

Для ответвления к отдельному электродвигателю в качестве кратковременного расчетного тока принимают пусковой ток электродвигателя.

Для группы электродвигателей кратковременный ток определяют как

$$I_{\text{кр}} = \sqrt{I_{\text{наиб}}^2 + \left( \sum I_{\text{н}} \right)^2} , \tag{3}$$

где  $I_{\text{наиб}}$  – пусковой ток электродвигателей или группы одновременно включаемых электродвигателей, при пуске которого(ых) кратковременный ток линии достигает наибольшего значения, А;

$\sum I_{\text{н}}$  – сумма номинальных токов электродвигателей, определяемая без учета тока пускаемого электродвигателя, А.

**2. Выбирают защитные аппараты и аппаратуру управления** по следующим условиям [52, с. 68]:

– автоматические выключатели (характеристика некоторых аппаратов приведена в прилож. 1 практикума [51, с. 158]):

$$\begin{aligned}U_{\text{ном.а}} &\geq U_{\text{ном.л}}; \\I_{\text{ном.а}} &\geq I_{\text{дл}}; \\I_{\text{ном.расц}} &\geq I_{\text{дл}}; \\I_{\text{уст.эл-м.р}} &\geq 1,25I_{\text{кр}},\end{aligned}\tag{4}$$

где  $U_{\text{ном. а}}$ ,  $U_{\text{ном. л}}$  – номинальное напряжение аппарата и линии соответственно, В;

$I_{\text{ном. а}}$  – номинальный ток аппарата, А;

$I_{\text{ном. р}}$  – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{\text{уст. эл-м. р}}$  – ток уставки электромагнитного расцепителя, А;

– при выборе предохранителей принимают наибольшее значение тока плавкой вставки, рассчитанного по формулам

$$\begin{aligned}I_{\text{вст}} &\geq I_{\text{дл}}; \\I_{\text{вст}} &\geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha},\end{aligned}\tag{5}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от частоты и продолжительности пусков. Для редких пусков продолжительностью до 10 с принимают равным 2,5;

– тепловые реле применяют для защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки:

$$\begin{aligned}U_{\text{ном.а}} &\geq U_{\text{ном.л}}; \\I_{\text{ном.а}} &\geq I_{\text{дл}};\end{aligned}\tag{6}$$

– электромагнитные пускатели выполняют функции аппаратов дистанционного управления, предназначены для включения и отключения токоприемников, защиты от работы на пониженном напряжении, блокировки и реверсирования электродвигателей:

$$\begin{aligned}U_{\text{ном.а}} &\geq U_{\text{ном.л}}; \\I_{\text{ном.а}} &\geq I_{\text{дл}}.\end{aligned}\tag{7}$$

Кроме того, учитывают необходимость дополнительных контактов пускателя в цепях управления. Если не хватает собственных контактов пускателя, то на них навешивают контактные или пневмоприставки.

После этого выбирают площадь сечения проводников в соответствии с выбранными аппаратами защиты и расчетными токами линии.

По условию нагревания длительным расчетным током

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{k_{\text{п}}}, \quad (8)$$

где  $I_{\text{пр}}$  – ток проводника, А;

$k_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей [53, с. 21].

По условию соответствия сечения провода выбранному току срабатывания защитного аппарата

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 I_3}{k_{\text{п}}}, \quad (9)$$

где  $k_3$  – кратность допустимого тока проводника по отношению к его номинальному току или току срабатывания защитного аппарата [53, п. 3.1.9 и п. 3.1.11];

$I_3$  – ток срабатывания защитного аппарата, А.

По расчетному току проводника в соответствии с табл. 1.3.4–1.3.11 [53] подбирают сечение проводника. После этого проверяют, правильно ли выбраны провода и кабели по условиям механической прочности и допустимой потере напряжения.

Минимально допустимое сечение (при  $U_{\text{н}} > 60$  В): 1 мм<sup>2</sup> для медных, 2,5 мм<sup>2</sup> для алюминиевых жил.

Допустимая потеря напряжения (не более 2,5 %) находится по формуле

$$\Delta U = \frac{P_{\text{расч}} l}{cF}, \quad (10)$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетная мощность линии, кВт;

$l$  – длина линии, м;

$c$  – коэффициент, зависящий от напряжения, числа фаз и материала провода (для трехфазной сети и алюминиевой жилы проводника равен 46);

$F$  – сечение провода, мм<sup>2</sup>.

### **3.3.2. Требования к оформлению принципиальных электрических схем питания средств автоматизации**

Требования к проектной документации на принципиальные электрические схемы питания определяет ГОСТ 21.613–2014 [54]. Принципиальные электрические схемы питающей сети выполняют по форме 2 данного ГОСТа (рис. 3.13), схему распределительной сети от распределительных щитов до электроприемников – по форме 3 (рис. 3.14).

При разработке принципиальных схем по формам 2 и 3 руководствуются следующими правилами:

- принципиальную схему выполняют в однолинейном изображении, при этом нулевой проводник отдельной линией не изображают;
- в трехфазных трех- и четырехпроводных сетях изображение и обозначение фаз указывают только для одно- и двухфазных линий;
- условные графические обозначения электроприемников, пусковых и защитных аппаратов на принципиальной схеме, как правило, не изображают, а указывают над линией их буквенно-цифровые обозначения, типы и технические данные;

- электроприемники, подключаемые непосредственно к питающей магистрали, показывают на принципиальных схемах питающей сети;

- в графе «Магистраль» (форма 2) указывают буквенно-цифровое обозначение магистрали, ее координаты по плану расположения электрооборудования (при необходимости), тип шинопровода и его номинальный ток (для магистралей нетипового изготовления – материал и сечение шин), напряжение;

- в графе «Распределительное устройство» (форма 3) указывают буквенно-цифровое обозначение распределительного пункта или распределительного шинопровода, его координаты по плану расположения электрооборудования (при необходимости), тип (для НКУ – обозначение габаритного чертежа общего вида), напряжение,  $P_{уст}$  и  $I_{расч}$  – для пунктов, соединенных в «цепочку»;

- в графе « $I_{расч...}$ » кроме указанных параметров (при необходимости) указывают величину потери напряжения  $\Delta U$ , %.

На принципиальных схемах не приводят:

- технические данные электрооборудования, марки, сечения и длины кабелей и проводов, обозначения и длины труб, если они поставляются комплектно с технологическим оборудованием или предусмотрены рабочей документацией нестандартизированного оборудования;

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Магистраль		Аппарат отходящей линии (ввода) обозначение		Аппарат ввода в распределительное устройство или пусковой аппарат (обозначение)		Кабель, провод				Трасса		Распределительное устройство или электроприемник				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Участок Сети 1	Участок Сети 2	Участок Сети 3	Участок Сети 4	Участок Сети 5	Участок Сети 6	Участок Сети 7	Участок Сети 8	Участок Сети 9	Участок Сети 10	Участок Сети 11	Участок Сети 12	Участок Сети 13	Участок Сети 14	Участок Сети 15	Участок Сети 16	Участок Сети 17
Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Тип, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Обозначение	Марка	Кол-во жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р <sub>заст.</sub> или Р <sub>ном.</sub> кВт	Т <sub>расч.</sub> или Т <sub>ном.</sub> Гц/сек, А	Наименование, тип, обозначение чертежа принципиальной схемы
10	10	10	10	10	10	10										
25	5	32	5	32	5	32	5	16	13	25	13	23	16	12	12	35
287																

Рис. 3.13. Форма принципиальной схемы питающей сети

Принципиальная схема распределительной сети

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (аварда): обозначение	Аппарат отходящей линии (аварда): тип	Пыщковой аппарат обозначение) тип: I, II, A; распределитель или плавкая вставка, реле, А	Часток сети I	Часток сети II	Кавель, провода				Третья		Электроприемник			
						Обозначение	Марка	Кол-во жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р. уст. или Р. ном., кВт	Расц. или тном Пыщк А	Номенвание, тип, обозначение чертено-принципиальной схемы
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
25	33	5	33	5,5	17	13	25	13	25	13	16	12	12	35	
287															

Рис. 3.14. Форма принципиальной схемы распределительной сети

- марки, сечения и длины проводов НКУ;
- марки, сечения и длины кабелей и проводов, обозначения и длины труб для электроприемников, для которых всю необходимую информацию о кабелях, проводах и трубах невозможно привести на принципиальной схеме (например, сети с разветвленными цепями управления). Эти данные помещают в кабельном или кабельнотрубном журналах.

Примеры выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сетей приведены в учебно-методическом пособии [55].

Под шапкой формы принципиальная схема выполняется в виде линий (графы 2–12).

В каждой ячейке графы «Аппарат отходящей линии (ввода)» должно быть четыре строки:

- обозначение (при отсутствии – прочерк);
- тип аппарата;
- номинальный ток аппарата  $I_{\text{ном}}$ , А;
- расцепитель или плавкая вставка аппарата, А.

В графе «Участок сети 1» надписи отсутствуют. Горизонтальная линия, пересекающая графу, обозначает проводку между аппаратами, указанными в графах 2 и 4.

В графе «Пусковой аппарат» записывают данные пускового аппарата: обозначение; тип; номинальный ток  $I_{\text{ном}}$ , А; расцепитель или плавкая вставка или уставка теплового реле, А. Если пусковой аппарат поставляется комплектно с технологическим оборудованием, то в графе указывают обозначение на плане, ставят знак «\*» и делают ссылку под схемой.

В графе «Участок сети 2» надписи отсутствуют. Горизонтальная линия, пересекающая графу, обозначает проводку между аппаратом, указанным в графе 4, и электроприемником.

В графе «Участок сети» указывают номер участка сети, описание которого дается в последующих графах. В обозначении трассы электропроводки первые цифры – номер токоприемника на плане, затем буква *H* для силовых электропроводок и *K* – для цепей управления и сигнализации, далее порядковый номер трассы к электроприемнику, указанному на первом месте настоящего обозначения.

Графы 11–12 заполняют, если используется проводка в трубах.

В графах 13–16 указывают цифровое или буквенно-цифровое обозначение электроприемника на плане, установленную или номинальную мощность, расчетный ток, наименование (если электроприемником является установка или НКУ, указывают обозначение чертежа принципиальной схемы установки или чертежа общего вида НКУ).

Если от аппарата отходящей линии до электроприемника не один, а два аппарата, которые нужно описать в схеме, то линию сети переносят в начало графы 4 следующей строки. В конце ставят уходящую стрелку под углом  $45^\circ$  и под таким же углом ставят стрелку, приходящую в начало графы 4. В конце и в начале стрелок ставят прописные буквы русского алфавита. Аналогично можно переносить линии сети практически в любые точки схемы.

### ***3.3.3. Пример выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сети***

Выполним схему питающей и распределительной сети для зерносушилки, рассмотренной в п. 3.2.2. Сначала определяется категория электроснабжения данного объекта.

Сушильный комплекс в отношении требований к надежности электроснабжения относится ко второй категории [50]. Для таких электроприемников должно быть предусмотрено энергообеспечение от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустим на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады. Поэтому на рис. 3.16 предусмотрено два ввода и выбрано вводно-распределительное устройство ВРУ1-21-51УХЛ4.

Принципиальная схема распределительной сети строится по радиальному принципу (рис. 3.15). По требованиям ГОСТ 21.613–2014 трассы электропроводок распределительной сети указываются буквенно-цифровыми обозначениями.

Аппаратура управления и защиты выбирается в соответствии с положениями, изложенными в п. 3.3.2, а электропроводка и сечения проводов – в соответствии с выбранными аппаратами защиты и значениями расчетных токов линии.

Принципиальная схема распределительной сети

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (аварийное обозначение) тип I ном, А или плавкая вставка, А	Участок сети I	Пыльцовой аппарат (аварийное обозначение) тип I ном, А или плавкая вставка, А	Участок сети 2	Кабель, провод				Трасса		Электропривиник		
					Обозначение	Марка	Сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р. вст. или Р. ном, кВт	Группы или I ном, тыс.кВт А
РП ШРП-7370-2203 РУ= 1400кВт IP= 1400А	QF2 ВА47-29 630 320	КМ1 ПМЛ-3160М 40 32	1 И1 АВВГ 4x4 2	1 И1 АВВГ 4x4 2	-	-	1	150	300 210	Электродвигатель вентилятора сымлики			
	QF3 ВА47-29 630 160	КМ2 ПМЛ-2160М 25 15	2 И2 АВВГ 4x4 35	2 И2 АВВГ 4x4 35	-	-	2	7.5	150 1050	Электродвигатель вентилятора рециркуляции сымлики			
	QF4 ВА47-29 630 50	КМ3 ПМЛ-1160М 10 5	1 3И1 АВВГ 4x2.5 2	1 3И1 АВВГ 4x2.5 2	-	-	3	2.2	4.4 30.8	Электродвигатель нормы сырого зерна			
	QF5 ВА47-29 630 50	КМ4 ПМЛ-1160М 10 5	2 3И2 АВВГ 4x2.5 45	2 3И2 АВВГ 4x2.5 45	-	-	4	2.2	4.4 30.8	Электродвигатель нормы сырого зерна			
	QF6 ВА47-29 630 50	КМ5 ПМЛ-1160М 10 5	1 4И1 АВВГ 4x2.5 2	1 4И1 АВВГ 4x2.5 2	-	-	5	2.2	4.4 30.8	Электродвигатель нормы сырого зерна			
	QF7 ВА47-29 630 130	КМ6 ПМЛ-1160М 25 15	2 4И2 АВВГ 4x2.5 41	2 4И2 АВВГ 4x2.5 41	-	-	6	5.5	11.0 77.0	Электродвигатель выжарного шнека			
	QF8 ВА47-29 630 80	КМ7 ПМЛ-1160М 10	1 6И1 АВВГ 4x2.5 2	1 6И1 АВВГ 4x2.5 2	-	-	7	3.7	7.5 52.5	Электродвигатель выжарных устройств			

BA47-29 QF9 630 4,0	ПМЛ-1160М КМ8 10 4	1	8H1	ABBГ	4x25	2	-	8	1,5	$\frac{3,0}{21,0}$	Электродвигатель вентилятора топли теплогенератора 1
		2	8H2	ABBГ	4x25	37	-				
BA47-29 QF10 630 4,0	ПМЛ-1160М КМ9 10 4	1	9H1	ABBГ	4x25	2	-	9	1,5	$\frac{3,0}{21,0}$	Электродвигатель насоса теплогенератора 1
		2	9H2	ABBГ	4x25	38	-				
BA47-29 QF11 630 4,0	ПМЛ-1160М КМ10 10 4	1	10H1	ABBГ	4x25	2	-	10	1,5	$\frac{3,0}{21,0}$	Электродвигатель вентилятора топли теплогенератора 2
		2	10H2	ABBГ	4x25	39	-				
BA47-29 QF12 630 4,0	ПМЛ-1160М КМ11 10 4	1	11H1	ABBГ	4x25	2	-	11	1,5	$\frac{3,0}{21,0}$	Электродвигатель насоса теплогенератора 2
		2	11H2	ABBГ	4x25	40	-				
BA47-29 QF13 630 5,0	ПМЛ-1160М КМ12 10 6	1	12H1	ABBГ	4x25	2	-	12	2,2	$\frac{4,4}{30,8}$	Электродвигатель выгрузки зерна из ссылки
		2	12H2	ABBГ	4x25	25	-				
BA47-29 QF14 630 2,0	ПМЛ-1160М КМ13 10 1,6	1	11H1	ABBГ	4x25	2	-	13	0,75	$\frac{1,5}{10,5}$	Электродвигатель васлонки зерна
		2	11H2	ABBГ	4x25	45	-				
BA47-29 QF15 630 2,0	ПМЛ-1160М КМ14 10 1,6	1	12H1	ABBГ	4x25	2	-	14	0,75	$\frac{1,5}{10,5}$	Электродвигатель воздухного клапана
		2	12H2	ABBГ	4x25	35	-				

Рис. 3.15. Пример выполнения принципиальной схемы распределительной сети

Принципиальная схема питающей сети

Магистраль	Аппарат отходящей линии (ввода) обозначение тип) Чном, А) расцепитель или плавкая вставка, А	Аппарат ввода в распределительное устройство или плавковая аппаратура (обозначение) тип) Чном, А) расцепитель или плавкая вставка, А) вставка тепл. реле , А	Кабель, провод				Треть		Распределительное устройство или электроприемник								
			Участок сети 1	Участок сети 2	Участок сети 3	Участок сети 4	Обозначение	Марка	Кол-во жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р. уст. или Р. ном, кВт	Трасс. или Чном, плыск, А	Наименование, тип, обозначение чертёж принципиальной схемы	
ВРУ21-51УХЛ4																	
			ВА47-100 100 100	2	Щ4Н1	АВВГ	4X16	20	ленток на скобах			Щ41	56,3	97,05	Щкаб управления 1		
		QS2 ВР320 250		1	В1	АВВГ	4X16	20	в траншее			НОРМ. овар.	70,6 46	97,05	ВВОД N1 от ТП		
		QS2 ВР320 250		1	В2	АВВГ	4X16	20	в траншее			НОРМ. овар.	30,63 14,2	27	ВВОД N2 от ТП		
			ВА51-35 63 10	2	ЩОН1	АВВГ	5X10	1	на скобах			Щ0	7,01	9,8	Щиток освещения Щц - 01		
			ВА51-35 63 10	2	ЩАН1	АВВГ	4X16	20	на скобах			ЩА	5,18 5,18	17,6	Щкаб автоматика		

Рис. 3.16. Пример выполнения принципиальной схемы питающей сети

### 3.3.4. Принципы автоматизированного проектирования устройств питания систем автоматизации

Для разработки проектной документации систем питания систем автоматизации можно использовать как промышленные пакеты САПР, такие как WinELSO и САПР-альфа, так и графический редактор AutoCAD, настроенный на выпуск данной документации с помощью средств адаптации (раздел 2).

WinELSO (системный центр Infars) обеспечивает разработку принципиальных электрических схем электроснабжения объектов на напряжение 0,4 кВ, позволяет производить электротехнические расчеты в любом узле схемы, автоматизировать подбор кабелей, проводов и аппаратов защиты из соответствующих баз данных под расчетные параметры работы схемы. Выходной документацией

являются справочные таблицы результатов расчетов по нагреву, по потере напряжения; таблицы нагрузок; кабельный журнал и ведомость потребностей в кабелях и проводах; схемы электрические принципиальные питающей и распределительной сети.

САПР WinELSO имеет в своем составе 4 подсистемы: формирования схем электроснабжения, электротехнических расчетов, светотехнических расчетов и автоматизированной разработки документации. Сначала, назначая связи между элементами, производят построение модели электроснабжения объекта. Затем на основании построенной модели производят электротехнические (расчет нагрузок, выбор проводов, расчет токов короткого замыкания, выбор коммутационных элементов) и светотехнические расчеты. После этого последняя подсистема обеспечивает выпуск в автоматическом режиме текстовых проектных документов в формате Excel, графических – в формате AutoCAD.

Автоматизировать разработку документации систем питания систем автоматизации можно и в AutoCAD. Для этого необходимо организовать шаблоны по формам принципиальной схемы питающей и распределительной сети и произвести электротехнические расчеты в пользовательской программе, созданной средствами встроенного языка программирования AutoLISP и языка диалогов DCL. Заполнение форм осуществить с помощью блоков и функций встроенного языка программирования AutoLISP.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Каковы требования к системам питания систем автоматизации?
2. Каковы два основных звена в схемах электропитания систем автоматизации?
3. По какому принципу строят распределительные сети?
4. Каковы требования к надежности, величине напряжения, роду тока систем питания системы автоматизации?
5. Каковы требования к источникам питания систем автоматизации?
6. Что должны обеспечивать аппараты управления и защиты в системах автоматизации?
7. Каков порядок выбора аппаратов управления и защиты?
8. Запишите расчетные формулы для определения расчетных параметров сети.
9. Перечислите условия выбора аппаратов управления и защиты.

10. Выберите автоматический выключатель для защиты линии, в которую включены два электродвигателя мощностью 5,5 и 11 кВт. Первым включается второй ЭД. Номинальный КПД = 0,85; коэффициент загрузки = 0,7,  $\cos\varphi = 0,85$ ,  $m = 0,42$  для обоих электродвигателей.

11. Для подключения термопреобразователя сопротивления должна быть выбрана проводка с медными или алюминиевыми жилами?

12. Какой нормативный документ определяет требования к принципиальной схеме питающей и распределительной сети?

13. Каковы требования к оформлению принципиальной схемы питающей (распределительной) сети?

14. Перечислите принципы заполнения формы принципиальной схемы питающей (распределительной) сети.

15. Какие пакеты САПР применимы для разработки проектной документации систем питания систем автоматизации? Их преимущества и недостатки.

### **3.4. Основы синтеза систем автоматизации методами математической логики**

#### **3.4.1. Понятие синтеза**

Синтез – соединение (мысленное или реальное) различных элементов объекта в единое целое (систему).

Синтез неразрывно связан с анализом (расчленением объекта на элементы).

Синтез систем автоматического управления как раздел автоматики рассматривает методы автоматического (автоматизированного) проектирования различных систем управления с заданными свойствами при ограниченных исходных данных.

Синтез САУ включает три основных этапа.

На *первом этапе* разрабатывают математическую модель проектируемой (синтезируемой) системы. Математическая модель отображает связи между показателями состояний, например быстродействием и надежностью системы, ее точностью, качеством выпускаемой продукции и т. п., и параметрами управления, с помощью которых осуществляется воздействие на проектируемую систему, в результате чего меняются ее показатели, состояния и параметры управления. Все входные, выходные величины

и параметры состояний САУ поточными технологическими линиями (ПТЛ) могут принимать только дискретные значения. Для описания алгоритма функционирования системы используют законы булевой алгебры и теории автоматов.

На *втором этапе* на основе математической модели составляют целевую функцию или определяют критерий оптимальности, математически сформулированную цель синтеза САУ ПТЛ. В целевой функции могут быть одновременно отражены несколько показателей состояния с добавлением экономических показателей. В некоторых вариантах целевая функция достигает экстремума. Один из них выбирают для реализации.

Второй этап часто объединяется с первым.

На *третьем этапе* разрабатывают способы технической реализации выбранного варианта системы, полученного в виде общих математических зависимостей (рекомендаций), то есть составляют функциональные, структурные, динамические, принципиальные, монтажные и другие схемы.

Техническая реализация варианта САУ ПТЛ осуществляется на базе оборудования, ТСА и устройств управления, выпускаемых промышленностью. При их выборе должны быть учтены условия эксплуатации проектируемой САУ ПТЛ (то есть соответствие технических условий используемого изделия условиям эксплуатации).

### ***3.4.2. Структура и состав САУ поточными технологическими линиями (ПТЛ)***

Объектом управления САУ является технологический процесс. Структура технологического ОУ может быть представлена в виде совокупности производственных звеньев, связанных между собой материальными потоками. Как правило, звенья обработки чередуются со звеньями хранения, которые связаны звеньями транспортировки. Производственное звено (технологическая операция) представляет собой любое механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие. Совокупность технологических операций, осуществляемых на определенном технологическом оборудовании, образует технологический процесс.

Функционирование технологического ОУ состоит в изменении состояния звеньев обработки и транспортировки (переход с одной

операции на другую) и изменении состояния звеньев хранения (изменении количества продуктов, хранящихся в них).

Структурная схема САУ ТП представлена на рис. 3.17.

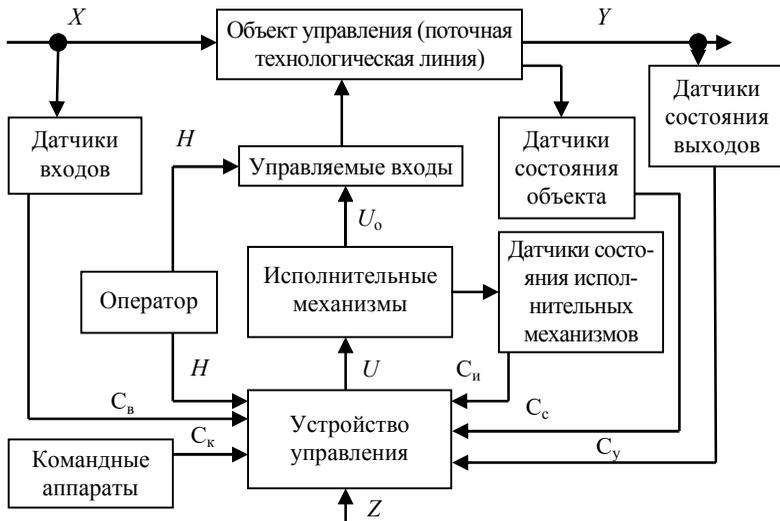


Рис. 3.17. Обобщенная схема САУ ПТЛ:

$X$  – входы объекта;  $Y$  – состояние объекта;  $U_o$ ,  $U$  – управляющие воздействия;  
 $H$  – ручное воздействие;  $C_v$ ,  $C_i$ ,  $C_c$ ,  $C_y$  – множество сигналов от датчиков, контролирующих входные и выходные параметры объекта, а также состояние агрегатов и устройств технологической линии и перерабатываемого материала;  
 $C_k$  – сигналы, формируемые командными аппаратами;  $Z$  – цель управления

САУ ТП помимо ОУ состоит из устройства управления, совокупности датчиков, командных аппаратов, исполнительных механизмов. Устройство управления, отслеживая состояние ОУ по сигналам датчиков входов и выходов, формирует управляющее воздействие, которое исполнительный механизм преобразует в форму, воспринимаемую управляемым входом объекта. Воздействовать на управляемые входы объекта может и оператор (вручную). Также оператор либо командные аппараты могут взаимодействовать с устройством управления, изменяя настройки либо налаживая иной режим работы.

К командным аппаратам относятся: кнопки, тумблеры, переключатели, а также реле времени. При помощи первых в автоматические

системы ручным воздействием оператора подаются дискретные сигналы, вторые обеспечивают циклическую работу оборудования в соответствии с временным алгоритмом.

Кнопки имеют одно устойчивое состояние. Исполнительный элемент кнопки – контакт, который может быть или нормально замкнутым, или нормально разомкнутым (рис. 3.18). При ручном воздействии на кнопку контакты меняют свое состояние с замкнутого на разомкнутый и наоборот. После снятия ручного воздействия контакты кнопки возвращаются в исходное состояние.

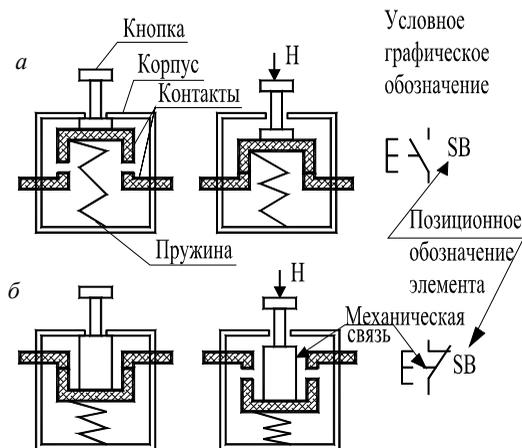


Рис. 3.18. Блок-схема кнопки:

*a* – с нормально разомкнутым (закрывающимся) контактом;

*б* – с нормально замкнутым (размыкающимся) контактом

Контакты тумблера (рис. 3.19) имеют два устойчивых состояния. Перевод из одного состояния в другое требует ручного воздействия. Перевод в предыдущее состояние требует повторного ручного воздействия.

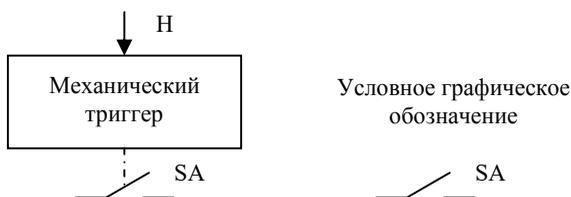


Рис. 3.19. Блок-схема тумблера

Переключатели бывают специализированные и универсальные, могут иметь несколько контактов. В технических условиях (ТУ) переключателя указывается, в какой позиции рукоятки замыкаются те или иные пары контактов.

Для управления оборудованием в режиме реального времени используют программные устройства, например электромеханическое двухпрограммное устройство типа 2РВМ, либо микропроцессорное программируемое реле времени РСЗ [56], либо программируемый логический контроллер (ПЛК) [57].

Микропроцессорное программируемое реле времени РСЗ (производитель – СООО «Евроавтоматика F&F») может включаться/выключаться потребителем в запрограммированное время по суточному, недельному циклу, либо по будним дням, либо по выходным. Реле РСЗ-521 одноканальное, РСЗ-522 – двухканальное. Последнее обеспечивает управление двумя устройствами по двум независимым программам.

*Датчиком* называется преобразователь контролируемой регулируемой величины в выходной сигнал для дистанционной передачи и дальнейшего использования. Он характеризуется входными и выходными величинами, чувствительностью.

Датчики САУ ПТЛ можно разделить на два основных типа: датчики неэлектрических величин и электрических величин. Датчики неэлектрических величин контролируют положение рабочих органов, наличие материала в емкостях, предельные значения давления, температуры, скорости, частоты вращения и т. п. Структурная схема таких датчиков приведена на рис. 3.20.

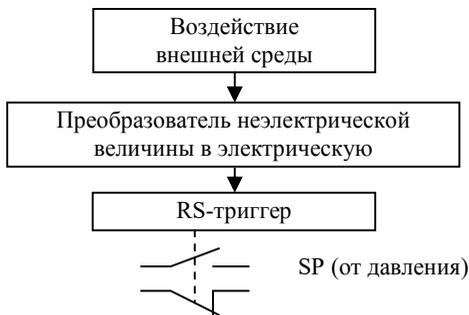


Рис. 3.20. Структурная схема датчика САУ ПТЛ

Датчики электрических величин состояния исполнительных механизмов конструктивно могут быть представлены в виде реле (рис. 3.21). Когда на катушку подается номинальное для реле напряжение, к сердечнику катушки притягивается якорь реле, при этом толкатели воздействуют на контакты и те меняют свое состояние: разомкнутое на замкнутое и замкнутое на разомкнутое. При снятии напряжения с катушки реле состояние контактов возвращается в исходное.

Принцип работы магнитных пускателей и контакторов аналогичен реле. Отлично от реле их конструктивное исполнение.

Релейные приборы используются как усилители сигнала – для включения исполнительных устройств; как размножители контактов – для исполнительных устройств, не имеющих собственных контактов (например, электромагнитных клапанов); как логические элементы – в схемах управления; как командные элементы – в схемах контроля, защиты и сигнализации.

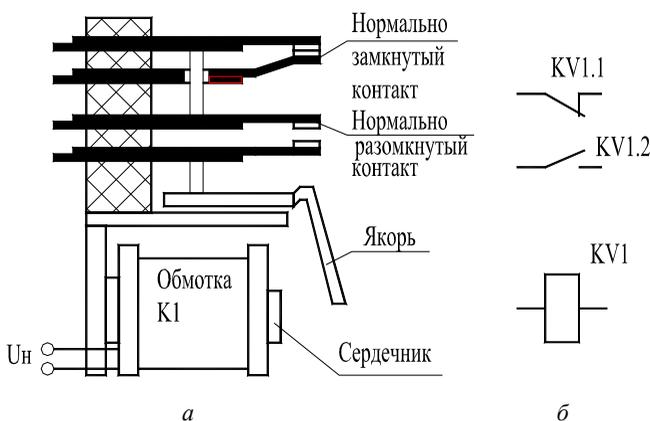


Рис. 3.21. Реле:  
 а – конструктивная схема;  
 б – условное графическое обозначение

*Исполнительный механизм* – это устройство, элемент, который воспринимает сигнал устройства управления и воздействует на управляемый вход объекта управления. К исполнительным механизмам относятся: электродвигатели, тяговые электромагниты, пневмо- и гидроцилиндры.

Управляемые входы регулирующего органа (РО) – устройства, через которые проходят потоки вещества или энергии. Это различного рода транспортеры, вентиляционные установки, компрессоры, клапаны, задвижки и т. п.

Управляющее воздействие подается на объект с определенной целью. Цель управления – это требуемое состояние или последовательность состояний объекта во времени. Если цель формулируется иначе, то для управления объектом ее необходимо перевести на язык состояний объекта управления, то есть описать с помощью функций выходных параметров.

*Сигналы.* Обмен информацией в автоматических системах происходит при помощи двоичных двухпозиционных сигналов (дискретный непрерывный информационный параметр имеет два значения – «0» и «1» (рис. 3.22)).

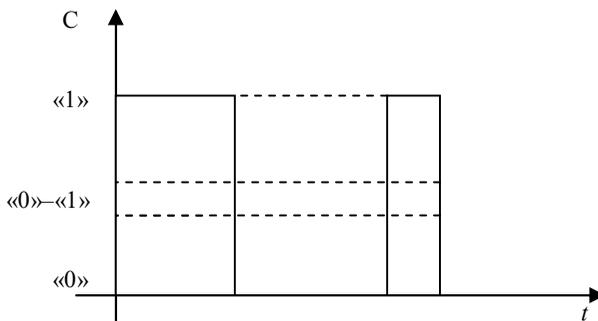


Рис. 3.22. Типовая форма двоичного двухпозиционного сигнала

Носителями сигналов являются физические величины, например токи, напряжения, световые волны, воздушные струи, магнитные состояния.

В релейно-контактных схемах управления сигналом логической единицы «1» является напряжение, при котором срабатывает исполнительный механизм (номинальное значение напряжения и его вид указываются в технических условиях). Возврат исполнительного механизма в исходное состояние происходит при напряжении  $U_{отп}$  ниже номинального:  $U_{отп} < U_n$ . Напряжение питания исполнительного механизма между  $U_n$  и  $U_{отп}$  находится в неопределенной области. Напряжение  $0 < U_{отп} < U_n$  находится в области логического нуля «0».

Скорость распространения сигнала в системах, выполненных на релейно-контактных схемах, зависит от количества релейных элементов в цепи управления и скорости срабатывания этих элементов и не превышает секунды.

САУ может быть реализована на базе интегральных схем, выпускаемых электронной промышленностью. В схемах данного класса применяются сигналы только двух типов – с *высоким* и *низким* уровнями напряжений, поэтому их называют цифровыми схемами. Логической единице «1» логической функции соответствует напряжение высокого уровня, а логическому нулю «0» – напряжение низкого уровня. Цифровые схемы изготавливаются с применением ТТЛ- и КМОП-технологий. ТТЛ-схемы относятся к семейству схем транзисторно-транзисторной логики. КМОП – сокращенное название комплементарных полупроводниковых приборов со структурой металл-окисел-полупроводник. Семейство КМОП-ИС – это широко используемые схемы с очень малым потреблением энергии. Уровни напряжений для ТТЛ- и КМОП-схем показаны в табл. 3.5 в процентах от полного напряжения источника питания. Цифровые ТТЛ-схемы работают всегда при напряжении 5 В, в то время как для некоторых типов КМОП-схем необходимы напряжения величиной до 15 В. Напряжение от 0 до 0,8 В считается низким уровнем, а напряжение от 2 до 5 В для тех же ИС – высоким уровнем. Напряжение между 0,8 и 2 В попадает в неопределенную область, и соответствующие сигналы нежелательны для цифровых ТТЛ-схем.

Таблица 3.5

Определение логических уровней для цифровых интегральных ТТЛ- и КМОП-схем

ТТЛ	%	КМОП	Уровень напряжений
Высокий уровень	100	Высокий уровень	Положительное напряжение
	90		
	80		
	70		
	60	Неопределенная область	
	50		
Неопределенная область	40	Неопределенная область	Неопределенная область
	30		
Низкий уровень	20	Низкий уровень	Земля (  )
	10		
	0		

На рис. 3.23 представлена схема управления с использованием интегральных схем ТТЛ-технологии. В изображенном на схеме положении кнопки SB на вход интегральной схемы DD1.1 подается «0». При нажатии на кнопку SB на вход 1 DD1.1 подается «1», на выходе 3 DD1.1 появляется сигнал «1» и светодиод VD начинает светиться.

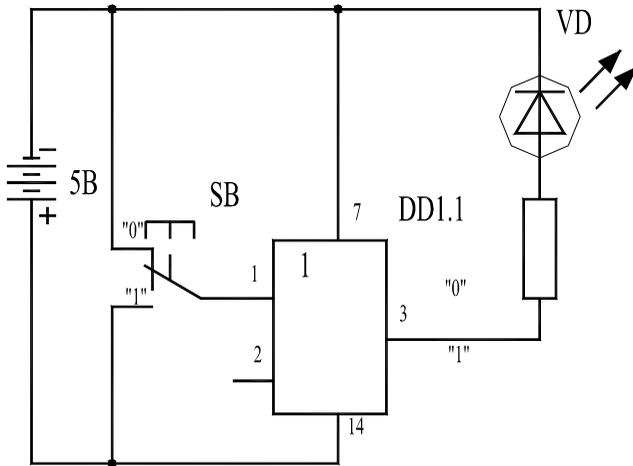


Рис. 3.23. Схема управления с использованием интегральных схем

Скорость распространения сигнала в электронных схемах на порядок выше, чем в релейно-контактных.

*Устройство управления* обеспечивает координацию действий всех устройств САУ в соответствии с алгоритмом. Устройство управления может быть разработано на релейно-контактных схемах (РКС) и на бесконтактных логических элементах (например, ТТЛ- или КМОП-схемах). Также в качестве устройства управления может быть использован логический контроллер.

*Алгоритм* (алогорифм) – точно определенное правило действий (программа), для которого задано указание, как или в какой последовательности это правило необходимо применять к исходным данным задачи, чтобы получить ее решение. Однако для разработки структуры управления алгоритм должен быть формализован, то есть представлен символической записью.

Для формализации алгоритма ТП применяются следующие буквенные обозначения:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  – исполнительные элементы командных аппаратов ручного воздействия;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$  – исполнительные элементы командных аппаратов технологического воздействия;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  – воспринимающие элементы исполнительных устройств;

$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$  – приводы реле времени;

$z'_1, z'_2, z'_3, \dots, z'_n$  – исполнительные элементы реле времен (как командного прибора);

$z'_c$  – контакт суточного реле времени.

Следующим шагом в направлении алгоритмизации САУ ТП является описание его с помощью символов.

В табл. 3.6 приведены символы, обозначающие определенные действия, операции, состояния элементов САУ, вспомогательные обозначения, позволяющие связать отдельные элементы в цепочку причинно-следственных связей.

Таблица 3.6

Основные обозначения в символической записи алгоритма

Наименование операции, условия их осуществления	Место изображения символа	Символ	Пример
<b>Основные символы</b>			
Изменение исходного состояния элемента	Перед символом элемента	↑	↑ $b_1$ , ↑ $X_1$
Возвращение элемента в исходное положение	То же	↓	↓ $b_1$ , ↓ $X_1$
Воздействие командного элемента на воспринимающий элемент	Между обозначениями элементов	–	↓ $b_1$ –↓ $X_1$
Выполнение технологической операции	Наименование технологической операции указывается цифрой над символом после обозначения включения воспринимающего элемента	1, 2, ..., $n$	↑ $X_1$ <sup>1</sup> –↑ $b_2$ 1 – открытие заслонки

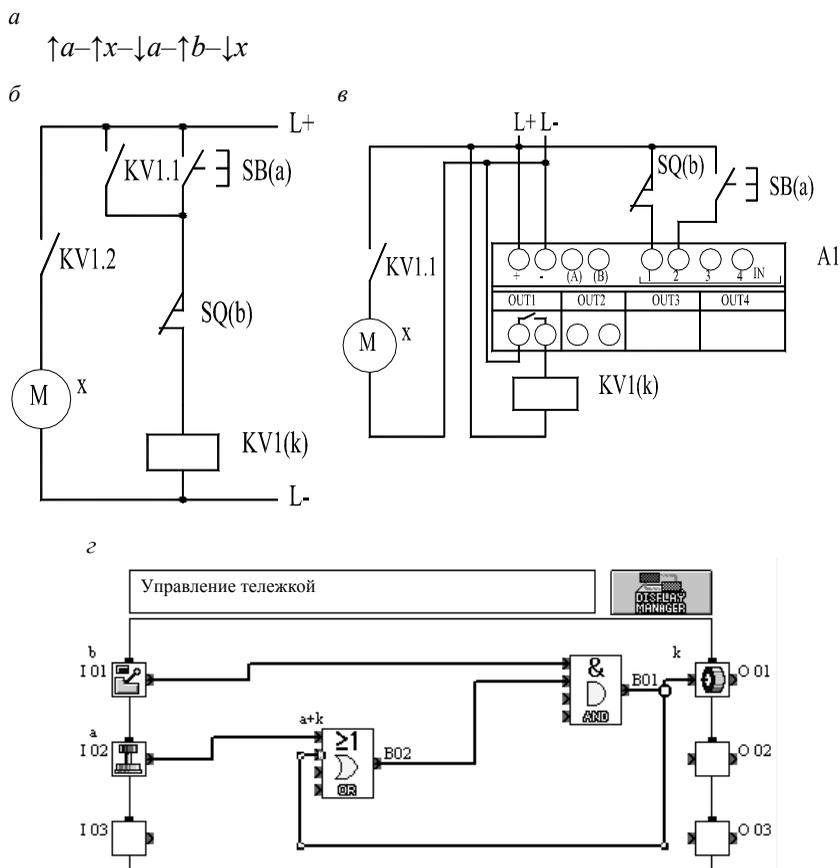
Наименование операции, условия их осуществления	Место изображения символа	Символ	Пример
Одновременное срабатывание нескольких элементов	Между обозначениями элементов		$\uparrow\theta_2$ $\uparrow X_1$ $\downarrow X_2$
Срабатывание последующего элемента происходит после срабатывания всех параллельных цепочек	То же		$\downarrow\theta_3$ $\uparrow X_2$ $\uparrow X_n$ $\uparrow X_3$
<b>Вспомогательные символы</b>			
Включаемый механизм совершает вращение	Над обозначениями элемента		 $X_4, X_5$
Поступательные движения назад	То же	$\leftarrow$	$\leftarrow$ $X_2$
Поступательные движения вперед	То же	$\rightarrow$	$\rightarrow$ $X_1$

*Примечания:*

1. Элементы САУ имеют два состояния (контакт замкнут–разомкнут, исполнительный механизм включен–отключен) и символы ( $\uparrow$ ,  $\downarrow$ ), которые обозначают состояние элементов.
2. Вспомогательные символы облегчают чтение алгоритма, однако нанесение их необязательно.
3. Наименования технологических операций и требования к ним приводятся дополнительно при разработке алгоритма.

Рассмотрим, как на различных устройствах управления будет реализована отдельная операция управления: РКС и ПЛК (рис. 3.24). Вариант с использованием интегральных схем опущен как промежуточный. Пусть необходимо организовать автоматическое перемещение кормораздаточной тележки к месту кормораздачи. Тележка начинает движение вперед, когда оператор нажимает на кнопку. Остановить тележку должен датчик положения (концевой выключатель).

С целью упрощения на схеме показан двигатель постоянного тока  $M$ , но задействована в схеме только одна его обмотка (движение вперед).



*Рис. 3.24.* САУ отдельной операцией – перемещением тележки:  
*a* – алгоритм управления; *б* – реализация алгоритма на релейно-контактной базе (сопряжение сигналов по линиям связи – программирование связи);  
*в* – реализация алгоритма на базе логического контроллера;  
*г* – сопряжение связей через программу контроллера (FBD-язык)

На рис. 3.24, *a* показан алгоритм управления. При срабатывании кнопки *a* включается электродвигатель *x* тележки для движения вперед, после чего оператор отпускает кнопку *a*. Если срабатывает датчик положения *b*, электродвигатель *x* тележки для движения вперед отключается.

Для реализации системы управления на ПК (рис. 3.24, *б*) помимо кнопки *SB* и датчика положения *SQ* необходимо реле *KV1*.

При этом использована известная схема с самоблокировкой. Оператор, нажимая на кнопку SB, замыкает цепь питания катушки реле KV1 (цепь питания идет через контакты кнопки SB и датчика SQ), которое замыкает свой контакт KV1.2 и включает электродвигатель M. Также реле замыкает контакт KV1.1. Когда оператор отпускает кнопку, цепь питания катушки KV1 идет через контакты KV1.1 и SQ, пока тележка не подъедет к кормушке и упор на ней не разомкнет контакт SQ. Катушка обесточится и контактом KV1.2 отключит электродвигатель M.

В случае реализации управления на ПЛК А1 (рис. 3.24, в) описанная схема с самоблокировкой реализуется в программе контроллера (рис. 3.24, з) через элементы сложения В02 и умножения В01. На рис. 3.25 показано, где расположены элементы САУ.

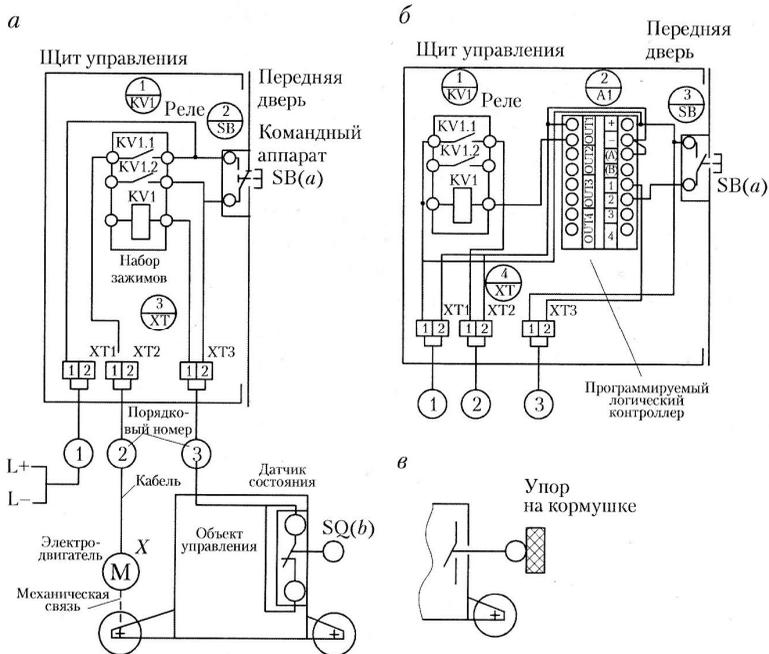


Рис. 3.25. Размещение аппаратуры при реализации САУ: а – на РКС; б – на ПЛК; в – устройство датчика состояния

Методика разработки РКС ПТЛ, а также вопросы использования ПЛК как альтернативного варианта РКС подробно рассмотрены в учебном пособии [58].

### 3.4.3. Синтез САУ ПТЛ с помощью аппарата булевой алгебры

Аппарат булевой алгебры применим к дискретным системам автоматизации. *Дискретными*, или логическими, *системами* автоматизации называют такие системы, у которых входные и выходные сигналы могут принимать два возможных значения. Обычно одно из этих значений соответствует сигналу «включено» или высокому уровню напряжения (формально обозначается символом логической единицы «1»). Второе значение соответствует сигналу «выключено» или низкому уровню напряжения (формально обозначается символом логического нуля «0»).

Результатом действия системы должен быть изменяющийся во времени выходной сигнал (сигналы) управления, приводящий к требуемому алгоритму функционирования объекта управления. Алгоритм изменения сигналов системы может быть задан символической записью (подробно рассмотрено в учебном пособии [58]) или таблицей истинности. Остановимся на правилах составления последней и разработки по ней структуры управления.

Любая дискретная система автоматизации может быть рассмотрена как некоторый объект, который преобразует входные сигналы  $x_1 \dots x_n$  в выходной сигнал  $Y = f(x_1 \dots x_n)$ . Логические переменные  $x_1 \dots x_n$ , а также  $Y$  могут принимать значения «0» или «1», причем зависимость выходного сигнала от входных описывается логической функцией  $f$ , которая каждому набору значений входных переменных ставит в соответствие значение выходной переменной.

Логическую функцию задают таблицей истинности или логическим выражением. *Достоинством* способа описания таких систем с помощью таблицы истинности является его простота и наглядность, однако при большом количестве входных сигналов таблицы получаются громоздкими. В таблице истинности перечисляются все наборы входных сигналов и соответствующие каждому набору значения выходного сигнала или сигналов. Такая таблица составляется на этапе проектирования системы и описывает ее реакции на различные входные воздействия. Основой для составления таблицы истинности является технологический процесс.

Для примера опишем с помощью таблицы истинности работу устройства управления горизонтальным перемещением кормораздатчика (рис. 3.26). Сигнал на движение вперед подает кнопка SB1 (для записи в таблице истинности обозначается как  $x_1$ ). При нажатии

на кнопку на устройство управления кормораздатчиком (УУК) подается сигнал  $x_1 = 1$ . Останавливает кормораздатчик в крайнем положении сигнал от концевого выключателя SQ1 ( $x_3 = 1$ ) независимо от сигнала  $x_1$ . Аналогично при движении назад задействованы кнопки SB1 ( $x_2$ ) и SQ2 ( $x_4$ ). Одновременное нажатие кнопок или одновременное срабатывание выключателей (в результате их неисправности) должно прекратить движение кормораздатчика.

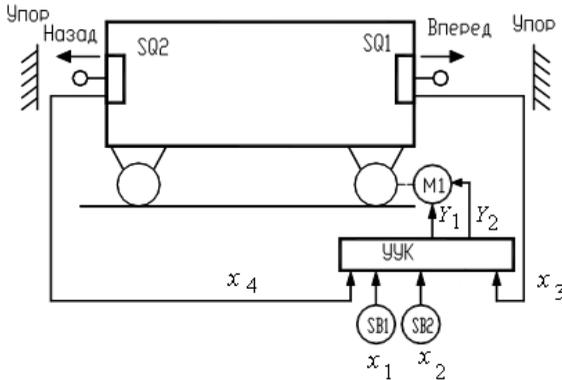


Рис. 3.26. Схема управления горизонтальным перемещением кормораздатчика

УУК вырабатывает управляющие сигналы  $Y_1$  – пуск кормораздатчика вперед и  $Y_2$  – пуск кормораздатчика назад. При  $Y_1 = 0$  и  $Y_2 = 0$  кормораздатчик стоит на месте. Комбинация  $Y_1 = 1$  и  $Y_2 = 1$  является запрещенной, то есть такой набор выходных сигналов не может появиться на выходе УУК при любых сигналах на входе.

С учетом данного описания составляется таблица истинности (табл. 3.7), определяющая работу УУК. Данная таблица одновременно задает две логические функции:  $Y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  и  $Y_2 = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ . Следует отметить, что число строк в таблице истинности должно быть равно числу всевозможных наборов значений входных сигналов, то есть  $2^n$ , где  $n$  – число входных сигналов.

**Правило** для получения аналитической записи по таблице истинности формулируется следующим образом:

1. Любая логическая функция записывается в виде суммы (дизъюнкции) логических произведений (конъюнкций)  $Z_i$ , описывающих строки таблицы истинности, в которых функция принимает значение логической единицы.

2. Каждая конъюнкция  $Z_i$  включает все входные переменные, причем переменная  $x_j$  ( $j = 1 \dots n$ ) входит в конъюнкцию без инверсии, если в  $i$ -й строке таблицы истинности она равна логической единице, в противном случае она входит в конъюнкцию с инверсией.

Таблица 3.7

Таблица истинности работы УУК

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$Y_1$	$Y_2$
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	0
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	0
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0

В примере функция  $Y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  принимает значение логической единицы при  $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0$  и  $x_4 = 0$  (9 строка табл. 3.7) и при  $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0$  и  $x_4 = 1$  (10 строка табл. 3.7). Запишем логические произведения:

$$Z_9 = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}; \tag{11}$$

$$Z_{10} = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot x_4.$$

Путем логического сложения получим логическую функцию

$$Y_1 = Z_9 + Z_{10} = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot x_4. \tag{12}$$

Применив то же правило, получим для второй функции:

$$Y_2 = Z_5 + Z_7 = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot \overline{x_4}. \quad (13)$$

Однако получив логические уравнения необходимо еще уметь их упростить. Наряду с алгебраической минимизацией [59, тема 3] и с помощью таблиц покрытия [59, тема 4] широко применяется метод, использующий **карты Карно** (диаграммы Вейча). Карты Карно – это графическое представление таблиц истинности. Каждая клетка карты соответствует одной конъюнкции при записи логической функции в совершенной дизъюнктивной нормальной форме – **СДНФ** (в форме дизъюнкции конъюнкций). Поэтому число клеток всегда равно  $2^n$ .

Рассмотрим принципы построения карт Карно и минимизации логических выражений. Пусть логическая функция задана с помощью таблицы истинности (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Таблица истинности для ИМ  $Y$  (две переменные)

$x_1$	$x_2$	$Y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Запишем для функции  $Y = f(x_1, x_2)$  аналитическое выражение:

$$Y = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2. \quad (14)$$

Карта Карно в данном случае состоит из четырех клеток и представлена на рис. 3.27. Каждая клетка соответствует определенной комбинации значений переменных  $x_1$  и  $x_2$ . Единицами на карте отмечены те клетки, которые соответствуют конъюнкциям в выражении (14). Левая верхняя клетка соответствует конъюнкции  $\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$ , левая нижняя – конъюнкции  $\overline{x_1} \cdot x_2$ , правая верхняя – конъюнкции  $x_1 \cdot \overline{x_2}$ . На рис. 3.27 обведены соседние клетки, содержащие 1.

Верхняя строка соответствует функции  $Y' = x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2$ , а левый столбец – функции  $Y'' = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} + \overline{x_1} \cdot x_2$ .

	$x_2$	$\overline{x_2}$
$x_1$	1	1
$\overline{x_1}$	1	0

Рис. 3.27. Карта Карно для функции двух переменных

Тогда, сложив  $Y'$  и  $Y''$  и применив алгебраическую минимизацию, получим:

$$\begin{aligned}
 Y &= Y' + Y'' = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot x_2 = \\
 &= x_1(x_2 + \overline{x_2}) + x_2(x_1 + \overline{x_1}) = x_1 + x_2.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

В результате получили, что верхняя строка карты описывается функцией  $Y' = x_1$ , а левый столбец – функцией  $Y'' = x_2$ . Тот же ответ следует из анализа карты Карно. Для его нахождения достаточно заметить, что верхняя строка соответствует неизменному значению переменной  $x_1$ , а левый столбец – неизменному значению переменной  $x_2$ , и записать дизъюнкцию этих переменных.

В общем случае **правило минимизации** логических выражений с помощью карт Карно можно сформулировать следующим образом:

1. Записать логическую функцию в СДНФ.
2. Единицами на карте Карно отметить клетки, соответствующие каждой конъюнкции в СДНФ, остальные заполнить нулями.
3. Выделить прямоугольные области из клеток, заполненных единицами. При этом области должны иметь максимально возможные размеры, а число клеток в них обязательно кратно степени числа 2 (области могут пересекаться).
4. Для каждой области определить переменные, сохраняющие свои значения неизменными, и составить конъюнкции этих переменных.
5. Записать результат минимизации, составив дизъюнкцию конъюнкций, полученных в п. 4.

Применим данное правило для минимизации функции трех переменных, заданной табл. 3.9:

$$Y = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3.
 \tag{16}$$

Прямоугольные области, отмеченные на карте Карно (рис. 3.28), позволяют записать минимальное выражение для функции  $Y$  в виде

$$Y = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot x_3.
 \tag{17}$$

Таблица истинности для ИМ  $Y$  (три переменные)

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$Y$
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

	$x_2$			
$x_1$	1	1	0	1
	0	1	1	0
	$x_3$		$x_3$	

Рис. 3.28. Карта Карно для функции трех переменных (чертой обозначены клетки, соответствующие инверсии переменных)

Хотя обычно карта Карно для функции трех и четырех переменных изображается на плоскости, как показано на рис. 3.28, с точки зрения формирования прямоугольных групп карту нужно считать трехмерной. Карту с тремя переменными следует рассматривать как цилиндр (прямоугольник со склеенными правым и левым краями). Поскольку прямоугольные группы формируются на цилиндре, на плоском рисунке та или иная группа может оказаться разорванной. На картах с четырьмя переменными нужно считать «склеенными» не только правый и левый края, но также верхний и нижний. Таким образом, карта с четырьмя переменными должна рассматриваться как поверхность тора.

Иногда при составлении таблицы истинности, описывающей работу проектируемого дискретного устройства, известно, что какие-то комбинации входных сигналов появиться не могут или, если они появляются, значение сигнала на выходе несущественно. Для таких

ситуаций нет необходимости определять значения выходных сигналов. Такая логическая функция называется неопределенной. В соответствующих строках таблицы истинности и клетках карты Карно при этом ставят прочерк. Клетки, в которых стоит прочерк, можно произвольным образом включить в прямоугольные группы единиц.

Функции  $Y_1$  и  $Y_2$  являются функциями четырех переменных, поэтому карты состоят из 16 клеток (рис. 3.29 и 3.30).

	$x_1$		$x_2$	
$x_4$	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	1	0	0
$x_4$	0	1	0	0
	$x_3$		$x_3$	

Рис. 3.29. Карта Карно для функции  $Y_1$

	$x_1$		$x_2$	
$x_4$	0	0	0	0
	0	0	1	1
	0	0	0	0
$x_4$	0	0	0	0
	$x_3$		$x_3$	

Рис. 3.30. Карта Карно для функции  $Y_2$

Выделив прямоугольные области в соответствии с правилом

$$\begin{array}{cc} \text{---} & \text{---} \\ & \\ \text{---} & \text{---} \end{array} \quad (18)$$

### 3.4.4. Принципы автоматизации синтеза структуры САУ ПТЛ с помощью современных графических пакетов

Традиционно наибольшее количество времени при разработке САУ ПТЛ тратится на составление структуры управления оборудованием технологического процесса.

Современные пакеты электротехнических САПР, такие как CADElectro, Electrics, WS-CAD, Pschematic, реализуют технологию сквозного проектирования документации и значительно облегчают труд инженера-проектировщика, однако ни одна САПР не дает инструмента, который позволил бы разработать структуру принципиальной электрической схемы управления установкой или технологическим процессом. Они лишь предлагают фактически функции оформления схемы с помощью компьютера. Между тем давно

известна теория синтеза релейно-контактных схем [9], которая требует лишь приведения к виду, удобному для написания программы, реализующей разработку структуры управления.

Основанием для разработки структуры схемы управления является алгоритм управления технологическим процессом. Он должен быть представлен в символической форме, удобной для расчета. Для разработки структуры управления отдельным исполнительным механизмом необходимо выделить элементы, влияющие на его работу, и разработать частный алгоритм управления, обычно представляемый в виде частной тактовой таблицы включения [9, с. 56]. По данной таблице легко реализовать структурную формулу управления, состоящую из двух частей: формулы срабатывания и произведения формулы отпускания на контакт исполнительного механизма. В формулу срабатывания и отпускания входят произведения контактов, обеспечивающих замкнутую цепь для исполнительного механизма в такте соответственно включения и отключения. Далее данную формулу можно упростить, проанализировав, какие произведения обеспечивают замкнутую цепь в тактах работы исполнительного механизма. Структурная формула управления является основой программы управления, если устройство управления реализовано на контроллере, либо основой принципиальной электрической схемы, если устройство управления реализовано на базе релейно-контактной аппаратуры [9].

Таким образом, программа разработки структуры схемы управления должна отвечать следующим требованиям:

- запрашивать алгоритм управления исполнительным механизмом;
- по алгоритму рассчитывать структурную формулу управления в соответствии с принципами, описанными выше;
- если пользователь согласен с формулой управления, реализовывать ее в символах принципиальной электрической схемы (отдельная цепь управления).

Программа написана на языке AutoLISP. Для отрисовки принципиальной электрической схемы управления используется графический редактор AutoCAD, для диалога с пользователем – язык DCL, обеспечивающий разработку диалоговых окон. Алгоритм программы приведен на рис. 3.31.

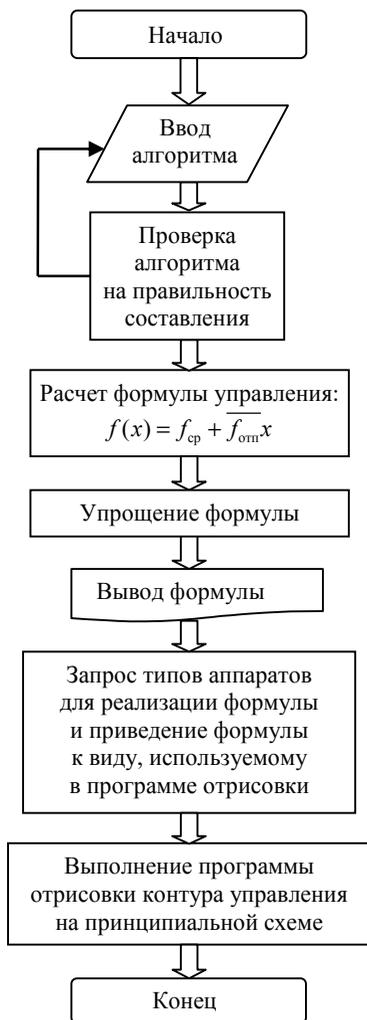


Рис. 3.31. Алгоритм

Программа обеспечивает:

- реализацию математического аппарата синтеза релейно-контактной логики;
- значительное сокращение времени на разработку принципиальной электрической схемы управления.

Работа с программой ведется в графическом редакторе AutoCAD. Вызов осуществляется кнопкой «Расчет» **F** на панели инструментов Элементы ПЭС. После этого программа запрашивает алгоритм управления (рис. 3.32).

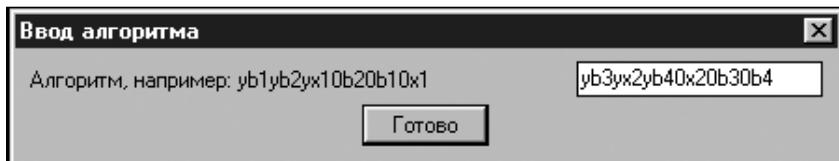


Рис. 3.32. Диалоговое окно задания алгоритма

Далее предлагается расчетная формула управления (рис. 3.33), которую пользователь на этапе перевода в структурную схему может несколько подкорректировать (рис. 3.34). После присвоения действительных обозначений элементам схемы может быть получена структура управления (рис. 3.35).

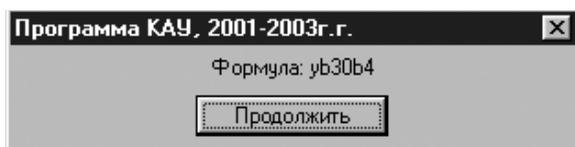


Рис. 3.33. Полученная формула

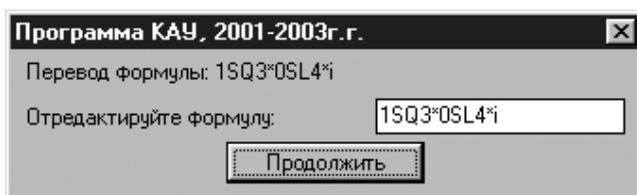


Рис. 3.34. Диалоговое окно перевода формулы управления

Поэтому можно предположить, что в дальнейшем САПР позволит осуществлять кроме непосредственно функций оформления таких схем и связи их с другими документами проекта также формализацию разработки структуры принципиальных электрических схем управления, контроля и сигнализации.

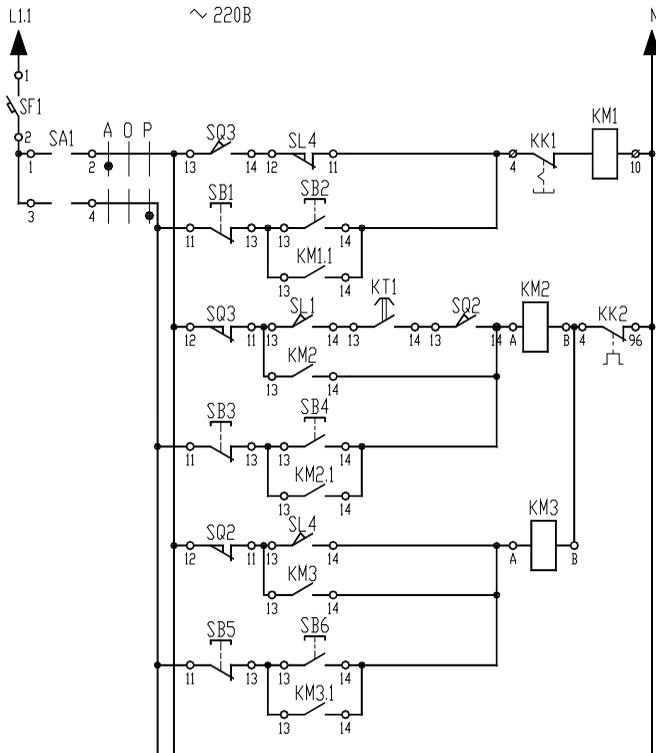


Рис. 3.35. Пример выполнения принципиальной схемы управления с помощью программы расчета структуры

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Каковы этапы синтеза САУ?
2. Что отображает математическая модель САУ?
3. Какие системы относят к аналоговым?
4. Какие системы называют дискретными?
5. Каковы правила составления таблицы истинности?
6. Каково правило получения аналитической записи по таблице истинности?
7. Перечислите достоинства и недостатки описания алгоритма управления в таблице истинности.
8. Перечислите достоинства и недостатки представления алгоритма управления в символической форме.

9. Какой метод синтеза САУ, с вашей точки зрения, проще реализовать в САПР? Почему?

10. Что представляет собой карта Карно?

11. Каковы принципы построения карты Карно?

12. Каково правило минимизации логических выражений с помощью карт Карно?

13. Какой пакет САПР обеспечивает автоматизацию разработки структуры САУ?

14. Каким требованиям должна отвечать программа разработки структуры САУ?

### 3.5. Выбор технических средств автоматизации (ТСА)

#### 3.5.1. Регулирующие контуры

Регулирующий контур представляет собой совокупность управляемого объекта и измерительно-управляющей аппаратуры – регулятора (рис. 3.36).

В статическом состоянии в управляемом объекте существует равновесие материальных и энергетических потоков. Причем этому состоянию соответствуют определенные значения переменных (температуры, давления, тока, скорости и т. п.), характеризующих протекание в управляемом объекте технологических процессов. Если при этом истинные значения управляемых (регулируемых) переменных соответствует их предписанным (заданным технологическим) значениям ( $Y_n, Y_{зд}$ ), то указанное статическое состояние соответствует требуемому режиму ведения технологического процесса.

Под влиянием тех или иных факторов (возмущающих воздействий) статическое состояние управляемого объекта может быть нарушено и в возникшем неустойчившемся или переходном режиме работы произойдет *отклонение* истинного значения регулируемой переменной от предписанного ее значения. Возникнет ошибка автоматического регулирования, или *рассогласования* ( $Y_{зд} - Y$ ), которое вызывает *управляющее (регулирующее)* воздействие  $X_y$  регулятора на объект.

Для устранения рассогласования и приведения управляемого объекта к требуемому статическому состоянию регулятор воздействует на приток или расход в объекте вещества или энергии посредством установки регулирующего органа в соответствующее положение.

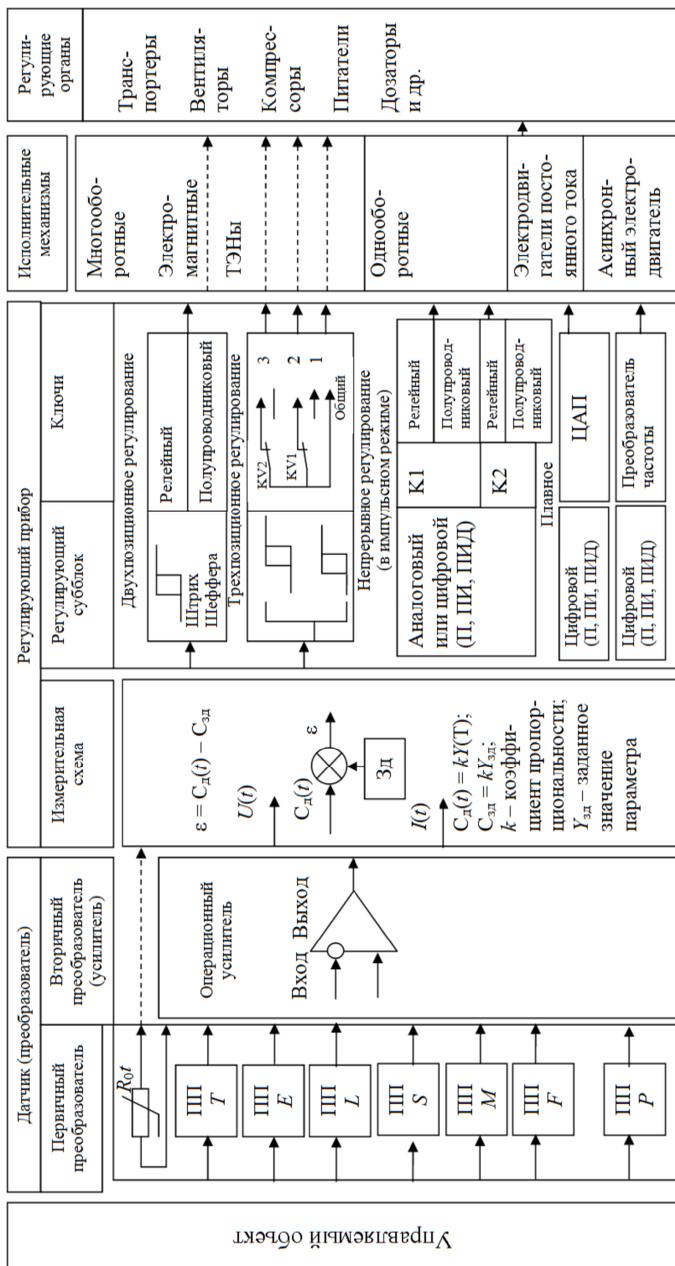


Рис. 3.36. Обобщенная структурная схема измерительно-управляющей аппаратуры (регулятора): ПП – первичный преобразователь;  $R_0, R_1$  – терморезистор;  $T, E, L, S, M, F, P$  – температура, электрическая величина, уровень, частота, влажность, расход, давление (соответственно);  $C_d(t)$  – сигнал датчика;  $C_{зд}$  – сигнал задатчика;  $\varepsilon$  – задатчик;  $\varepsilon$  – сигнал рассогласования; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

Регулирующее воздействие является *внутренним воздействием* САР, так как это воздействие одной части автоматической системы (регулятора) на другую ее часть (объект).

Конструктивно электронный *регулятор* состоит из:

- *датчика* (преобразователя), предназначенного для измерения физических неэлектрических величин и преобразования их в сигналы аналогового или цифрового вида;
- *регулирующего прибора* (РП), сравнивающего истинное значение переменной с предписанным значением и преобразующего ошибку рассогласования  $\epsilon$  по определенным законам в управляющий сигнал;
- *исполнительного механизма* (ИМ), преобразующего управляющий сигнал в управляющее воздействие;
- *регулирующего органа* (РО), обеспечивающего изменение регулирующего потока вещества или энергии в соответствии с управляющим воздействием.

*Датчик* конструктивно состоит из преобразователя неэлектрической физической величины в электрический сигнал и электронного усилителя сигнала (рис. 3.37).

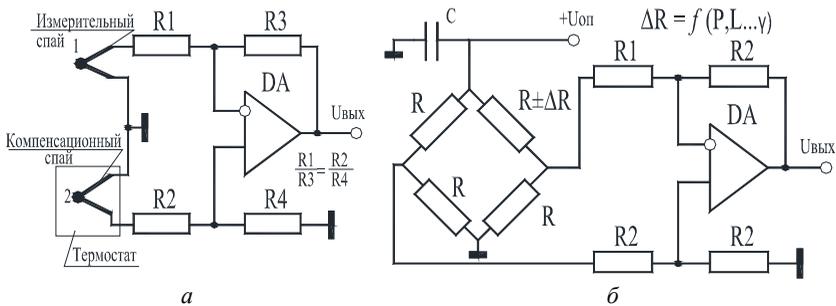


Рис. 3.37. Измерительные схемы с применением операционных усилителей (ДА):  
 а – усилитель для термопар; б – усилитель для мостовых датчиков;  
 $R \pm \Delta R$  – первичный преобразователь неэлектрической величины

Преобразователи физико-технических величин в электрический сигнал управления можно разделить на два типа: генераторного и параметрического. Примером преобразователя первого типа является термопара, преобразующая тепловое воздействие на нее внешней среды в постоянное напряжение (термоЭДС), составляющее до 50 мВ. Это напряжение зависит от разницы температур

на различных участках термоэлектрической проволоки, а также от материалов, используемых для ее изготовления. Если температура места сравнения поддерживается термостатом постоянной, то между температурой места измерения и термоЭДС прослеживается прямая зависимость. Подключив термопару на вход операционного усилителя (рис. 3.37, *a*), на выходе можно получить сигнал необходимой величины, который следует использовать для формирования регулирующего воздействия.

Примерами первичных преобразователей параметрического типа являются измерительные сопротивления: металлические и полупроводниковые.

Металлические измерительные термосопротивления обладают положительным температурным коэффициентом. Это означает, что при повышении температуры сопротивление возрастает. Можно представить следующую логическую схему измерения температуры с помощью термометра сопротивления (рис. 3.38, *a*): металлическое измерительное сопротивление –  $T \uparrow - R \uparrow - I \downarrow$ ; сопротивление с отрицательным температурным коэффициентом –  $T \uparrow - R \downarrow - I \uparrow$ .

Конструктивно металлическое термосопротивление представляет собой катушку тонкой медной, платиновой или никелевой проволоки. Полупроводниковый измеритель представляет собой резистор с отрицательным температурным коэффициентом.

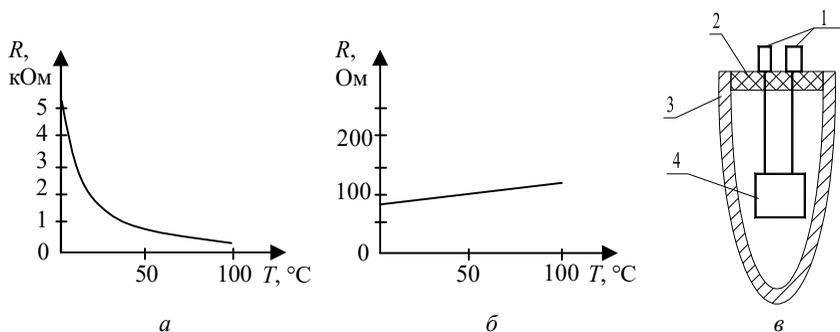


Рис. 3.38. Параметрический измеритель температуры: *a* – температурная зависимость полупроводниковых измерительных сопротивлений; *б* – температурная зависимость полуметаллических измерительных сопротивлений; *в* – конструктивное устройство температурного первичного преобразователя: 1 – контакты; 2 – диэлектрик; 3 – защитная трубка; 4 – термосопротивление

Измерение температуры с помощью термоэлементов и термометра сопротивления называется контактным измерением. Для переноса теплоты объект измерения должен соприкасаться с измерительным датчиком.

Сопряжение первичного преобразователя с усилителем производится с помощью измерительного моста (рис. 3.39). Сила тока в измерительной диагонали  $cd$  равна:

$$I_r = U \frac{R1 \cdot R4 - R2 \cdot R3}{R_r (R1 + R2)(R3 + R4) + R1 \cdot R2(R3 + R4) + R3 \cdot R4(R1 + R2)}. \quad (19)$$

Условием равновесия измерительного моста является соотношение  $R1 \cdot R4 = R2 \cdot R3$ . При выполнении этого условия разность потенциалов на вершинах измерительной диагонали  $cd$  равно нулю.

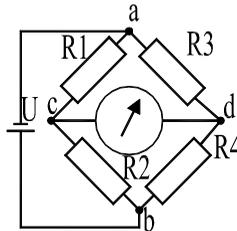


Рис. 3.39. Схема измерительного моста

Измерительный резистор, параметр которого меняется от текущего значения измеряемой величины, называется активным ( $R \pm \Delta R$ ), остальные – пассивными ( $R$ ).

В измерительной технике чаще используются симметричные схемы, когда  $R1 = R2$  и  $R4 = R3$  или  $R1 = R2 = R3 = R4 = R$  – полная симметрия.

Примем один из резисторов активным, тогда уравнение (19) примет вид:

$$I_r = \frac{\pm \Delta R U}{R(2R_r + 4R)}, \text{ или } U_{dc} = \frac{\pm \Delta R U}{R \left( 2 + \frac{4R}{R_r} \right)}. \quad (20)$$

Ток в измерительной диагонали меняет свое направление в зависимости от отклонения параметра от равновесного состояния.

Функция  $U_{dc} = f(\Delta R)$  имеет линейный характер, и мостовая измерительная схема может быть использована как элемент системы регулирования.

Промышленность наладила выпуск преобразователей для измерения разрежения, избыточного и абсолютного давления газов, паров и жидкостей, уровня, изменения плотности, расхода жидкости. В этом случае чувствительным элементом измерительного преобразователя является пьезорезистивная кремниевая монокристаллическая структура, встроенная в приемник, который отделен от измеряемой среды разделительной мембраной и заполнен специальной манометрической жидкостью. Схемы измерения параметров приведены на рис. 3.40.

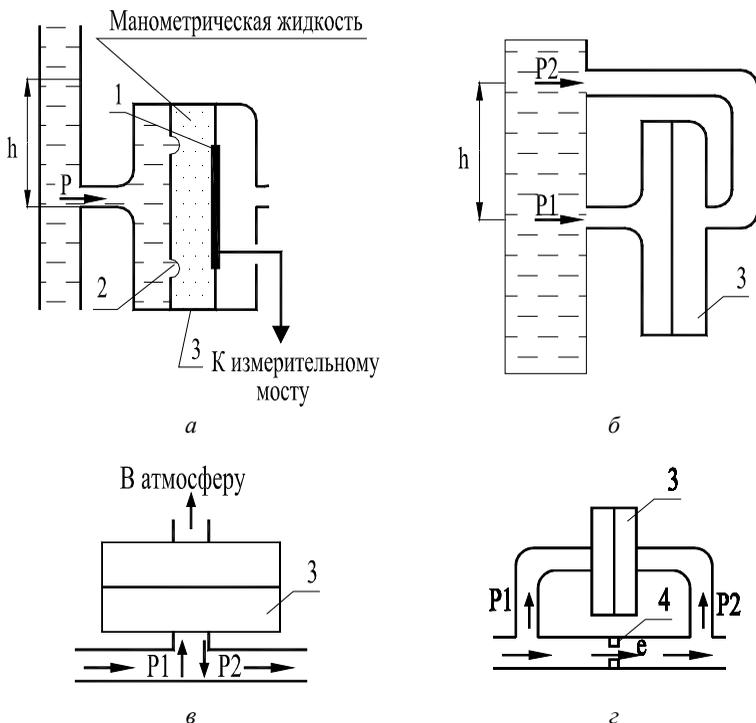


Рис. 3.40. Схемы измерения:

- a* – уровня; *б* – плотности жидкости; *в* – давления ( $P_1$ ), разрежения ( $P_2$ );
- г* – расхода; 1 – пьезорезистивная кремниевая монокристаллическая структура;
- 2 – мембрана; 3 – измеритель; 4 – калиброванная шайба

Чувствительный элемент преобразователя является активным элементом измерительного моста преобразователя. Выходом преобразователя является унифицированный сигнал (4...20 мА или 0...10 В), который подается на измерительную схему регулирующего прибора для формирования сигнала рассогласования и затем – управляющего воздействия.

При воздействии регулятора на объект его выходная величина (параметр) начинает изменяться во времени. Уравнения, устанавливающие зависимость изменения выходных координат объекта от вариации входных воздействий, называются *динамическими характеристиками объекта управления*.

Динамическая характеристика определяет продолжительность и характер процесса изменения выходной переменной объекта во времени при переходе объекта из одного установившегося состояния в другое и описывается уравнением вида  $y = f(x, t)$ , где  $t$  – время. Изменение регулируемой величины зависит от свойств объекта и от характера возмущения.

Параметры объекта принято определять по динамической характеристике, представляющей собой изменение регулируемой величины во времени при скачкообразном изменении положения регулирующего органа. Графики ступенчатых воздействий показаны на рис. 3.41, а.

Для представления динамических характеристик объектов могут использоваться переходная характеристика и передаточная функция.

*Переходной характеристикой объекта*  $y(t)$  (рис. 3.41, б) называется динамическая характеристика, определяющая изменение выходной величины объекта во времени при входном ступенчатом воздействии:  $x(t) = A \cdot 1(t)$ , где  $1(t)$  – единичное ступенчатое воздействие;  $A$  – постоянная.

При этом  $1(t) = 0$  при  $t < 0$ .

Переходная характеристика, получаемая при  $x(t) = 1(t)$ , называется *переходной функцией* и обозначается  $h(t)$  (рис. 3.41, б).

Удобство переходной характеристики основано на применимости к линейным системам принципа суперпозиции. В соответствии с этим принципом при подаче на линейную систему совокупности различных воздействий ее реакция равна сумме реакций на каждое из этих воздействий в отдельности. Следовательно, зная переходную функцию объекта как реакцию на единичное входное ступенчатое воздействие, можно определить его реакцию на любое другое

входное воздействие, предварительно представив его с определенным приближением в виде совокупности единичных входных ступенчатых воздействий.

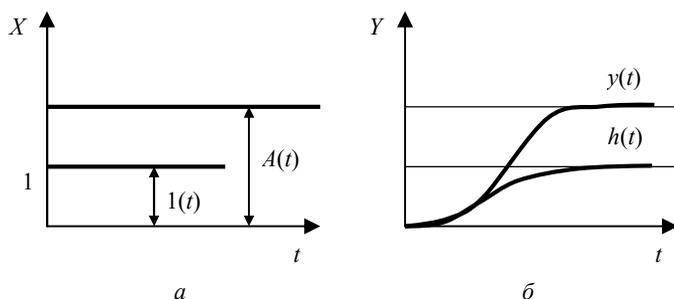


Рис. 3.41. График ступенчатого воздействия (а) и переходная характеристика (б)

*Динамические свойства управляемого объекта* определяют как выбор автоматического регулятора, так и характер переходного процесса после нарушения равновесия системы.

Свойства объектов управления могут быть самые разнообразные. Следовательно, регулирующие органы, исполнительные механизмы и измерительные преобразователи также будут отличаться всевозможными конструктивными решениями, так как их устанавливают непосредственно в объектах управления. Все данные устройства необходимо тщательно подбирать для реализации САР.

### **3.5.2. Выбор контрольно-измерительных приборов (КИП)**

При выборе КИП учитывают: параметры контролируемой и окружающей среды; размеры и характер контролируемого объекта; расстояние между точкой измерения и вторичным прибором; механические воздействия; функциональное назначение прибора (для отсчета численного значения параметра – цифровые, для контроля и слежения – приборы с подвижной стрелкой и т. д.).

При выборе КИП руководствуются следующими показателями:

- точность прибора (для контроля и регулирования с высокой степенью точности – класс точности 0,2, средней – 0,5, невысокой – 1);
- чувствительность прибора (шкалы приборов выбирают так, чтобы характерные значения измеряемых величин укладывались во вторую половину или подледную треть шкалы);

– инерционность прибора (должна быть значительно ниже инерционности объекта). Если объект управления описывается передаточной

функцией  $W_{об}(P) = \frac{k_{об} e^{-\frac{\tau_{об}}{P}}}{T_{об}P + 1}$ , а прибор –  $W_{кип}(P) = \frac{k_{кип} e^{-\frac{\tau_{кип}}{P}}}{T_{кип}P + 1}$ ,

то должны быть соблюдены условия:

$$\begin{aligned} \tau_{кип} &\leq (0,2 \dots 0,3) \tau_{об}; \\ T_{кип} &\leq (0,2 \dots 0,3) T_{об}. \end{aligned} \quad (21)$$

### 3.5.3. Выбор датчиков

При выборе датчиков руководствуются следующими показателями:

– линейность и однозначность статической характеристики (нелинейность не более 0,1–0,3 %);

– стабильность характеристик во времени;

– высокая перегрузочная способность;

– высокое быстродействие и чувствительность (характерные значения измеряемых величин – в диапазоне  $1/3$ – $2/3$  пределов измерений);

– инерционность прибора (должна быть значительно ниже инерционности объекта).

Если передаточная функция объекта имеет вид:

$$W_{об}(P) = \frac{k_{об} e^{-\frac{\tau_{об}}{P}}}{T_{об}P + 1}, \quad (22)$$

а передаточная функция датчика:

$$W_{д}(P) = \frac{k_{д} e^{-\frac{\tau_{д}}{P}}}{T_{д}P + 1}, \quad (23)$$

то должны быть выполнены условия:

$$\begin{aligned} \tau_{д} &\leq (0,2 \dots 0,3) \tau_{об}; \\ T_{д} &\leq (0,2 \dots 0,3) T_{об}. \end{aligned} \quad (24)$$

Выбирают датчики в два этапа:

1) по роду контролируемого параметра и условиям работы определяют разновидность датчика;

2) после выбора всех элементов в САУ находят типоразмер датчика.

Характеристики некоторых датчиков приведены в практикуме [51, прилож. 4]. Кроме того, при выборе датчиков можно использовать сведения базы данных Imbase пакета САПР CADElectro или каталогов.

Принцип действия датчиков для измерения различных величин изложен в методическом пособии [52, глава 18]. Там же приведена классификация датчиков. По мнению автора, датчики по воздействию определяемой физической величины подразделяются на контактные и бесконтактные. В случае использования второй группы датчиков различают их схемы подключения (рис. 3.42–3.44) в зависимости от параметров электропитания и характера нагрузки. На рис. 3.42 приведены возможные схемы подключения элементов на базе PNP- и NPN-транзисторов.

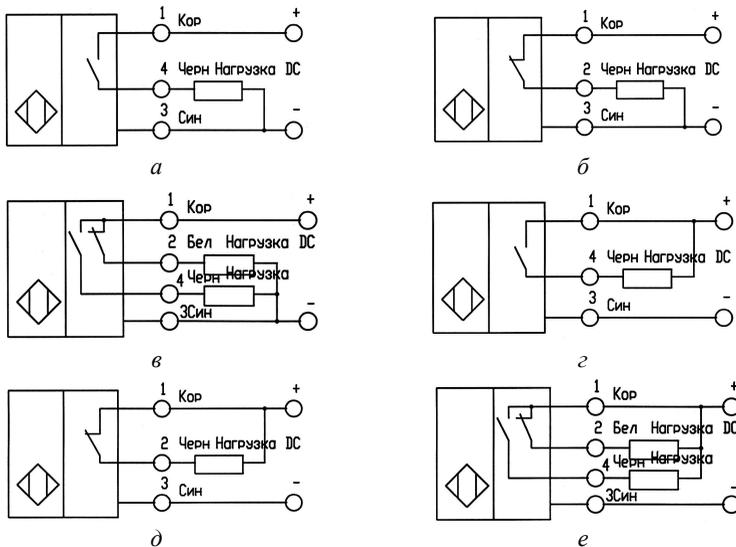


Рис. 3.42. Схемы подключения бесконтактных элементов датчиков с питанием постоянным током по трех- и четырехпроводной схеме: *а–в* – на базе PNP-транзисторов; *г–е* – на базе NPN-транзисторов; на схемах *а* и *г* коммутация происходит в функции нормально разомкнутого контакта, *б* и *д* – в функции нормально замкнутого контакта, *в* и *е* – в функции ИЛИ

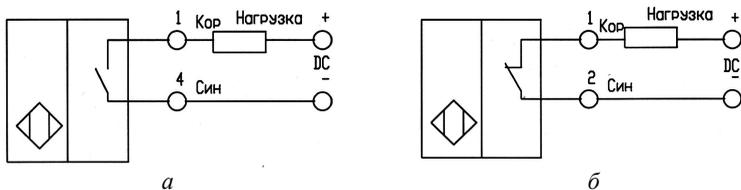


Рис. 3.43. Схемы подключения бесконтактных элементов датчиков с питанием постоянным током по двухпроводной схеме:  
 а – коммутация происходит в функции нормально разомкнутого контакта,  
 б – в функции нормально замкнутого контакта

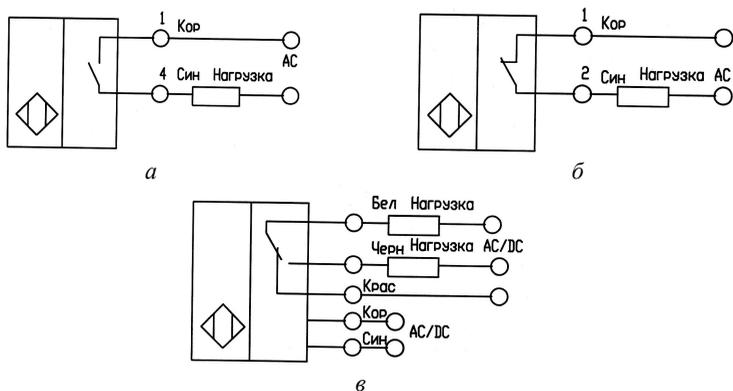


Рис. 3.44. Схемы подключения бесконтактных элементов датчиков с питанием переменным током:  
 а – коммутация происходит в функции нормально разомкнутого контакта,  
 б – в функции нормально замкнутого контакта, в – в функции ИЛИ

По электропитанию допускается применение постоянного тока напряжением 10–30 В (обеспечивается коммутация активной и индуктивной нагрузки); переменного тока напряжением 60–250 В (обеспечивается коммутация активной и слабоиндуктивной нагрузки с током удержания до 0,2 А).

### 3.5.4. Выбор регулирующих устройств

В сельскохозяйственном производстве широко распространены регуляторы непрерывного действия, позволяющие реализовать пропорциональный (П), интегральный (И), издромный (ПИ), пропорционально-дифференциальный (ПД), а также издромный с предварением (ПИД) законы регулирования, а также позиционные регуляторы.

Позиционные регуляторы, как правило, проще по устройству и в эксплуатации и дешевле регуляторов плавного действия. Кроме того, непрерывное регулирование может быть реализовано только на объектах, регулирующий орган которых обеспечивает плавное изменение своего положения.

Непрерывное регулирование применяется при повышенных требованиях к качеству регулирования.

Простейшим (приближенным) критерием определения способа регулирования является отношение запаздывания регулирующего воздействия к постоянной времени объекта управления  $\tau/T$ . Считается, что при  $\tau/T < 0,2$  может быть использовано позиционное регулирование, а при  $\tau/T > 1$  требуются особо чувствительные регуляторы, например цифровые. В промежутке между указанными пределами  $\tau/T$  (от 0,2 до 1) применяется плавное регулирование.

Время запаздывания регулирующего сигнала  $\tau$  в этом случае выражается суммой

$$\tau = \tau_{p.o} + T_{p.o} + \tau_{o.y},$$

где  $\tau_{p.o}$ ,  $\tau_{o.y}$  – запаздывание в регулирующем органе и объекте управления;

$T_{p.o}$  – постоянная времени емкостного регулирующего органа.

Величина  $T$  – постоянная времени объекта управления. Для много-емкостных объектов это сумма постоянных времени всех емкостей  $T_i$ .

### *3.5.4.1. Выбор регуляторов непрерывного действия*

Перечислим основные достоинства и недостатки непрерывных законов регулирования.

**П-закон** характеризуется быстродействием и высокой устойчивостью, но наличием статической ошибки. Его рекомендуется применять, когда в объекте отсутствует самовыравнивание и наблюдаются частые и резкие возмущающие воздействия.

**И-закон** характеризуется точностью, но замедленностью действия. Его рекомендуется применять в объектах с самовыравниванием, при значительных, но плавных и редких колебаниях нагрузки.

**ПИ-закон** характеризуется быстродействием и точностью. Его рекомендуется применять в объектах как с самовыравниванием, так и без, когда нужна высокая точность регулирования при больших, но плавных изменениях нагрузки.

**ПИД-закон** рекомендуется применять в объектах, допускающих статические неравномерности, у которых нагрузка меняется часто и резко и наблюдается значительное запаздывание.

Рассмотрим принцип работы регулятора непрерывного действия на примере регулятора подачи воздуха в топку котла. Эта система является следящей. Подача воздуха в топку пропорциональна подаче газа. При снижении или увеличении подачи газа должна снижаться или увеличиваться подача воздуха, чтобы обеспечить наилучшее сгорание топлива. Это достигается путем автоматического управления заслонкой на закрытие или открытие. Структурная схема регулятора непрерывного действия приведена на рис. 3.45.

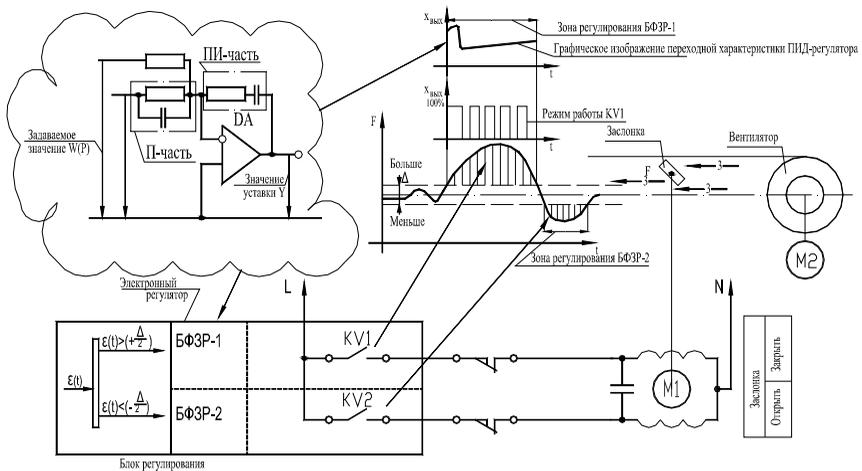


Рис. 3.45. Блок-схема аналогового ПИД-регулятора (БФЗР-блок формирования закона регулирования)

Датчиком нашего регулятора должен быть расходомер газа. Сигнал от датчика поступает на сравнивающее устройство, где суммируется с сигналом задатчика и преобразуется в сигнал рассогласования, который поступает на блоки формирования закона регулирования (БФЗР).

В регулирующем блоке устанавливается нечувствительность регулятора  $\Delta$ , определяющая минимальную величину входного сигнала, при котором подается команда на исполнительный механизм. При малых величинах нечувствительности наблюдаются очень частые включения исполнительного механизма, которые

могут привести к быстрому выходу его из строя. Определять величину нечувствительности можно по формуле

$$\Delta = 0,5\sigma_{\text{доп}} k_{\text{шт}}, \quad (25)$$

где  $\sigma$  – допустимое отклонение регулируемого параметра;

$k$  – крутизна характеристики первичного преобразователя.

Прибором определяется полярность сигнала рассогласования, в результате чего сигнал попадает на один из входов (БФЗР-1 или БФЗР-2), в котором сигнал формируется по определенным законам и поступает на соответствующий вход исполнительного механизма для закрытия или открытия заслонки. Контакты KV1, KV2 регулирующего прибора работают в импульсном режиме, ускоряя или замедляя перемещение заслонки в соответствии с законом регулирования.

Под *законом регулирования* подразумевается функциональная связь между выходным сигналом (координатой)  $X_{\text{вых}}$  регулятора и его входной координатой  $X_{\text{вх}}$  как в установившемся, так и в переходном режимах.

По количеству реализуемых законов регулирования, то есть функциональных зависимостей выходной величины от входной, различают регуляторы интегральные (И), или астатические; пропорциональные (П), или статические; пропорционально-интегральные (ПИ), или изодромные; пропорционально-дифференциальные (ПД), или статические с предварением; пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД), или изодромные с предварением. Характеристики регуляторов приведены в табл. 3.10.

В аналоговых регуляторах закон регулирования формируется, как правило, в соответствующих устройствах обратной связи, за исключением интегрального регулятора, который не имеет дополнительной обратной связи.

Если встречно-параллельно регулирующему блоку включить устройство обратной связи (рис. 3.46), то передаточная функция регулятора будет иметь вид:

$$W_p(P) = \frac{W_{p.б}(P)}{1 + W_{p.б}(P)W_{o.с}(P)} = \frac{1}{\frac{1}{W_{p.б}(P)} + W_{o.с}(P)}, \quad (26)$$

где  $W_{p.б}(P)$  и  $W_{o.с}(P)$  – передаточные функции регулирующего блока и устройства обратной связи соответственно.

Аналитические и графические характеристики

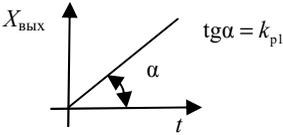
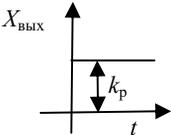
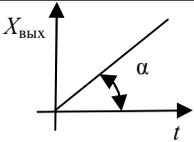
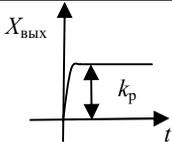
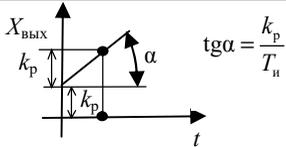
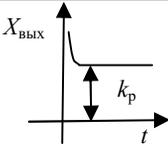
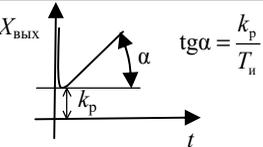
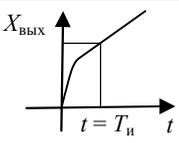
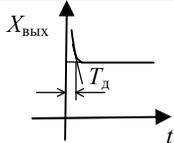
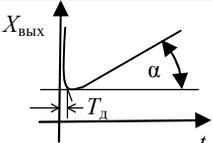
Закон регулирования	И	П
Дифференциальное уравнение регулятора	$X_{\text{вых}} = k_{p1} \int X_{\text{вх}} dt$	$X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}}$
Передаточная функция $W_p(P)$	$\frac{k_{p1}}{P}$	$k_p$
Переходная характеристика $h(t)$ при единичном возмущении $X_{\text{вх}} = 1$	$X_{\text{вых}} = k_{p1} t$	$X_{\text{вых}} = k_p$
Графическое изображение переходной характеристики		
Передаточная функция устройства обратной связи	—	$\frac{1}{k_p}$
Дифференциальное уравнение устройства обратной связи	—	$X_{\text{вых}} = \delta X_{\text{вх}}$
Наименование регуляторов по виду обратной связи	Без обратной связи	С жесткой обратной связью
Наименование типовых звеньев, соответствующих устройствам обратной связи	—	Усилительное звено
Графическое изображение переходной характеристики реального регулятора		
Настроечные параметры регуляторов	$k_{p1}, \Delta$	$k_p(\delta), \Delta$

Таблица 3.10

регуляторов непрерывного действия

ПИ	ПД	ПИД
$X_{\text{ВЫХ}} = k_p \left( X_{\text{ВХ}} + \frac{1}{T_i} \int X_{\text{ВХ}} dt \right)$	$X_{\text{ВЫХ}} = k_p \left( X_{\text{ВХ}} + T_d \frac{dX_{\text{ВХ}}}{dt} \right)$	$X_{\text{ВЫХ}} = k_p \left( X_{\text{ВХ}} + \frac{1}{T_i} \int X_{\text{ВХ}} dt + T_d \frac{dX_{\text{ВХ}}}{dt} \right)$
$\frac{k_p (T_i P + 1)}{P}$	$k_p (1 + T_d P)$	$\frac{T_d T_i P^2 + T_i P + 1}{T_i P}$
$X_{\text{ВЫХ}} = k_p \left( 1 + \frac{t}{T_i} \right)$	$X_{\text{ВЫХ}} = k_p [1 + T_d \delta f(t)]$	$X_{\text{ВЫХ}} = k_p [1 + \frac{t}{T_i} + T_d \delta f(t)]$
		
$\frac{\delta T_i P}{T_i P + 1}$	$\frac{\delta}{T_d P + 1}$	$\frac{\delta T_d P}{T_d T_i P^2 + T_i P + 1}$
$T_i \frac{dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + X_{\text{ВЫХ}} = \delta T_i \frac{dX_{\text{ВХ}}}{dt}$	$T_d \frac{dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + X_{\text{ВЫХ}} = \delta X_{\text{ВХ}}$	$T_i T_d \frac{d^2 X_{\text{ВЫХ}}}{dt^2} + T_i \frac{dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + X_{\text{ВЫХ}} = \delta T_i \frac{dX_{\text{ВХ}}}{dt}$
С гибкой обратной связью	С инерционной обратной связью	С инерционной гибкой обратной связью
Реальное дифференцирующее звено	Апериодическое звено	Последовательно включенные дифференцирующее и апериодическое звенья
		
$k_p(\delta), T_i, \Delta$	$k_p(\delta), T_d, \Delta$	$k_p(\delta), T_i, T_d, \Delta$

*Примечание:*  $k_p$  – коэффициент передачи регулятора;  $T_n$  – время издрорма;  $T_d$  – время предварения;  $\delta$  – степень неравномерности, равная  $\frac{1}{k_p}$ ;  $\delta f(t)$  – функция,

характеризующая поведение дифференциальной части ПД- и ПИД-регуляторов при воздействии на их вход ступенчатой функции и имеющая следующее аналитическое выражение:

$$\delta f(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0 \\ 0 & \text{при } t \neq 0 \end{cases}; \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta f(t) dt = 1.$$

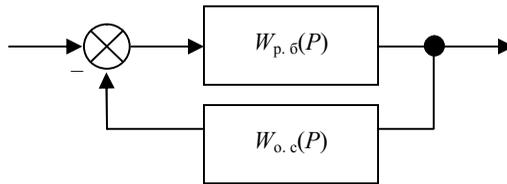


Рис. 3.46. Структурная схема регулирующего блока с отрицательной обратной связью

Членом  $\frac{1}{W_{p, \delta}(P)}$  в знаменателе выражения (26) при приближенных расчетах можно пренебречь, тогда:

$$W_{o, c}(P) = \frac{1}{W_p(P)}. \quad (27)$$

То есть *передаточная функция устройства обратной связи может быть легко получена, если известна передаточная функция регулятора.*

В табл. 3.10 приведены передаточные функции и дифференциальные уравнения устройств обратной связи регуляторов, их наименования и наименования типовых звеньев.

Известно, что переходной процесс в САУ характеризуется временем регулирования  $t_p$ , перерегулированием  $\sigma$ , максимальным динамическим отклонением  $y_1$ , статической ошибкой  $y_{ст}$ . Реализацией различных законов регулирования для одного и того же объекта не удастся добиться одновременной минимизации всех названных показателей. В этой связи САУ принято настраивать на один из трех типовых переходных процессов (рис. 3.47):

– аperiodический (характеризуется максимальным динамическим отклонением, отсутствием перерегулирования, незначительным временем регулирования);

– с 20%-м перерегулированием (характеризуется наличием значительного перерегулирования, сравнительно небольшим временем регулирования, незначительным динамическим отклонением);

– с минимальным интегральным критерием (характеризуется существенным временем регулирования, большим перерегулированием, наименьшим динамическим отклонением).

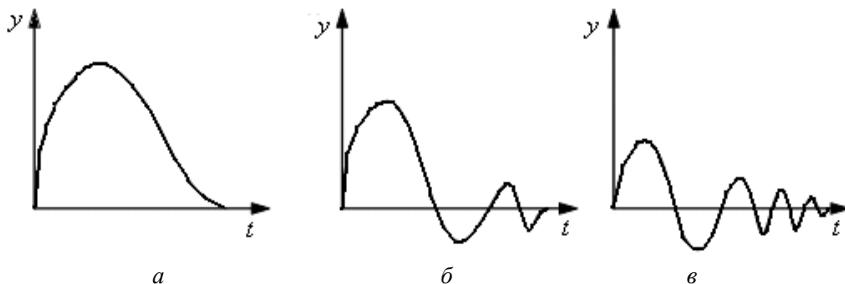


Рис. 3.47. Типовые переходные процессы

**Упрощенная методика выбора наилучшего закона регулирования** для конкретного объекта заключается в следующем:

1. Определить динамический коэффициент регулирования.

Для статического объекта:

$$R_d = \frac{y_1}{k_{об} y_v}, \quad (28)$$

где  $y_1$  – максимальное динамическое отклонение;

$k_{об}$  – коэффициент передачи объекта;

$y_v$  – максимально возможное возмущение по нагрузке (обычно выражают в процентах хода регулирующего органа).

Для астатического объекта:

$$R_d = \frac{y_1}{\epsilon_{об} \tau_{об} y_v}, \quad (29)$$

где  $\epsilon_{об}$  – скорость разгона  $\epsilon_{об} = 1/T_a$  ( $T_a$  – время разгона);

$\tau_{об}$  – время чистого запаздывания.

Параметры астатического объекта определяются графическим методом по кривым разгона.

2. По соответствующим графикам или таблицам определить закон регулирования, наиболее подходящий для данного объекта.

Если объект статический, для определения закона регулирования необходимо воспользоваться одной из графических зависимостей, изображенных на рис. 3.48.

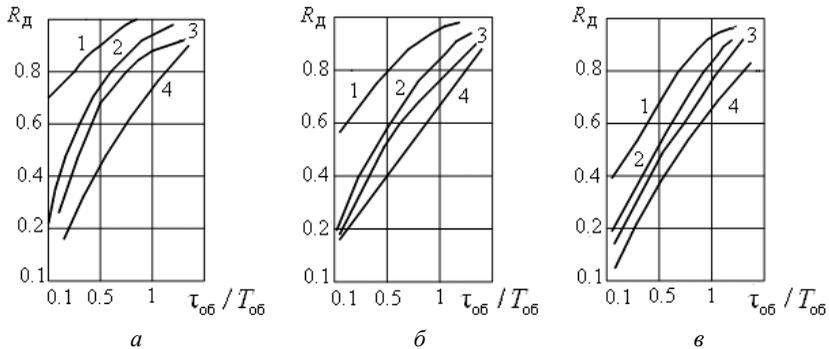


Рис. 3.48. Графическая зависимость для определения закона регулирования: а – для аperiodического процесса; б – для процесса с 20%-м перерегуливанием; в – для процесса с минимальным интегральным критерием; 1, 2, 3, 4 – И-, П-, ПИ-, ПИД-регуляторы

Закон регулирования для астатического объекта может быть найден по табл. 3.11.

Таблица 3.11

Динамические коэффициенты регулирования для астатических объектов

Закон	$R_d$ типового переходного процесса		
	Аperiodический	С 20%-м перерегуливанием	С минимальным интегральным критерием
П	2,9	1,4	–
ПИ	1,4	1,3	0,9
ПИД	1,3	1,1	0,8

3. Проверить, будет ли при этом законе обеспечиваться необходимое время регулирования, которое определяется соответствующими технологическими нормами. Для этого нужно воспользоваться выражением

$$t_p = \Psi \tau_{об}, \quad (30)$$

где  $\Psi$  – относительное время регулирования в соответствии с табл. 3.12.

Таблица 3.12

Относительное время регулирования

Закон	Объект	$\Psi$ типового переходного процесса		
		Апериодический	С 20%-м перерегулированием	С минимальным интегральным критерием
П	Статический	4,5	6,5	9,0
	Астатический	6,0	8,0	–
ПИ	Статический	8,0	12,0	16,0
	Астатический	14,0	16,0	18,0
ПИД	Статический	5,5	7,0	10,0
	Астатический	9,0	12,0	13,0

Для И-закона регулирования относительное время для статических объектов (И-регуляторы для астатических объектов не применяются, так как в этом случае получается структурно-неустойчивая САУ) может быть найдено по графикам (рис. 3.49).

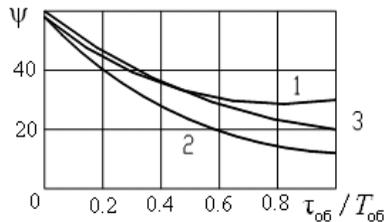


Рис. 3.49. Относительное время регулирования для И-закона:

1 – для апериодического процесса; 2 – для процесса с 20%-м перерегулированием; 3 – для процесса с минимальным интегральным критерием

Если для рассматриваемого объекта П-закон – наилучший, то в этом случае необходимо определить статическую ошибку и сопоставить ее с допустимой:

$$y_{ст} = y_{в} \frac{k_{об}}{1 + k_{об} k_p}, \quad (31)$$

где  $k_p$  – коэффициент передачи регулятора.

Поскольку переходной процесс в САУ настраивается на один из типовых, то сам процесс вычисления  $y_{ст}$  упрощается (можно воспользоваться графиками на рис. 3.50).

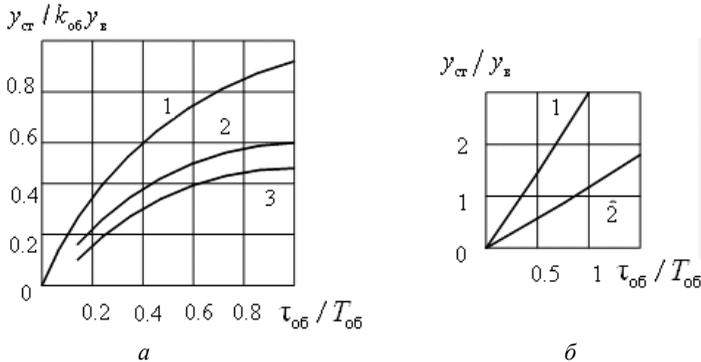


Рис. 3.50. Определение статической ошибки для типовых переходных процессов:  $a$  – статических объектов;  $b$  – астатических объектов: 1 – для аperiodического процесса; 2 – для процесса с 20%-м перерегулированием; 3 – для процесса с минимальным интегральным критерием

Если статическая ошибка превышает допустимую, вместо П-закона выбирают ПИ-закон, а затем проверяют время регулирования.

Закон непрерывного регулирования может быть уточнен и по диаграмме А. Я. Лернера [58, с. 122].

**Расчет параметров настройки регуляторов непрерывного действия.** Выбранный закон регулирования, а следовательно, и регулятор должны обеспечить один из типовых переходных процессов. При том или ином переходном процессе параметры настройки регулятора будут значительно отличаться, поэтому необходимо их рассчитать.

Существуют несколько методик, по которым проводят расчет [60, с. 132–143]:

- расчет на заданный запас устойчивости по амплитуде;
- расчет на заданное значение показателя колебательности;
- расчет по расширенным амплитудно-фазным характеристикам на заданное качество переходного процесса;
- расчет параметров по справочным таблицам (приближенный метод).

Современные программные средства позволяют легко моделировать работу САУ, если известно математическое описание ее основных звеньев. Наиболее полные возможности для решения таких задач дает матричная лаборатория MatLAB, которая имеет мощные средства математически ориентированного программирования, диалога, графики и комплексной визуализации. Популярности системы MatLAB способствует ее мощное расширение Simulink, предоставляющее пользователю удобные и простые средства (в том числе визуального объектно-ориентированного программирования) для блочного моделирования линейных и нелинейных динамических систем, а также множество других пакетов расширения системы [61].

Рассмотрим пример моделирования работы САУ. Возьмем контур регулирования скорости выгрузки зерна из сушилки по температуре нагрева. Представим контур регулирования в виде функциональной схемы (рис. 3.51), удобной для проведения анализа.

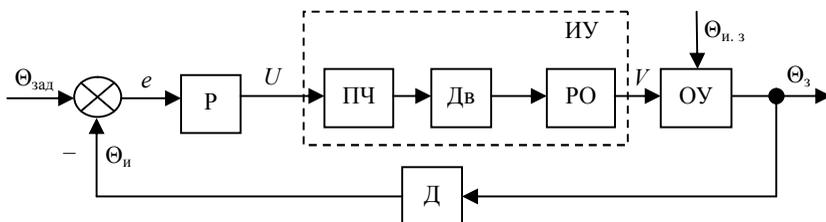


Рис. 3.51. Функциональная схема САУ сушилки по контуру температура нагрева зерна – скорость выгрузки: Р – регулятор; ПЧ – преобразователь частоты; Дв – двигатель; РО – рабочий орган; ОУ – объект управления; Д – датчик

Итак, регулируемым параметром является температура нагрева зерна  $\Theta_z$ , максимальное значение которой определяется видом и типом зерновой культуры. Возмущающее воздействие – температура зерна на входе  $\Theta_{и.з}$ , управляющее воздействие – скорость выгрузки зерна  $V$ . Действительное значение температуры измеряет датчик температуры Д. Сигнал с датчика поступает в контроллер, который является и сравнивающим устройством, и регулятором Р. Сигнал сравнения поступает на блок в программе контроллера, формирующий закон регулирования, и на аналоговом выходе контроллера формируется плавно изменяющийся сигнал напряжения  $U$ ,

который поступает на преобразователь частоты ПЧ, устанавливающий частоту двигателя Дв выгрузного устройства РО. ПЧ, Дв и РО составляют исполнительное устройство ИУ.

Однако для анализа САР необходимо знать математическое описание звеньев, чтобы на его основе составить структурную алгоритмическую схему (рис. 3.52). Передаточная функция сушилки по заданному каналу регулирования приведена выше. ИУ состоит из нескольких блоков: ПЧ, Дв и РО, которые стоят последовательно, поэтому их можно представить в виде эквивалентного звена, передаточная функция которого получена путем перемножения передаточных функций составных звеньев. В структурной алгоритмической схеме они будут заменены одним блоком с соответствующей передаточной функцией. Передаточные функции остальных звеньев и их параметры представлены в соответствии с рекомендациями [62].

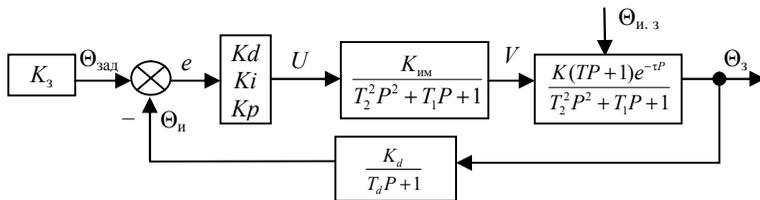


Рис. 3.52. Структурная алгоритмическая схема САР сушилки по контуру температура нагрева зерна – скорость выгрузки

Чтобы проанализировать контур регулирования в MatLAB, необходимо представить структурную схему (рис. 3.52) в виде типовых блоков библиотеки Simulink (рис. 3.53).

Запуск системы MatLAB осуществляется из рабочего меню через кнопку «Пуск» или с помощью ярлыка на рабочем столе. После запуска появляется основное окно системы (рис. 3.54).

Для подбора параметров ПИД-регулятора необходимо задать модель САР в системе MatLAB. Для этого требуется открыть пакет блочного ситуационного моделирования Simulink через кнопку «Пуск» системы MatLAB либо инструмент . При этом открывается окно Simulink Library Browser, в котором выбирается меню File\New\Model.

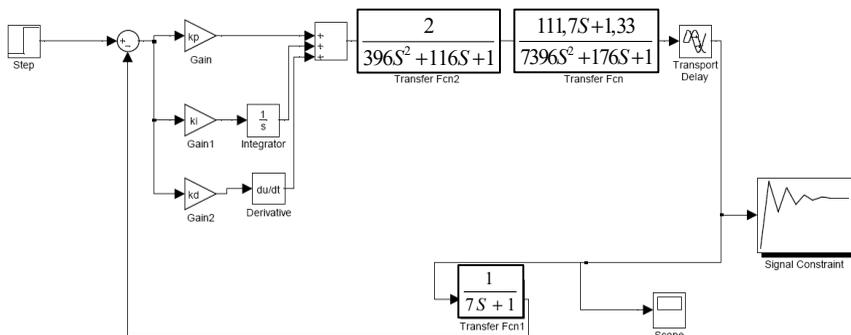
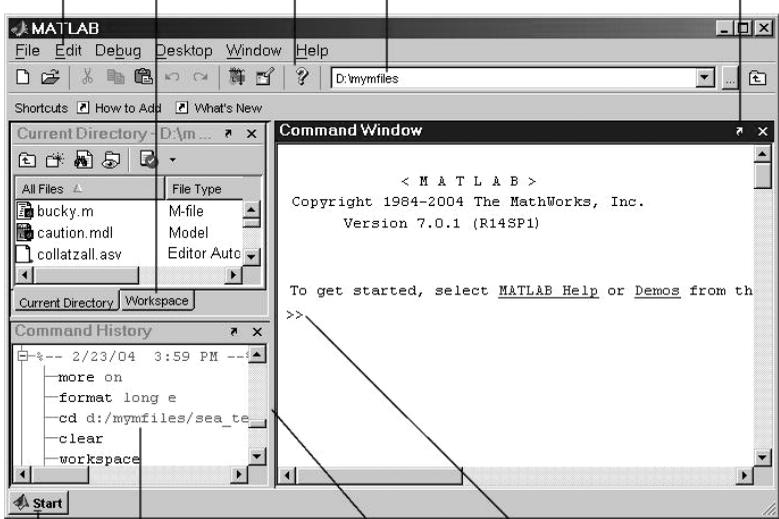


Рис. 3.53. Структурная алгоритмическая схема САР сушилки, адаптированная для анализа в MatLAB

Меню Правка зависит от используемого средства  
 Используйте вкладку для перехода  
 Помощь  
 Просмотр или изменение текущей директории  
 Переместите командное окно с рабочего стола



Щелкните кнопку «Пуск» для быстрого вызова инструментов и пакетов расширений  
 Просмотрите или вырежьте использованные ранее функции из окна истории команд  
 Потяните разделитель для изменения размеров окна  
 Введите Matlab-функцию в командную строку

Рис. 3.54. Основное окно системы MatLAB

Пакет расширения Simulink служит для создания имитационных моделей, состоящих из графических блоков с заданными свойствами (параметрами). Компоненты моделей, в свою очередь, являются графическими блоками и моделями, которые содержатся в ряде библиотек и с помощью мыши могут переноситься в основное окно и соединяться друг с другом необходимыми связями. В состав моделей могут включаться источники сигналов различного вида, виртуальные регистрирующие приборы, графические средства анимации. Двойной щелчок ЛК мыши на блоке модели выводит окно со списком его параметров, которые пользователь может менять. Запуск имитации обеспечивает математическое моделирование построенной модели с наглядным представлением результатов.

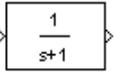
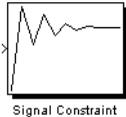
Оптимизацию САР проведем по переходной функции объекта [61] согласно структурной схеме, подав на вход единичное ступенчатое воздействие и задав следующие ограничения: перерегулирование  $\leq 20\%$ , статическая ошибка равна нулю, время регулирования не более 300 с.

Для создания модели САР (рис. 3.53) должны быть активными окно библиотеки Simulink Library Browser и окно Simulink. Последовательно перетащим все блоки модели из библиотеки (пути прописаны в табл. 3.13) в окно Simulink, настраивая параметры каждого блока в диалоговом окне, вызываемом двойным щелчком ЛК мыши по изображению блока. При этом получим вид, представленный на рис. 3.55. Остается соединить блоки линиями связи. Подведем мышь к выходу блока и, удерживая ее ЛК, прорисуем линию до соединения со входом другого блока.

Таблица 3.13

Параметры блоков, используемых в модели САР

Условное обозначение блока	Описание блока	Путь в библиотеке	Параметры
	Step – генерирует ступенчатый сигнал	Simulink\Sources\Step	По умолчанию
	Sum – суммирует или вычитает входные сигналы	Simulink\Math Operations\Sum	В диалоговом окне параметров в строке List if signs требуется установить +-

Условное обозначение блока	Описание блока	Путь в библиотеке	Параметры
	Gain – усиливает входной сигнал	Simulink\Math Operations\Gain	В диалоговом окне параметров на вкладке Main в строке Gain требуется установить соответственно для блока Gain – $Kp$ , Gain1 – $Ki$ , Gain2 – $Kd$
	Add – суммирует или вычитает входные сигналы	Simulink\Math Operations\Add	В диалоговом окне параметров в строке List if signs требуется установить +++
	Transfer Fcn – задает передаточную функцию	Simulink\Continuous\Transfer Fcn	В диалоговом окне параметров в строке Denominator требуется установить для блока объекта регулирования [T1 T2 1]
	Scope – выводит сигналы, полученные во время моделирования	Simulink\Sinks\Scope	По умолчанию
	Signal Constraint – проводит оптимизацию модели по переходной функции	Simulink Response Optimization\Signal Constraint	По умолчанию

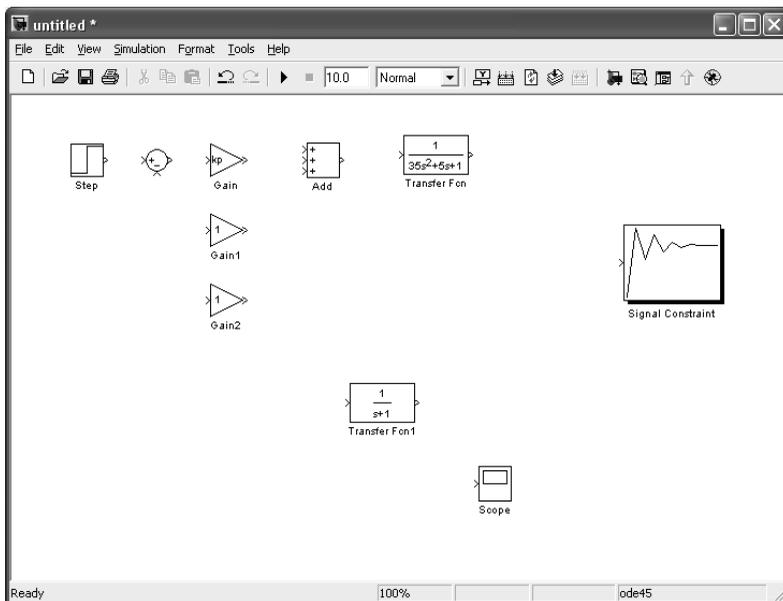


Рис. 3.55. Создание модели САП в Simulink

Однако, прежде чем приступить к моделированию и оптимизации САП, требуется задать начальные значения параметров регулятора:  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$ . Поэтому в головном окне MatLAB в области Command Window зададим:  $K_p = 1$ ,  $K_i = 0$ ,  $K_d = 0$  (пропорциональный закон регулирования).

Запустим моделирование и посмотрим график переходного процесса (рис. 3.56), установив в окне Simulink в области Simulation Stop Time время моделирования, равное 3000 с, и нажмем на кнопку старта . Чтобы просмотреть график, откроем окно Scope, дважды щелкнув ЛК мыши по одноименному блоку. Для большей наглядности нажмем на кнопку автомасштаба  в окне Scope. При этом на графике имеем существенную величину статической ошибки (50 %) и значительную продолжительность времени регулирования (950 с).

Далее перейдем к подбору параметров регулятора, используя блок Signal Constraint. Двойным щелчком ЛК мыши по указанному блоку вызовем диалоговое окно оптимизации, где необходимо задать границы (перетаскиваются мышью), в которые должен укладываться переходный процесс. Чтобы настроить изменяемые пара-

метры  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$ , необходимо открыть диалоговое окно по пути меню Optimization/Tuned Parameters и нажать на кнопку Add. После нажатия на кнопку старта будет происходить подбор параметров с одновременным построением графиков (рис. 3.57).

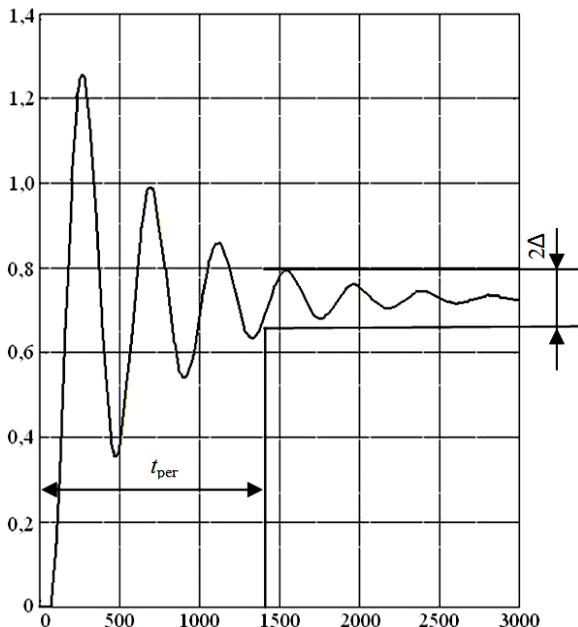


Рис. 3.56. Переходная функция САР сушилки с начальными параметрами:  $2\Delta$  – допустимая статическая ошибка;  $t_{per}$  – время регулирования

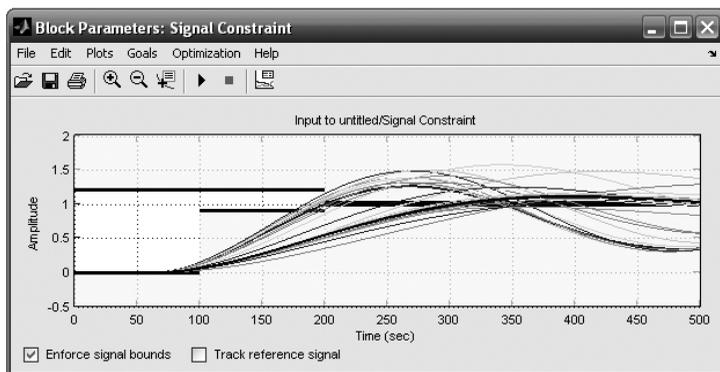


Рис. 3.57. Подбор параметров в блоке оптимизации MatLAB

После вхождения графика в заданные границы в окне оптимизации будут вычислены оптимальные изменяемые параметры, а в окне Score будет показан график оптимизированной САР.

В качестве метода оптимизации по умолчанию установлен метод градиентного спуска. Однако при использовании данного метода не удалось получить требуемые показатели переходного процесса (рис. 3.58). Кроме того, наблюдаются возрастающие колебания. Поэтому изменим метод оптимизации на Симплекс-метод, где результат гораздо лучше (рис. 3.59). Зацикливание обеспечивается при параметрах:  $Kd = -7,6 \cdot 10^{-4}$ ;  $Ki = 0,0018$ ;  $Kp = 0,43$ . Время регулирования составляет 900 с, перерегулирование – 10 %.

Однако наилучший результат получается при использовании метода прямого поиска (рис. 3.60). Зацикливание обеспечивается при параметрах:  $Kd = 49,3$ ;  $Ki = 0,0024$ ;  $Kp = 0,76$ . Время регулирования составляет 280 с, перерегулирование – 7 %, запаздывание – 60 с, статическая ошибка равна нулю.

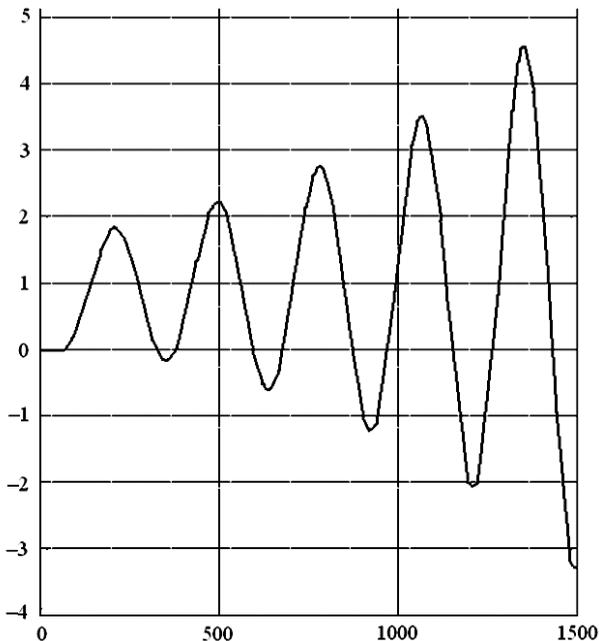


Рис. 3.58. Результат моделирования при использовании метода градиентного спуска

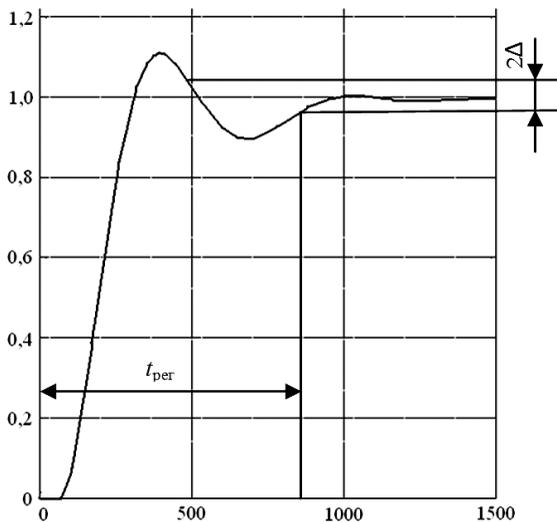


Рис. 3.59. Результат моделирования при использовании Симплекс-метода

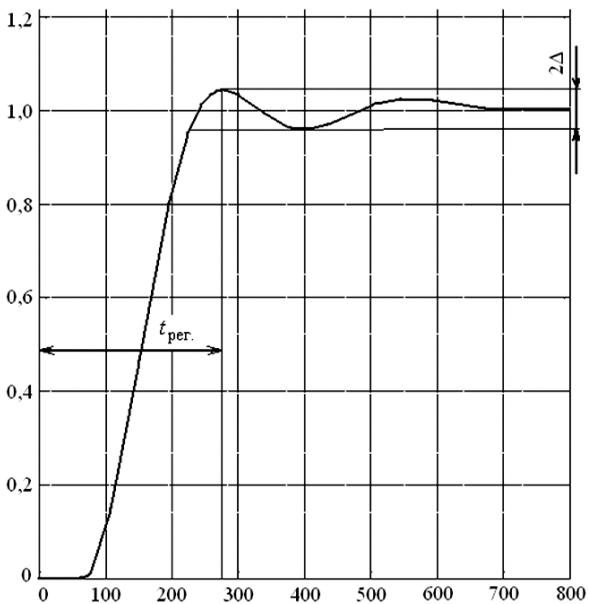


Рис. 3.60. Переходная функция САР сушилки с оптимальными параметрами (результат моделирования при использовании метода прямого поиска)

Данные параметры понадобятся для того, чтобы задать значения в контуре регулирования, реализуемом в программе контроллера.

Если математическое описание объекта управления отсутствует, необходимо провести его идентификацию, используя методику [9, с. 141–164].

### 3.5.4.2. Выбор регуляторов, обеспечивающих позиционный закон регулирования

Регулирующий контур позиционного регулятора состоит из датчика, аналогового или цифрового позиционного регулирующего прибора и исполнительного устройства дискретного действия (регулирующий орган открыт/закрыт). В настоящее время в промышленности широко применяются двухпозиционные, трехпозиционные и многопозиционные электрические регуляторы.

Двухпозиционными регуляторами называют такие регуляторы, выходная величина которых может принимать только два установленных значения. На рис. 3.61 изображена структурная схема электронного двухпозиционного регулирующего прибора.

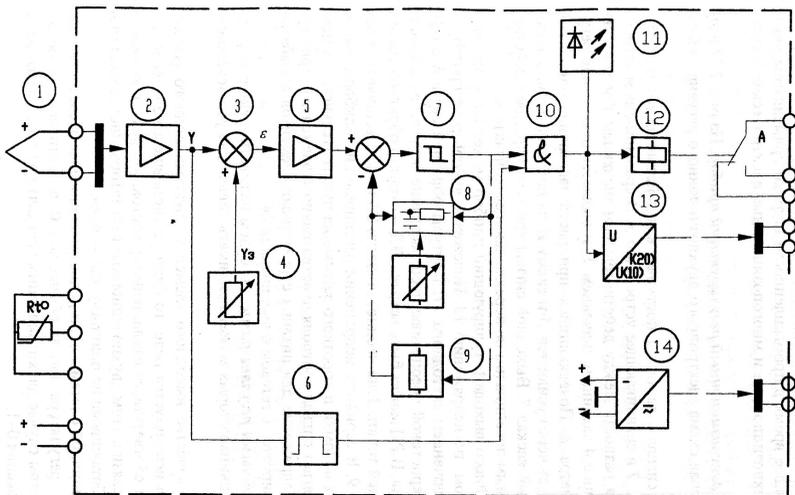


Рис. 3.61. Структурная схема электронного двухпозиционного регулирующего прибора: 1 – датчик; 2, 5 – усилители; 3 – сравнивающее устройство; 4 – задатчик номинала; 6 – защита; 7 – триггерный каскад; 8 – контур обратной связи; 9 – задатчик зоны неоднозначности; 10 – звено сопряжения; 11 – светодиод; 12 – реле; 13 – выходной блок; 14 – блок питания

Аналоговый сигнал с датчика 1 поступает как действительное значение  $Y$  через усилитель 2 в сравнивающее устройство 3. В сравнивающем устройстве формируется разность между действительным значением  $Y$  и установленным на задатчике 4 заданным значением  $Y_3$  и выдается отклонение регулируемого параметра  $\epsilon$ . Появляющийся при рассогласовании разностный сигнал воздействует через усилитель 5 и схему И на последовательно включенный триггерный каскад 7. Выходной сигнал триггера управляет действием реле 12 с нулевым потенциалом на переключающем контакте А.

Вместо релейного выхода регулирующей прибор может быть оснащен двоичным выходом по напряжению 13. Положение «якорь реле притянут» показывается включением светодиода 11. Контуры обратной связи 8 с ПД- или ПИД-характеристикой обеспечивают согласование регулятора с объектом регулирования. В РП может быть встроен ПД-контур обратной связи с коррекцией рабочей точки. Зона неоднозначности  $2\Delta$  может устанавливаться через устройство 9. В серийном исполнении регулирующей прибор оснащается защитой 6 от поломки и короткого замыкания чувствительного элемента. Звено 10 сопрягает сигнал контроля чувствительного элемента с триггерным сигналом. Напряжение для питания структурных элементов вырабатывается и стабилизируется в сетевом блоке питания 14.

Так, если в качестве выходного элемента двухпозиционного регулирующего прибора используется реле, то одно установившееся значение выходной величины соответствует отключенному состоянию реле, а второе – включенному. В связи с этим двухпозиционные регуляторы иногда называют регуляторами, работающими по принципу «да–нет».

Исходя из двоичной системы счета, одно установившееся состояние выходной величины регулятора иногда обозначают «0», а противоположное состояние – «1». В этом случае двухпозиционные регуляторы также называют регуляторами с законом регулирования «0»–«1».

На рис. 3.62 приведена статическая характеристика двухпозиционного регулирующего прибора.

При включении регулятора в суммирующем устройстве регулирующего прибора происходит сравнение заданного значения контролируемого параметра  $Y_{зд}$  с его начальным значением  $Y_n$ . Если

сигнал рассогласования  $\epsilon = (Y_n - Y_{зд}) < 0$ , он поступает на усилитель и включается реле KV регулирующего прибора. Замыкающий контакт регулирующего прибора используется для управления исполнительным механизмом регулятора. В качестве исполнительного механизма в позиционных регуляторах используются электромагниты, электродвигатели, электрические нагревательные элементы. В объект начинает поступать вещество или энергия. Контролируемый параметр становится переменным во времени  $Y(t)$ .

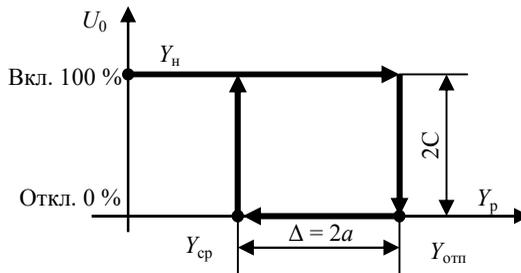


Рис. 3.62. Статическая характеристика двухпозиционного регулирующего прибора:  $Y_p$  – рабочая зона регулирующего прибора, в единицах параметра регулируемой величины;  $Y_{cp}$  – величина параметра для срабатывания реле;  $Y_{отп}$  – величина параметра для отпускания реле;  $\Delta$  – устанавливаемая зона неоднозначности;  $U_0$  – управляющее воздействие начального значения

При достижении сигналом рассогласования значения  $\epsilon = [Y(t) - Y_{зд}] > 0$  катушка реле KV обесточивается, контакт размыкается. В объект прекращает поступать вещество (энергия). Одновременно по каналу местной обратной связи значение  $Y_{зд}$  увеличивается на величину  $\Delta$ . Значение параметра, в связи с прекращением поступления в объект вещества (энергии), начинает снижаться. При уменьшении  $Y(t) > Y_{зд}$  или  $Y(t) \approx Y_{зд}$  на величину  $\Delta$ , то есть до значения  $Y_{cp}$ , включается реле регулируемого прибора. Одновременно восстанавливается значение  $Y_{зд}$ . В объект поступает вещество (энергия). Цикл повторяется.

В аналоговых двухпозиционных регулирующих приборах заданное значение регулируемой величины и зону неоднозначности устанавливают путем перемещения движков потенциометров. В цифровых регулирующих приборах параметры настройки устанавливаются с помощью встроенной в прибор клавиатуры и дисплея.

Двухпозиционные регуляторы имеют режим переключательной функции «ВКЛЮЧИТЬ–ВЫКЛЮЧИТЬ». Это соответствует 100 % и 0 % исполнительного действия (хода регулирующего органа). При таком типе регулирующего воздействия происходят незатухающие колебания регулируемой величины  $Y$  относительно заданной максимальной  $Y_{\max}$  и заданной минимальной  $Y_{\min}$ . Характер переходного процесса нелинейных автоматических систем с релейными регуляторами определяется видом статической характеристики релейного элемента, а также видом объекта: статический, астатический с запаздыванием, без запаздывания (рис. 3.63).

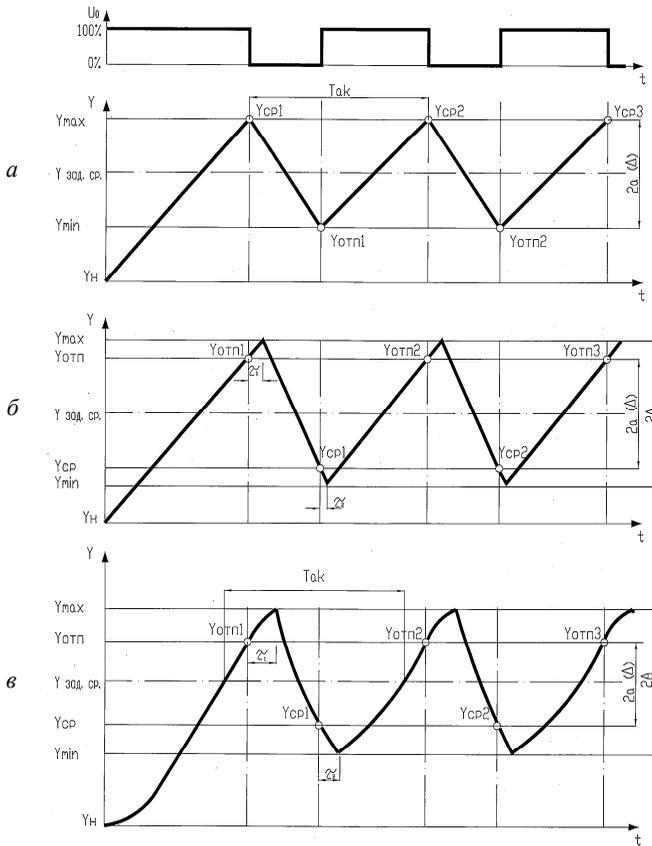


Рис. 3.63. Динамика двухпозиционного регулирования:  
 а – астатического объекта без запаздывания; б – астатического объекта с запаздыванием; в – статического объекта с запаздыванием

Если имеется астатический (без самовыравнивания, рис. 3.63, а) объект с передаточной функцией

$$W(P)_{об} = \frac{k_a}{T_a P} = \frac{\varepsilon_{об}}{P}, \quad (32)$$

где  $k_a$  – передаточный коэффициент;

$T_a$  – постоянная времени объекта;

$\varepsilon_{об}$  – коэффициент астатизма объекта,

то при ступенчатой подаче на вход объекта управляющего воздействия регулируемая величина будет изменяться по линейному закону:

➤ для положительного входного воздействия (приток):

$$y_1 = \frac{k_a}{T_a} X_{вх} t = \varepsilon_{об} C t; \quad (33)$$

➤ для отрицательного входного воздействия (отток):

$$y_2 = -\frac{k_a}{T_a} X_{вх} t = -\varepsilon_{об} C t. \quad (34)$$

При отсутствии в объекте запаздывания амплитуда автоколебаний относительно среднего значения параметра  $Y_{зад. ср}$  равна половине ширины петли статической характеристики регулирующего прибора, так как выходная величина начинает нарастать в момент замыкания контакта регулирующего прибора и спадать сразу после размыкания.

Из простых геометрических построений следует, что период автоколебаний

$$T_{ак} = \frac{4a}{\varepsilon_{об} C} = \frac{4aT_a}{k_a C}; \quad (35)$$

$$t_1 = t_2 = t = \frac{2a}{\varepsilon_{об} C}.$$

В релейных автоматических системах с астатическим объектом при наличии запаздывания динамика процесса регулирования несколько отличается от динамики регулирования объекта без запаздывания, хотя и в этом случае будет присутствовать режим автоколебаний (рис. 3.63, б). В самом деле, поскольку имеются запаздывания, регулируемая величина продолжает увеличиваться после прекращения притока в течение времени  $\tau_1$  (время запаздывания

для условий притока). Только после истечения  $\tau_1$  регулируемая величина начинает уменьшаться из-за наличия оттока, причем уменьшение будет продолжаться и после появления притока – в течение времени  $\tau_2$  (времени запаздывания для условий оттока). Следует иметь в виду, что наклоны возрастающей и убывающей прямых процесса двухпозиционного регулирования в общем случае неодинаковы за счет неравноценного влияния притока и оттока на объект и за счет различных передаточных коэффициентов объектов для режимов притока и оттока.

В этом случае передаточная функция объекта

$$W(P) = \frac{k_{1,2}}{T_{1,2}P} e^{-\tau_{1,2}P}. \quad (36)$$

Из геометрических построений следует, что амплитуда автоколебаний больше, чем половина ширины петли статической характеристики, и имеет вид:

$$A = a + \frac{C}{2} \left( \frac{k_1 \tau_1}{T_1} + \frac{k_2 \tau_2}{T_2} \right). \quad (37)$$

В частном случае, когда  $k_1 = k_2$ ,  $\tau_1 = \tau_2$ ,  $T_1 = T_2$ :

$$A = a + \frac{Ck\tau}{T}. \quad (38)$$

В общем случае период автоколебаний

$$T_{\text{ак}} = 2a \frac{k_1 T_2 + k_2 T_1}{k_1 k_2 C} + 2\tau_1 + 2\tau_2. \quad (39)$$

В частном случае:

$$T_{\text{ак}} = \frac{4aT}{kC} + 4\tau. \quad (40)$$

Из приведенных зависимостей следует, что из-за наличия запаздывания в объекте увеличивается амплитуда и период автоколебаний регулируемой величины.

В общем случае среднее значение автоколебательного процесса может не совпадать с заданным значением регулируемой величины  $Y_{\text{зад. ср.}}$ .

Более сложная кривая регулируемой величины получается при работе двухпозиционного регулятора со статическим объектом при наличии запаздывания (рис. 3.63, в).

В этом случае передаточная функция объекта

$$W(P) = \frac{ke^{-\tau_{1,2}P}}{T_{1,2}P + 1}. \quad (41)$$

На участке нарастания кривой (при наличии притока) регулируемая величина изменяется согласно соотношению:

$$Y = kC \left( 1 - e^{-\frac{t-\tau_1}{T_1}} \right). \quad (42)$$

На участке убывания регулируемой величины:

$$Y = kCe^{\tau_1 \left( -\frac{t-\tau_2}{T_2} \right)}. \quad (43)$$

Путем математических выкладок и преобразований можно получить выражения для определения амплитуды и периода автоколебаний.

Амплитуду автоколебаний в общем случае можно найти из соотношения (при  $k_1 = k_2 = k$ ):

$$2A = kC - (Y_{cp} - a)\lambda_2 - (kC - Y_{cp} - a)\lambda_1, \quad (44)$$

где  $\lambda_1 = e^{-\frac{\tau_1}{T_1}}$ ;  $\lambda_2 = e^{-\frac{\tau_2}{T_2}}$ .

В частном случае при  $\tau_1 = \tau_2$  и  $T_1 = T_2$ :

$$A = kC(1 - \lambda) + 2a. \quad (45)$$

Период автоколебаний может быть определен из выражения

$$T_{ак} = T_1 \ln \frac{kC - (Y_{cp} - a)\lambda_2}{(kC - Y_{cp} - a)\lambda_1} + T_2 \ln \frac{kC - (kC - Y_{cp} - a)\lambda_1}{(Y_{cp} - a)\lambda_2}. \quad (46)$$

Если динамика нарастания и убывания регулируемой величины одинакова, то есть  $T_1 = T_2$  и  $\tau_1 = \tau_2$ , то зависимость для  $T_{ак}$  значительно упрощается:

$$T_{\text{ак}} = 2\tau + T\ln \frac{\left(\frac{kC}{\lambda} - Y_{\text{ср}} + a\right) \left(\frac{kC}{\lambda} - kC + Y_{\text{ср}} + a\right)}{(kC - Y_{\text{ср}} - a)(Y_{\text{ср}} - a)}. \quad (47)$$

Таким образом, задача *настройки* двухпозиционных регуляторов заключается в том, чтобы применительно к данному объекту рассчитать и установить настроечные параметры  $Y_{\text{отп}}$  (для притока) или  $Y_{\text{ср}}$  (для оттока) и зону неоднозначности  $\Delta$ .

При наладке релейных регуляторов чаще всего бывает необходимо изменять частоту и амплитуду автоколебаний. При этом используют три принципиально разных способа: изменяют зону нечувствительности (ширину петли) релейного элемента, изменяют значения притока и оттока управляющего воздействия и вводят динамические элементы в схему регулятора.

Из рассмотренных зависимостей для определения амплитуды и периода автоколебаний видно, что уменьшение ширины петли релейной статической характеристики приводит к уменьшению амплитуды и периода автоколебаний, следовательно, повышает точность регулирования.

Из выражений для амплитуды и периода автоколебаний видно также, что повысить точность регулирования можно путем уменьшения притока и оттока. Это наглядно показано на рис. 3.64.

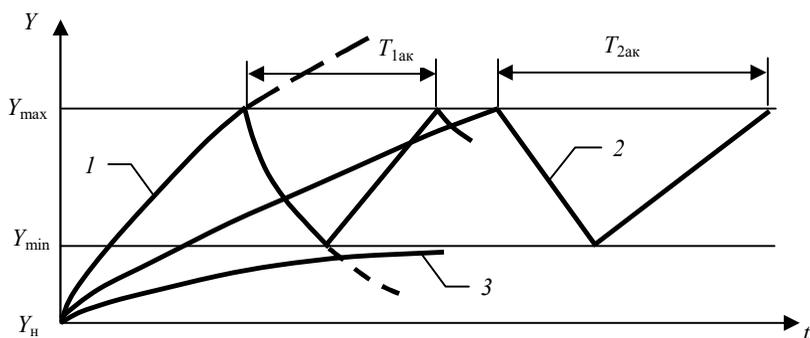


Рис. 3.64. Динамика двухпозиционного регулирования при различных значениях притока-оттока:  
 1 – значение притока-оттока велико; 2 – значение притока-оттока оптимально; 3 – значение притока мало

### 3.5.5. Выбор регулирующих органов

Регулирующие органы – один из самых ответственных элементов в САУ. По принципу воздействия на объект регулирующие органы подразделяются на дроселирующие и дозирующие. Так, при регулировании потоков газов и жидкостей применяют различные дросельные заслонки, клапаны, шиберы и т. д., а при регулировании расхода сыпучих материалов – тарельчатые и скребковые питатели, дозаторы и т. п.

Каждый регулирующий орган в зависимости от конструктивных особенностей можно описать тремя качественными показателями:

- пропускной способностью  $K_v$ ;
- пропускной характеристикой, которая устанавливает зависимость пропускной способности  $K_v$  от перемещения затвора  $S$  при постоянном перепаде давления;
- расходной характеристикой, устанавливающей зависимость относительного расхода  $\mu$  среды от степени открытия регулирующего органа.

Расчет регулирующего органа осуществляют для существующей или спроектированной технологической установки.

Чтобы выполнить *расчет для существующей технологической установки*, необходимы следующие данные:

- а) схема расчетного технологического участка с указанием длин и внутренних диаметров трубопроводов и характера местных сопротивлений, а также разности высот расположения начала и конца технологического участка;
- б) давление в начале и конце технологического участка;
- в) потери давления при максимальном расходе в технологических аппаратах, установленных в пределах расчетного технологического участка;
- г) максимальный и минимальный расходы протекающего вещества;
- д) рабочие характеристики протекающего вещества (температура, объемный вес и коэффициент вязкости);
- е) абсолютное давление насыщенных паров при рабочей температуре для нагретых жидкостей.

*Последовательность расчета:*

1. Определяют потери давления при максимальном расходе на трение и местные сопротивления трубопроводов:

$$\Delta P_{\text{п}} = \sum \lambda \frac{L}{D_{\text{тр}}} \frac{\omega^2}{2g};$$

$$\Delta P_{\text{м}} = \sum \xi \frac{\omega^2}{2g} \gamma,$$
(48)

где  $L$  – длина трубопровода, м;

$D_{\text{тр}}$  – внутренний диаметр трубопровода, м;

$\omega$  – скорость протекания, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\gamma$  – объемный вес протекающего вещества, кгс/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент сопротивления трения в прямых участках трубопровода;

$\xi$  – коэффициент местного сопротивления.

2. Определяют перепад давлений в регулирующем органе при максимальном расходе:

$$\Delta P_{\text{мин}} = [(P_0 - P_{\text{к}}) \pm Z\gamma] - \Delta P_{\text{Тmax}},$$
(49)

где  $P_0$  – давление в начале технологического участка, кгс/м<sup>2</sup>;

$P_{\text{к}}$  – давление в конце технологического участка, кгс/м<sup>2</sup>;

$Z$  – разница высот начала и конца технологического участка, м;

$\gamma$  – объемный вес протекающего вещества, кгс/м<sup>3</sup>;

$\Delta P_{\text{Тmax}} = \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{м}}$  – потери давления на трение и на местные сопротивления трубопроводов.

Величину  $Z$  принимают со знаком плюс, если начало технологического участка расположено выше его конца, и со знаком минус – при их обратном расположении. Для газа и пара этой величиной можно пренебречь.

3. Определяют максимальную расчетную пропускную способность:

а) для потока жидкости:

$$K_{\text{vmax}} = Q_{\text{max}} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{мин}}}} \quad (\text{для объемного расхода});$$
(50)

$$K_{\text{vmax}} = \frac{G_{\text{max}}}{1000 \sqrt{\Delta P_{\text{мин}} \gamma}} \quad (\text{для весового расхода});$$
(51)

б) для потока газа при докритическом режиме течения, когда  $\Delta P_{\min} < \Delta P_{\text{кр}}$ :

$$K_{v\max} = \frac{Q_{\text{пmax}}}{535} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{п}} T_1 K'}{\Delta P_{\min} P_2}} \quad (\text{для объемного расхода}); \quad (52)$$

$$K_{v\max} = \frac{Q_{\text{пmax}}}{535} \sqrt{\frac{T_1 K'}{\Delta P_{\min} P_2 \gamma_{\text{п}}}} \quad (\text{для весового расхода}); \quad (53)$$

в) для потока газа при критическом режиме течения, когда  $\Delta P_{\min} \geq \Delta P_{\text{кр}}$ :

$$K_{v\max} = \frac{Q_{\text{пmax}}}{268 P_1} \sqrt{\gamma_{\text{п}} T_1 K'} \quad (\text{для объемного расхода}); \quad (54)$$

$$K_{v\max} = \frac{Q_{\text{пmax}}}{268 P_1} \sqrt{\frac{T_1 K'}{\gamma_{\text{п}}}} \quad (\text{для весового расхода}); \quad (55)$$

г) для потока перегретого или сухого насыщенного пара:

– когда  $\Delta P_{\min} < \Delta P_{\text{кр}}$ :

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{33 P_1} \sqrt{\frac{v_2}{\Delta P_{\min}}}; \quad (56)$$

– когда  $\Delta P_{\min} \geq \Delta P_{\text{кр}}$ :

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{23,4} \sqrt{\frac{v_1}{P_1}}. \quad (57)$$

Критический перепад давлений  $\Delta P_{\text{кр}}$  для газа и пара принимают равным  $P_1/2$ , если отсутствуют более точные данные для определения этих величин для выбранного типа регулирующего органа.

В формулах использованы следующие обозначения:

$P_1$  – абсолютное давление протекающего вещества при максимальном расходе до регулирующего органа, кгс/см<sup>2</sup>;

$P_2$  – абсолютное давление протекающего вещества при максимальном расходе после регулирующего органа, кгс/см<sup>2</sup>;

$\Delta P$  – перепад давлений в регулирующем органе, кгс/см<sup>2</sup>;

$T_1$  – температура газа до регулирующего органа, К;

$K'$  – коэффициент сжимаемости, учитывающий отклонение данного газа от законов идеального газа;

$\gamma$  – объемный вес жидкости, гс/см<sup>3</sup>;

$\gamma_{\text{п}}$  – объемный вес газа, приведенный к условиям  $P = 1,033$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t = 0$  °С, кгс/м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – объемный вес газа в рабочих условиях при  $P_1$  и  $T_1$ , гс/см<sup>3</sup>;

$v_1$  и  $v_2$  – удельный объем пара при температуре  $t_1$  до регулирующего органа соответственно при  $P_1$  и  $P_2$ , м<sup>3</sup>/кгс;

$Q_{\text{max}}$  – максимальный объемный расход протекающего вещества для жидкости, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{\text{пmax}}$  – максимальный объемный расход протекающего вещества для газа, м<sup>3</sup>/ч;

$G_{\text{max}}$  – весовой расход протекающего вещества, кгс/ч.

По вычисленным значениям  $K_{v \text{ max}}$  по заводским каталогам (табл. П4.3, прилож. 4 практикума [51]) выбирают регулирующий орган с условной пропускной способностью  $K_{vy} \geq \eta K_{v \text{ max}}$ , где  $\eta$  – коэффициент запаса, принимаемый не менее 1,2.

4. Определяют условную пропускную способность с учетом запаса и диаметр условного прохода выбранного типа регулирующего органа.

5. Производят учет влияния вязкости и определение пропускной способности для вязких жидкостей в соответствии со следующими положениями. На пропускную способность регулирующего органа может оказывать влияние вязкость протекающей жидкости, и это необходимо учитывать в случае, если вычисленное число Рейнольдса  $Re$  для максимального расхода жидкости меньше или равно 2000. Число Рейнольдса при максимальном расходе определяется следующим образом:

$$Re = 3540 \frac{Q_{\text{max}}}{v D_y}, \quad (58)$$

где  $v$  – объемный вес вещества, гс/см<sup>3</sup>;

$D_y$  – условный диаметр регулирующего органа, см.

Так как повышенная вязкость вызывает уменьшение пропускной способности регулирующего органа, то вычисленное значение  $K_{v \text{ max}}$  следует умножить на коэффициент  $\psi$ , взятый из графика рис. 6.18 [51].

Тогда величина пропускной способности

$$K_{\text{вв}} \geq \eta \psi K_{\text{вы max}}. \quad (59)$$

Если полученное значение  $K_{\text{вв}}$  меньше или равно  $K_{\text{вы}}$ , выбранному предварительно, то принимают регулирующий орган со значением  $K_{\text{вы}}$ . Если нет, то процедура выбора регулирующего органа повторяется.

6. Для подогретых жидкостей проводят проверку на кавитацию. Кавитационные явления в регулирующих клапанах происходят в тех случаях, когда при протекании жидкости через дросселирующее устройство клапана давление жидкости снижается до некоторого критического значения вследствие сужения потока и увеличения скорости протекания. Перепад давления, кгс/см, определяется как:

$$\Delta P_{\text{кав}} = K_c (P_1 - P_{\text{п}}), \quad (60)$$

где  $K_c$  – коэффициент кавитации;

$P_{\text{п}}$  – абсолютное давление насыщенных паров жидкости при температуре  $t_1$  до клапана, кгс/см<sup>2</sup>;

$P_1$  – абсолютное давление жидкости до клапана, кгс/см<sup>2</sup>.

Если окажется, что  $\Delta P_{\text{мин}} > \Delta P_{\text{кав}}$ , то определяют максимальный перепад давлений, при котором прекращается прирост расхода в условиях кавитации:

$$\Delta P_{\text{кав max}} = K_{c \text{ max}} (P_1 - r P_{\text{п}}), \quad (61)$$

где  $K_{c \text{ max}}$  – коэффициент кавитации, соответствующий максимальному расходу;

$r$  – поправочный коэффициент, учитывающий свойства протекающей жидкости (при отсутствии данных его значение равно 1).

Величины  $K_c$  и  $K_{c \text{ max}}$  определяют по кривым (рис. 6.19 [51]) в зависимости от типа регулирующего органа, направления потока относительно затворного устройства клапана и коэффициента сопротивления клапана:

$$\xi = \frac{25,4 F_y^2}{K_{\text{вы}}^2}, \quad (62)$$

где  $F_y$  – площадь сечения входного патрубка клапана.

По вычисленному значению определяют пропускную способность клапана, подставляя вместо  $\Delta P_{\min}$  рассчитанный  $\Delta P_{\text{кв. max}}$ .

7. Определяют оптимальную пропускную характеристику регулирующего органа.

Под пропускной характеристикой понимается зависимость пропускной способности регулирующего органа от степени его открытия. Определяют по графикам (рис. 3.65 и 3.66). При этом  $n = \frac{K_{\text{vy}}}{K_{\text{vT}}}$ , где  $K_{\text{vT}}$  – пропускная способность трубопровода. Находят подстановкой вместо  $\Delta P_{\min}$  потери давления в технологическом участке  $\Delta P_{\text{Tmax}}$  (без регулирующего органа):

$$q_{\max} = \frac{K_{\text{vmax}}}{K_{\text{vy}}}; \quad (63)$$

$$q_{\min} = q_{\max} \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}. \quad (64)$$

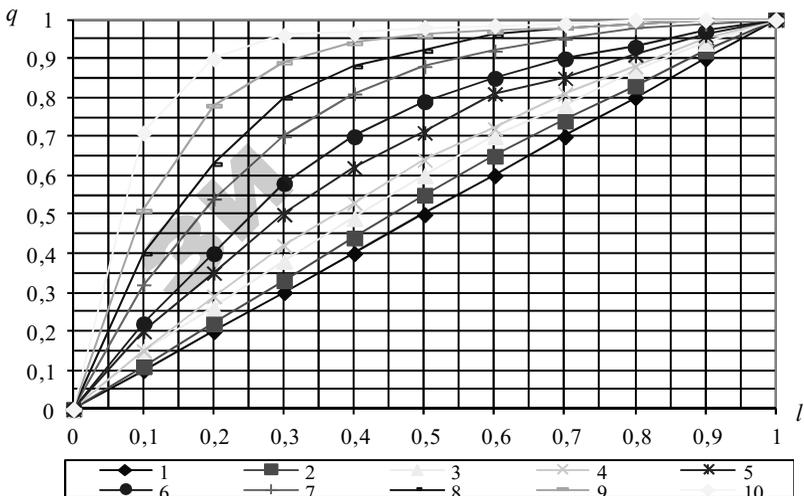


Рис. 3.65. Расходные характеристики для регулирующих клапанов с линейной пропускной характеристикой, где  $n$  для 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 0,8; 4 – 1; 5 – 1,5; 6 – 2; 7 – 3; 8 – 4; 9 – 6 и 10 – 10

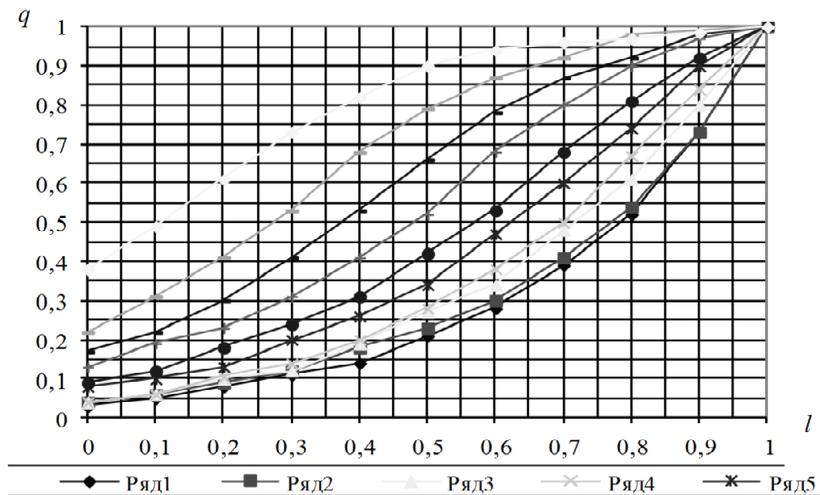


Рис. 3.66. Расходные характеристики для регулирующих клапанов с равнопроцентной пропускной характеристикой, где  $n$  для 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 0,8; 4 – 1; 5 – 1,5; 6 – 2; 7 – 3; 8 – 4; 9 – 6 и 10 – 10

**Расчет** регулирующего органа для проектируемого участка выполняют в следующей последовательности:

1. По спроектированной схеме технологического участка для выбранного внутреннего диаметра трубопровода определяют потери давления в технологическом участке без регулирующего органа  $\Delta P_t$  аналогично п. 1 предыдущего расчета.

2. Определяют предварительные значения относительного расхода:

$$q_{\max}^{\text{пр}} = \frac{Q_{\max}}{\eta Q_{\max}} = \frac{1}{\eta};$$

$$q_{\min}^{\text{пр}} = \frac{Q_{\min}}{\eta Q_{\max}},$$
(65)

где  $\eta$  – коэффициент запаса регулирующего органа.

По вычисленному диапазону изменения относительного расхода и по рабочим расходным характеристикам определяют пределы значений  $n$ , при которых отклонение коэффициентов передачи регулирующего органа от заданной зависимости от нагрузки не превышает допустимых значений.

3. Определяют пропускную способность трубопровода  $K_{vT}$  в зависимости от агрегатного состояния вещества.

4. Исходя из того, что  $D_y$  регулирующего органа не должен превышать диаметра условного прохода трубопровода, а давление в начале технологического участка  $P_0$  должно быть по возможности минимальным, приближенно определяют  $K_{vy}^{np}$  из соотношения  $K_{vy}^{np} = nK_{vT}$ . По полученному значению определяют ближайшую большую величину  $K_{vy}$ , тип и  $D_y$  регулирующего органа.

5. Определяют расчетную пропускную способность:

$$K_{vmax} = \frac{K_{vy}}{\eta}, \quad (66)$$

а затем – минимальный перепад давлений в регулирующем органе:

$$\Delta P_{min} = \frac{Q_{max}^2 \gamma}{K_{vmax}^2}. \quad (67)$$

6. Определяют давление  $P_0$  в начале технологического участка:

$$P_0 = P_k + \Delta P_{min} + \Delta P_{Tmax} \pm Z\gamma. \quad (68)$$

7. Определяют действительные значения максимального и минимального относительных расходов  $q_{max}$  и  $q_{min}$  для выбранного типа регулирующего органа и принятого значения  $n$  и по рабочей характеристике оценивают пределы отклонения коэффициентов передачи регулирующего органа от оптимальных значений.

### **3.5.6. Выбор исполнительных механизмов**

Исполнительные механизмы, непосредственно сочлененные с регулирующими органами, перемещают последние в соответствии с сигналом, поступающим от устройства, формирующего закон регулирования. Они подразделяются по виду потребляемой энергии на электрические, пневматические и гидравлические. Электрические, в свою очередь, подразделяются на электромагнитные (выбор сводится к расчету катушки электромагнита по напряжению и развиваемому тяговому усилию) и электродвигательные, которые выбирают в зависимости от значения момента, необходимого для вращения регулирующего органа. Характеристика

некоторых электродвигательных исполнительных механизмов приведена в прилож. 4 практикума [51].

Электродвигательные исполнительные механизмы выбирают в зависимости от значения момента, необходимого для вращения поворотных заслонок:

$$M_3 = k(M_p + M_T), \quad (69)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий затяжку сальников и загрязненность трубопровода (обычно  $k = 2 \dots 3$ );

$M_p$  – реактивный момент, обусловленный стремлением потока вещества закрыть регулирующий орган;

$M_T$  – момент трения в опорах.

В свою очередь:

$$M_p = 0,07 \Delta P_{po} D_y^3, \quad (70)$$

где  $\Delta P_{po}$  – перепад давления на регулирующем органе (рекомендуется принимать равным избыточному давлению перед регулирующим органом).

Момент трения в опорах:

$$M_T = 0,785 D_y^2 P_n r_{ш} \lambda, \quad (71)$$

где  $P_n$  – избыточное давление перед регулирующим органом;

$r_{ш}$  – радиус шейки вала регулирующего органа;

$\lambda$  – коэффициент трения в опорах.

Момент вращения на валу выбираемого исполнительного механизма должен быть не меньше момента, необходимого для вращения заслонки:

$$M_d \geq M_3. \quad (72)$$

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Каковы составные части регулятора в САР?
2. Какие параметры необходимо учитывать при выборе контрольно-измерительного прибора?
3. Перечислите принципы выбора датчиков в САР.
4. Для сельскохозяйственного объекта, передаточная функция

которого  $W_{об}(P) = \frac{0,8e^{-960P}}{2970P+1}$ , а регулируемая величина – температура

воздуха, подберите первичный преобразователь, если известно, что температура изменяется в пределах 10...35 °С.

5. Перечислите достоинства и недостатки основных законов автоматического регулирования.

6. Каковы рекомендации по определению закона регулирования, реализуемого регулятором в САР?

7. Опишите устройство аналогового позиционного регулятора.

8. Какова методика расчета параметров регулятора в САР?

9. Классифицируйте регулирующие органы.

10. Какова методика выбора регулирующего органа в САР?

11. Классифицируйте исполнительные механизмы.

12. Перечислите принципы выбора исполнительных механизмов в САУ.

### **3.6. Разработка принципиальных электрических схем контроля, регулирования и управления**

**3.6.1. Принципы разработки принципиальных электрических схем контроля, регулирования и управления**

**3.6.1.1. Назначение и типы принципиальных электрических схем**

**Принципиальная** (полная) **схема** – это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы установки или изделия.

**Элементом** схемы называется составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющая самостоятельное функциональное назначение (прибор, магнитный пускатель, трансформатор, ключ управления, резистор и т. д.).

Полные принципиальные электрические схемы *по функциональному назначению* можно разделить на: схемы управления технологическими процессами, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы управления состоят из силовых цепей или цепи главного тока и из вспомогательных цепей управления и защиты.

При всем многообразии принципиальных электрических схем управления технологическими процессами и степени их сложности они представляют собой определенным образом составленное

сочетание отдельных элементарных электрических цепей и типовых функциональных узлов, в заданной последовательности выполняющих ряд стандартных операций. Под стандартными операциями следует понимать передачу командных сигналов к органам управления или сигналов измерения к исполнительным органам, усиление или размножение командных сигналов, их сравнение, превращение кратковременных сигналов в длительные и наоборот, блокировку сигналов и т. д.

Принципиальная электрическая схема управления разрабатывается в соответствии с алгоритмом управления технологического процесса [7, с. 53–62] и дополняется типовыми принципиальными схемами регулирования, защиты и сигнализации.

Выбор типовых схем осуществляется в соответствии с общим комплексом вопросов, связанных с контролем, регулированием данного объекта и управлением им. Комплекс вопросов определяется на начальной стадии проектирования и обеспечивает надежность, простоту, удобство оперативной работы, эксплуатации и четкость действия схемы при аварийных режимах.

Полная принципиальная схема служит основанием для разработки монтажных таблиц щитов и пультов, схем соединений внешних проводов и других документов проекта.

Принципиальными схемами пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте.

### ***3.6.1.2. Основные требования к оформлению принципиальных электрических схем контроля, регулирования и управления***

Принципиальные электрические схемы управления, регулирования, измерения, сигнализации, питания, входящие в состав проектной документации систем автоматизации, оформляют в соответствии с требованиями общих госстандартов [22, 48, 63] по правилам выполнения схем за исключением основной надписи, которую оформляют так же, как и основные надписи других чертежей, входящих в состав проекта автоматизации [14].

На чертежах принципиальной электрической схемы системы автоматизации в общем случае должны изображаться:

– все электрические элементы, необходимые для управления, регулирования, измерения, сигнализации, электропитания;

- контакты аппаратов данной схемы, занятые в других схемах, и контакты аппаратов других схем;
- диаграммы и таблицы включений, контактов переключателей, программных устройств, конечных и путевых выключателей, циклограммы работы аппаратуры;
- поясняющая технологическая схема, схема блокировочных зависимостей работы оборудования (при необходимости);
- необходимые пояснения и примечания;
- перечень элементов.

Принципиальные электрические схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия не учитывают. Графическое обозначение элементов и соединяющие их линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

Возможны случаи, когда возникает необходимость в применении каких-либо графических изображений, не предусмотренных стандартом. Тогда допускается применять нестандартизированные графические обозначения, приводя при этом необходимые пояснения на схеме.

При выполнении схем рекомендуется пользоваться строчным способом. При этом условные графические обозначения элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки. Таким образом, схема в целом должна читаться слева

направо и сверху вниз. При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами.

Устройства, имеющие самостоятельную принципиальную схему (например, кнопочный пост, блоки Б5300 и т. д.), выполняют на схемах в виде фигуры сплошной линией, равной по толщине линии связи (см. примеры на чертежах).

Функциональную группу или устройство, не имеющее самостоятельной принципиальной схемы, выполняют в виде фигуры из контурных штрих-пунктирных линий, равных по толщине линии связи. Таким же образом допускается разграничивать элементы, расположенные в разных помещениях, с указанием наименования помещения.

Расстояние между двумя соседними линиями графического изображения должно быть не менее 1 мм, между соседними параллельными линиями связи – 3 мм, между отдельными условными графическими обозначениями – 2 мм.

Графические обозначения на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи. Условные графические обозначения элементов изображают на схеме в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах, или повернутыми на угол, кратный  $90^\circ$ , если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. Допускается условное графическое обозначение поворачивать на угол, кратный  $45^\circ$ , или изображать зеркально повернутыми, если только при этом не нарушится смысл или удобочитаемость обозначения.

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий – от 0,3 до 0,4 мм. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений (в отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линии связи, длину которых следует по возможности ограничивать). Линии связи, переходящие с одного листа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелки. Рядом с обрывом линии связи должно быть указано обозначение или наименование, присвоенное этой линии, и в круглых скобках номер листа схемы и зоны, при ее наличии, при выполнении схемы на нескольких листах, например лист 5, зона 6 (Л5.6), или обозначение

документа, на который переходит линия связи, при выполнении схем самостоятельными документами. В пределах одного листа линии связи допускается обрывать, если они затрудняют чтение схемы. Обрывы линий связи заканчивают стрелками. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий и необходимые характеристики цепей (полярность, потенциал).

Существуют несколько групп обозначений на чертеже принципиальной электрической схемы (рис. 3.67):

**1. Позиционное обозначение** в общем случае состоит из трех частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию. Первые два являются обязательной частью обозначения и должны быть присвоены всем элементам и устройствам. Указание функции не является обязательным. В первой части записывают одну или несколько букв для указания вида элемента [48, прилож. 1], во второй части – одну или несколько цифр для указания номера элемента, и в третьей (при необходимости) – одну или несколько букв для указания функции элемента [48, прилож. 2].

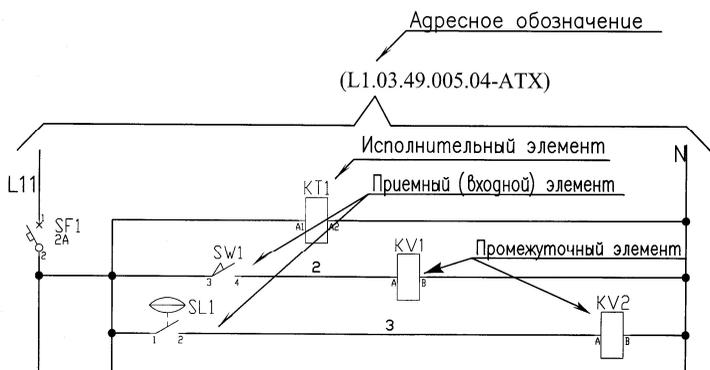


Рис. 3.67. Группы обозначений на чертеже принципиальной электрической схемы

Позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах изделия. Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. При необходимости

допускается изменять последовательность присвоения порядковых номеров в зависимости от размещения элементов в изделии, направления прохождения сигналов или функциональной последовательности процесса. Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов и устройств с правой стороны или над ними. Если в состав изделия входит несколько одинаковых устройств, то позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах этих устройств. Допускается в качестве кода вида применять однобуквенное обозначение. Например, когда в схеме магнитного пускателя не содержится реле, пускатель можно обозначить буквой К (хотя он имеет и двухбуквенный код КМ).

При разнесенном способе изображения иногда целесообразно раздельно изображенные части элементов соединять линией механической связи, указывая тем самым на принадлежность их к одному элементу.

**2. Обозначение электрического контакта.** Для обозначения электрического контакта в общем случае используют комбинацию букв и цифр. Обозначение контакта должно повторять маркировку контакта, нанесенную на объект или указанную в документации этого объекта. Если обозначение присваивают контактам при разработке объекта, то следует обозначить их номерами. Если контакты конструктивно сгруппированы в несколько групп, то допускается обозначать их по группам.

**3. Обозначение участков цепей.** Обозначение участков цепей в схемах служит для их опознавания, может отражать их функциональное назначение и создает связь между схемой и устройством. При обозначении используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры, выполненные одним кеглем. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Соединения, проходящие через неразборные, разборные и съемные контактные соединения, обозначают одинаково (допускаются в обоснованных случаях разные обозначения). Последовательность обозначения должна быть, как правило, от ввода (источника питания) к потребителю. Разветвляющиеся цепи обозначают сверху вниз в направлении слева направо. Для удобной ориентации в схемах при обозначении участков цепей допускается оставлять резервные номера или некоторые номера пропусков.

Обозначение цепи переменного тока состоит из обозначения участков цепей фазы и последовательного номера (1-я фаза – L1, L11, L12, L13 и т. д.; 2-я фаза – L2, L21, L22, L23 и т. д.; 3-я фаза – L3, L31, L32, L33 и т. д.). Пример обозначения показан на чертеже.

Допускается, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами *A, B, C*.

Цепи постоянного тока обозначают нечетными числами на участках положительной полярности и четными числами на участках отрицательной полярности. Входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности «L+» и «L-»; допускается применять только знаки «+» и «-».

Цепи управления, защиты, сигнализации обозначают последовательными числами в пределах изделия или установки.

Для обозначения цепей по функциональному признаку может быть рекомендовано использовать для цепей управления, регулирования и измерения группу чисел 1–399, для цепей сигнализации – 400–799, для цепей питания – 800–999. Вместо групп цифр функциональная принадлежность цепей принципиальной схемы может быть выражена и условно принятыми буквами.

На схеме обозначение проставляют около концов или в середине участка цепи: слева от изображения цепи – при вертикальном расположении цепи; над изображением цепи – при горизонтальном расположении цепи.

**4. Адресное обозначение в общем случае состоит из трех частей:** обозначение документа, с которым сопрягается данный документ; номер листа документа, с которым сопрягается данный лист документа; адрес другой части объекта (или ее изображение), с которой сопрягается данная часть объекта. Все части данного адресного обозначения записывают в указанном порядке и отделяют друг от друга точкой. Адресное обозначение применяется, например, для обозначения разрыва линий связи при переходе с листа на лист.

Данные об элементах принципиальной электрической схемы должны быть записаны в *перечень элементов*, который помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа и оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз.

В графе «Позиционные обозначения» указывают позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп; в графе «Наименование» для элемента (устройства) указывают

наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (ГОСТ, ОСТ, ТУ), для функциональной группы – наименование; в графе «Примечание» рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Элементы заносят в перечень группами в алфавитном порядке буквенно-позиционных обозначений, а в группах – по порядку номеров.

Запись элементов, входящих в каждое устройство (функциональную группу), начинают с наименования устройства или функциональной группы, которое записывают в графе «Наименование» и подчеркивают. Ниже наименования устройства (функциональной группы) должна быть оставлена одна свободная строка, выше – не менее одной свободной строки.

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают, как правило, над основной надписью.

Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм.

Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

### ***3.6.1.3. Типовые узлы принципиальных электрических схем управления, контроля, регулирования, защиты и сигнализации***

Полная принципиальная схема управления, контроля, регулирования, защиты и сигнализации разрабатывается в соответствии с требованиями к схеме САУ ТП, которые определяются в начальной стадии проектирования.

На этом этапе определяются режимы работы оборудования (автоматический, ручной, наладочный) и способ функционирования оборудования (исключающий одновременное управление в нескольких режимах), способы защиты технологического процесса и оборудования, виды и объем сигнализации.

При разработке систем управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства следует учитывать тот фактор, что оборудование ряда технологических процессов должно работать в режиме реального времени. К таким процессам относятся освещение в птичнике и досветка растений, кормление, доение, поддержание температурного режима в помещении и т. д.

Включение системы может обеспечить оператор с помощью тумблера или переключателя кнопочной станции.

Для функционирования САУ ТП без участия оператора используются программные устройства многосуточного действия типа УПУС, ПРУС (для управления световым режимом в птичнике) и устройства с суточным циклом работы типа 2РВМ – часового механизма, программное устройство которого делает один оборот в 24 ч. Современным средством, обеспечивающим многосуточный многопрограммный цикл автоматической работы оборудования, являются контроллеры [57].

**Переключение режимов работы оборудования.** В соответствии с техническим заданием на проектирование системы автоматического управления технологическим процессом (объектом управления) могут быть заданы кроме автоматического ручной и наладочный режимы работы, при этом исключается возможность одновременного управления в нескольких режимах.

Принципиальная схема управления таким процессом строится в соответствии со схемой, изображенной на рис. 3.68.

Переключение режимов работы оборудования производится переключателем SA. В автоматическом режиме напряжение подается на шину 1 и система работает в соответствии с алгоритмом. В ручном режиме напряжение подается на шину 2 и управление осуществляется вручную с помощью кнопочных блоков. Очередность включения агрегатов определяется технологическими условиями. На схеме (рис. 3.68) подача напряжения на катушку магнитного пускателя KM2 возможна после включения KM1 и замыкания контакта KM1 в цепи кнопочного блока SB4, SB5. Кнопочные блоки ручного управления устанавливаются на щите управления.

При выполнении наладочных и ремонтных работ в отдельных случаях возникает необходимость кратковременного включения исполнительных устройств на месте их установки. На катушку магнитных пускателей KM1 и KM2 в режиме наладки напряжение подается с шины 3 кнопками SB5 и SB6, установленными по месту.

Шинная организация связи может вызвать дополнительные цепи по контактным схемам исполнительных механизмов и шине 1, что вызывает одновременное срабатывание двух и более исполнительных механизмов при подаче управляющего сигнала на один из них в ручном или наладочном режимах. Разрыв дополнительных цепей можно обеспечить размыкающими контактами KV1 и KV2 реле, подключаемыми к шинам ручного и наладочного режимов схемы.

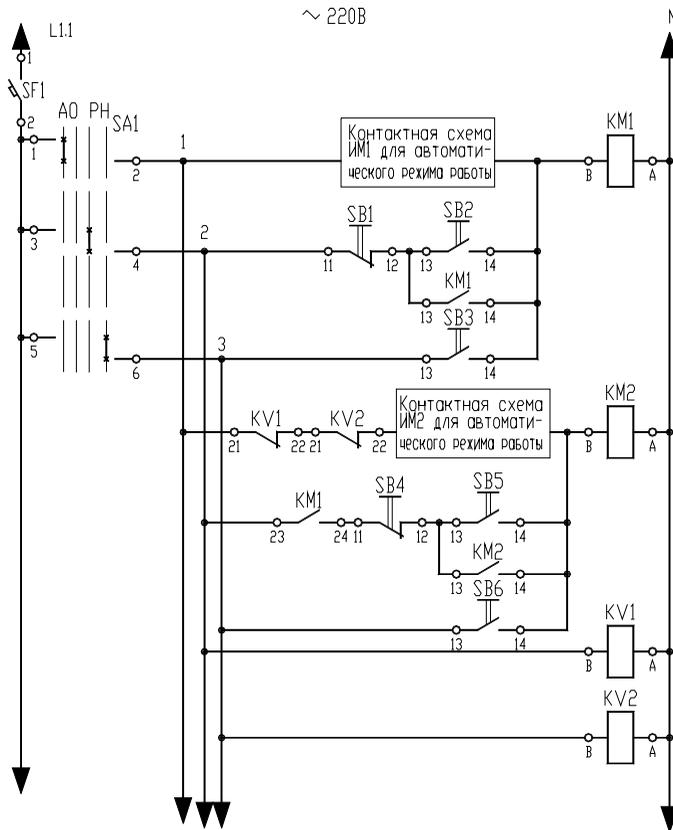


Рис. 3.68. Структура принципиальной электрической схемы для работы в нескольких режимах

**Автоматическая защита** представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс. Автоматическая защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Система автоматической защиты (САЗ) динамическая, она преобразует выходную величину объекта защиты в сигнал, сравнивает его с предельно допустимым значением и, в случае превышения, прекращает подачу энергии к объекту. Исполнительным элементом САЗ является контакт, который используется в принципиальной схеме защиты.

На рис. 3.69 приведена схема защиты объекта управления, параметры которого контролируются датчиками SZ1–SZ3. Пуск системы производится контактами SB или КТ, которые затем блокируются контактом реле KV. В нормальных режимах работы объекта контакты датчиков SZ1–SZ3 замкнуты. При возникновении аварийного режима соответствующий контакт датчика размыкается, реле KV обесточивается и управление прекращается. Контакт сработавшего датчика переключается, и образуется электрическая цепь в сигнальной лампе аварийного табло.

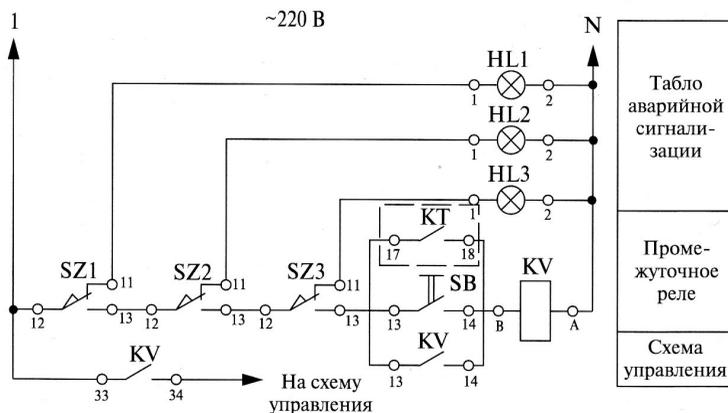


Рис. 3.69. ПЭС защиты объекта управления

Принципиальная схема может быть использована, если после прекращения производственного процесса остальные датчики не изменяют своего состояния, в противном случае следует применять принципиальную схему защиты и сигнализации, изображенную на рис. 3.70.

Приведенная схема используется при автоматизации котлоагрегатов. На рабочий режим котлоагрегат выводится вручную, и контакты соответствующих датчиков приводятся в замкнутое положение. После аварийного отключения котлоагрегата на табло загорается сигнальная лампа датчика, отключающего подачу топлива в котлоагрегат.

На рис. 3.71 представлена принципиальная схема защиты агрегата с выдержкой времени на отключение после возникновения аварийного режима.

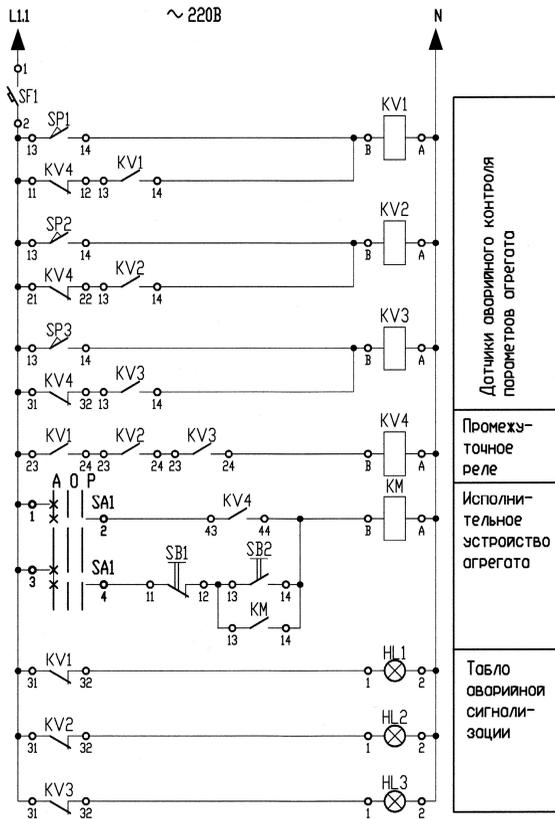


Рис. 3.70. ПЭС защиты и сигнализации

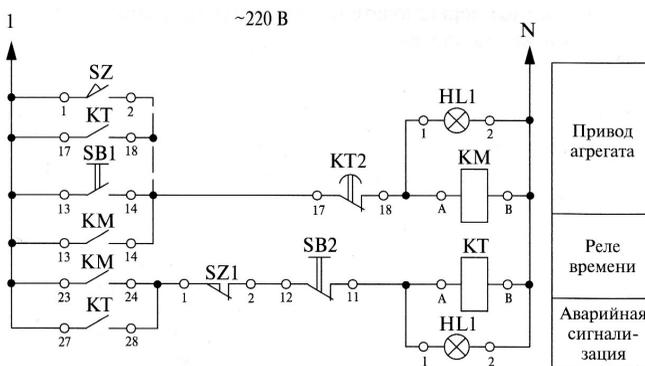


Рис. 3.71. ПЭС защиты агрегата

Пуск агрегата может производиться кнопкой SB1, контактом программного реле времени КТ или технологическим датчиком SZ. При этом подается напряжение на катушку магнитного пускателя КМ исполнительного механизма агрегата. Контакт КМ подает напряжение на катушку реле времени КТ, которое своим контактом КТ блокирует этот контакт. Если за данный период времени агрегат не выйдет на рабочий режим, датчик аварийного режима SZ1 останется замкнутым, а контакт КТ2 в цепи катушки магнитного пускателя КМ разомкнется и отключит привод агрегата. Реле КТ останется на самоблокировке. Кнопка SB2 предназначена для снятия блокировки после устранения неисправности.

Для управления технологическим процессом в ручном режиме оператору необходима информация о его протекании, об уровне технологических параметров и состоянии механизмов.

В САУ ТП используются следующие типы сигнализации:

– **сигнализация положения**, связанная с исполнительными органами системы управления технологическим процессом (для уменьшения сложности схемы эту сигнализацию выполняют на переменном токе, включив сигнальные лампы параллельно с исполнительными органами);

– **сигнализация положения**, связанная с командными органами, датчиками положения, уровня, потока и т. п.;

– **технологическая сигнализация** о предельных и аварийных состояниях технологического процесса с подачей светового и звукового сигнала;

– **предупреждающая сигнализация** о включении оборудования (рис. 3.72, а) или о ненормальных, но пока еще допустимых значениях контролируемых или регулируемых величин (рис. 3.72, б). Появление предупреждающих сигналов указывает обслуживающему персоналу на необходимость принятия мер предосторожности или мер по устранению возникших неисправностей. В первом случае пуск оборудования осуществляется автоматически с помощью контакта КТ суточного реле времени, во втором – датчиком аварийного состояния объекта SZ. Сигнал с выдержкой времени подается на объект управления или снимается. Кнопка SB предназначена для отключения схемы и снятия блокировки.

**Разработка отдельных цепочек схем сигнализации.** Для сигнализации о том, что заслонка не закрылась или не открылась, приме-

няют реле времени КТ (рис. 3.73), которое включено параллельно КМ (привод заслонки или последнего в технологической цепочке ИМ). Если заслонка не закрылась (не открылась) за определенный промежуток времени (технологический процесс не был завершён), то конечный выключатель SQ (датчик завершения процесса ЗУ) не разомкнется. Контакт КТ размыкается цепь в катушке исполнительного механизма КМ и подается аварийный сигнал (НЛ, НА).

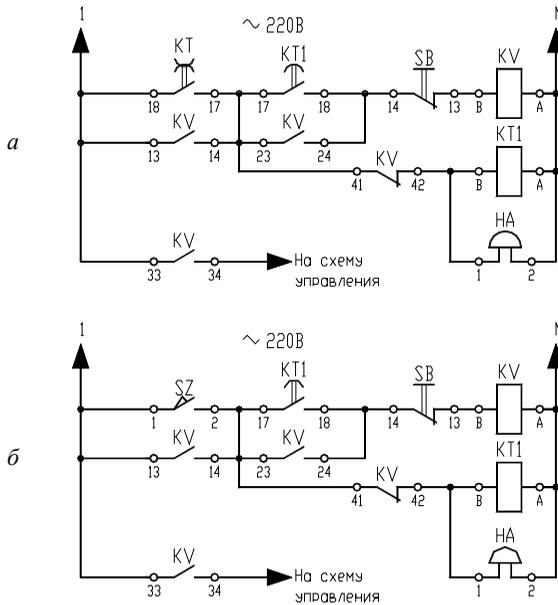


Рис. 3.72. Параметры ПЭС предупредительных сигналов

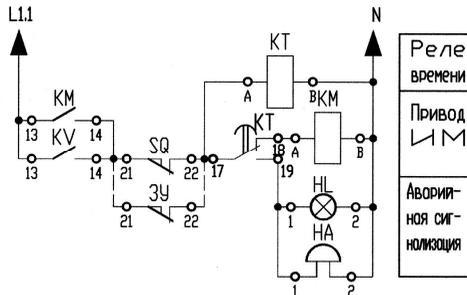


Рис. 3.73. Использование реле времени в схемах сигнализации

К *дополнительным аппаратам аварийного отключения* относятся следующие устройства: реле напряжения, кнопки аварийного отключения, защита схем управления от токов короткого замыкания, отключающая системы управления при кратковременном исчезновении напряжения на шинах щита управления, и т. п.

Благодаря нулевой защите временное снятие напряжение со схем управления приводит к отключению электромагнитных элементов автоматики, но при этом командные органы (датчики, конечные выключатели и т. п.) и двигательные исполнительные механизмы остаются в прежнем состоянии. При повторном появлении напряжения на схеме возможно возникновение аварийных ситуаций из-за повторного включения механизмов. Чтобы избежать этого, в схемах предусматривается реле напряжения (рис. 3.72, а), отключающее питание от схемы управления при описанном уменьшении напряжения на шинах щита.

При наличии дистанционного ручного или автоматического управления процессом оператор следит за правильностью работы оборудования, обходя и осматривая его. При обнаружении неисправности, отклонения от заданных параметров или при возникновении аварийной ситуации оператор должен иметь возможность быстро отключить оборудование, обесточив схему управления независимо от режима ее работы. Для этого в производственном помещении в доступных местах устанавливается несколько кнопок аварийного отключения схемы, контакты которых включаются, как правило, в цепь управления реле напряжения (нулевая защита).

**Блокировка цепей катушек реверсивного пускателя.** Чтобы застраховаться от одновременного включения обеих катушек реверсивного магнитного пускателя, приводящего к короткому замыканию, в цепь включения одной катушки подсоединяют размыкающие контакты другой катушки. Это делает невозможным ее включение.

Есть и другие способы электрической и механической блокировки. Однако первый – наиболее универсальный, выполняющий свою функцию при любых режимах работы.

Особенности разработки принципиальных электрических схем включения регуляторов рассматриваются в учебном пособии [9].

### ***3.6.2. Принципы автоматизированного проектирования принципиальных электрических схем управления, контроля и сигнализации***

#### ***3.6.2.1. Основные возможности разработки принципиальных электрических схем в САПР CADElectro***

В п. 2.1.4 были изложены основные плюсы и минусы использования различных пакетов САПР при формировании принципиальной электрической схемы (CADElectro, Electrics, CADDy, «Компас» и др.). Наиболее продуманной в части организации работы с моделью принципиальной электрической схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации остается программа CADElectro, о последней версии которой следует поговорить подробно.

Принципиальная электрическая схема является базовым документом всего проекта. Поэтому, несмотря на то что достаточно большое количество операций при ее формировании автоматизировано, все же на ее выполнение тратится наибольшее количество времени. Кроме разработки структуры схемы проектировщик должен задать типы аппаратуры, используемой для ее реализации. Именно с этим связаны временные затраты.

В CADElectro вся принципиальная схема является целостной моделью, действия пользователя постоянно отслеживаются. Если в схему вставлено условное графическое обозначение аппарата, ему будет автоматически присвоено позиционное обозначение по ГОСТ 2.710. В соответствии с выбранным типом будут автоматически считаны обозначения зажимов, технические характеристики и рассчитаны перекрестные ссылки (для аппаратов, формируемых разнесенным способом). Если УГО будет вставлено на линию связи, на аппарате она автоматически будет разорвана.

Может формироваться как однофазная, так и трехфазная линия связи. При Т-образном пересечении линий связи в месте пересечения автоматически формируется точка связи. Маркировка линий связи производится и в автоматическом, и в ручном режимах. Автоматически формируются перекрестные ссылки на обрывах линий связи. Реализован цветовой код проводников по роду тока, который затем используется для задания типа проводника в монтажных документах.

У аппарата в любой момент можно изменить тип, позиционное обозначение, исправить любую принадлежащую ему текстовую информацию. Части схемы корректно копируются и переносятся с листа на лист и из проекта в проект.

После завершения разработки схемы автоматически формируется перечень элементов с помощью специализированного редактора текстовых конструкторских документов AVS. Документ может быть перенесен в чертеж в виде отдельных бланков либо таблицы, располагаемой над основной надписью.

Таким образом, в САПР CADElectro автоматизированы все рутинные операции по оформлению принципиальной схемы, а проектировщик реализует интеллектуальные функции разработки самой схемы на базе современных технических средств, типы которых определяются в базе данных Imbase.

### ***3.6.2.2. Принципы разработки принципиальных электрических схем в САПР CADElectro***

Работа над проектом в CADElectro Energy ведется в головном приложении – *Редакторе проекта*, для обслуживания которого используются три сервисных приложения: *Редактор основной надписи*, *Редактор символов*, *Редактор типов аппаратов*. Интерфейс *Редактора проекта* (рис. 3.74) составляют:

- главное меню – верхняя строка (содержит все возможные команды и функции);
- панели инструментов (размещены основные и часто используемые функции системы; недоступный инструмент отображается серым цветом);
- информационные панели, которые содержат данные о свойствах объектов, листах документа, компонентах и т. п.;
- окно графического редактора (в верхней части окна расположена закладка с названием открытого в данный момент листа проекта. Одновременно может быть открыто несколько чертежей, для навигации между ними можно использовать данные закладки. Под панелью закладок размещается рабочая область графического редактора);
- строка состояния (находится у нижнего края окна, где отображаются текущие координаты курсора мыши, процесс загрузки приложения, проекта и т. д.).

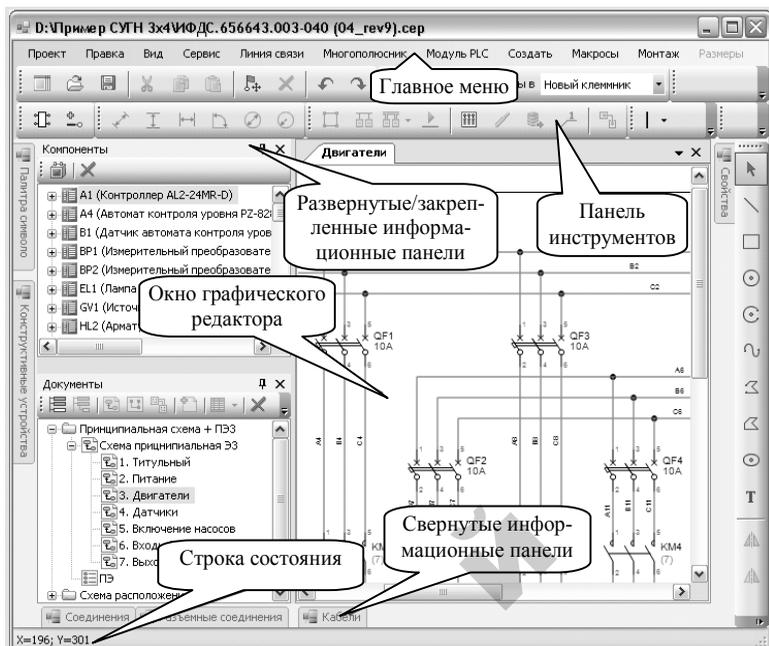


Рис. 3.74. Интерфейс редактора проектов CADElectro Energy

Примерная последовательность этапов формирования модели принципиальной электрической схемы в редакторе принципиальных схем:

1. Выбрать формат и штамп листа принципиальной схемы.
2. Вставить на схему условные графические обозначения аппаратов с разнесением по конструктивным устройствам и соединить их линиями связи.
3. Назначить аппаратам типы.
4. Промаркировать потенциальные узлы схемы.
5. Нанести на схему дополнительную информацию в виде графики и текста.
6. Создать перечень элементов.

### *Начальные действия с редактором принципиальных схем*

Для создания нового проекта в CADElectro необходимо:

- в главном меню выбрать команду **Проект\Новый** или на панели инструментов – Создать новый проект  \Выбрать шаблон...

После этого следует указать место расположения шаблона – заготовки проекта с заданными по умолчанию параметрами настроек. После загрузки шаблона программа потребует заполнить паспорт проекта, данные из которого автоматически будут считываться при заполнении основной надписи основных документов;

- сохранить файл на локальный диск с помощью команды главного меню **Проект\Сохранить** или на панели инструментов – Сохранить проект ;

- на панели Документы необходимо создать каталог, в котором и будет размещен документ после нажатия на кнопку «Добавить каталог в корневой каталог» ; имя каталога по умолчанию «Папка1», при этом сразу же после создания включен режим переименования (можно переименовать, например, в «Проект 1»);

- выбрав созданный каталог, с помощью кнопки «Добавить принципиальную схему»  создать новый документ;

- в созданный документ добавить лист (листы) с помощью кнопки «Добавить лист» ; чтобы лист стал активным, следует в списке документов дважды щелкнуть по нему ЛК мыши; в рабочей зоне появится лист заданного в настройках формата с частично заполненной основной надписью.

После создания листа схемы необходимо заполнить основную надпись. Для этого достаточно навести указатель мыши на нужное поле основной надписи на чертеже и щелкнуть ЛК мыши (рис. 3.75). Завершается редактирования щелчком ЛК мыши в любом месте чертежа за пределами поля ввода.



Подп. и дата					
подп.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разраб.				
	Пров.				
Т. контр.					

Рис. 3.75. Заполнение основной надписи

При наборе текста размер шрифта контролируется системой, и выполненная надпись будет сжата, чтобы уместиться в заданную рамку. Обозначение документа заполняется один раз на любом

из его листов, на всех остальных листах оно появится автоматически (атрибут рамки *Обозначение документа*). Также автоматически заполняются поля с номером листа и общим количеством листов (атрибуты рамки *Номер листа* и *Количество листов* соответственно).

Формат листа можно изменить из контекстного меню: щелкнуть ПК мыши по названию листа (информационная панель Документы) и в выпавшем меню выбрать команду **Изменить формат**. Откроется диалоговое окно выбора формата листа.

### ***Принципы формирования модели принципиальной схемы в CADElectro***

Формирование модели принципиальной схемы в CADElectro начинается со вставки на схему УГО аппаратов.

Перед тем как вести работу по вставке, рекомендуется включить шаг сетки и задать для него значение, равное 4 мм как по оси *X*, так и по оси *Y* (меню Вид\Сетка\Вкл/Выкл, или F7, или кнопки панели Вид ). Такие установки шага необходимы для корректного подключения линий связей к выводам аппаратов, а также для улучшения читаемости проектируемого документа.

Для вставки символа УГО на схему используется информационная панель Набор символов (рис. 3.76). Она содержит структурированный каталог (УГО аппаратов сгруппированы по их позиционному обозначению) и окно предварительного просмотра символов. Чтобы вставить символ на чертеж, необходимо активировать информационную панель Набор символов (раскрыть вложенность Символы для принципиальной схемы), пройти по вложенности до группы аппаратов, выбрать в окне просмотра необходимый символ и перетащить его в графическую зону.

При размещении символов система автоматически присваивает им следующий номер позиционного обозначения. Допустим, УГО создаваемого аппарата должно иметь позиционное обозначение КМ1, для этого следует переименовать размещенные на схеме контакты с позиционным обозначением КМ2 и КМ3. Выбрав символы, на панели Свойства (в окне проекта – обычно справа) в соответствующие поля необходимо ввести требуемое обозначение (рис. 3.77).

Однотипные участки можно копировать (меню Правка\Копировать или сочетание клавиш Ctrl+C). При вставке скопированных символов (меню Правка\Вставить либо Ctrl+V) система

автоматически рассчитывает следующий номер позиционного обозначения. Если для УГО назначен тип аппарата, то при копировании символ копируется вместе с назначенным типом.

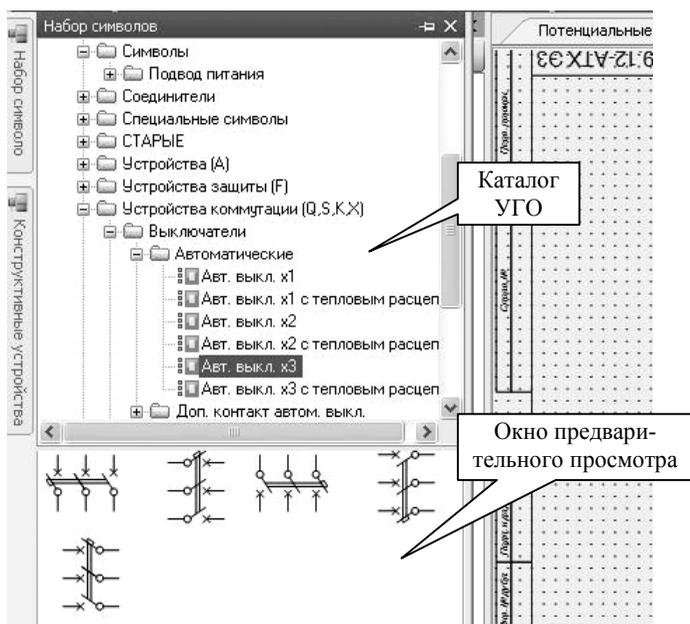


Рис. 3.76. Действия с панелью Набор символов

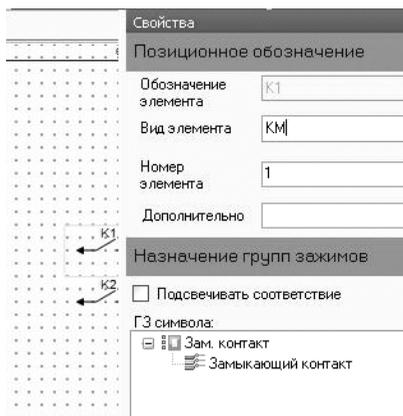


Рис. 3.77. Информационная панель Свойства

Вставленные УГО следует соединить линиями связи. Впрочем, порядок этих операций (вставка УГО, соединение ЛС) не столь существенен.

Соединение аппаратов производится только линиями связи (ЛС). Подключение вывода одного аппарата к выводу другого *не допускается*.

Линии связи, соединенные между собой точками связи и символами обрывов, объединяются в *потенциальный узел*. Потенциальный узел обрывается на выводах символа, если для символа не задан ключ в базе данных *Пропускать потенциал*. Потенциальный узел не может «висеть в воздухе», он обязательно должен заканчиваться подключением к какой-либо графике схемы. Так исключаются ошибки, связанные с неподключенными линиями связи.

В редакторе принципиальных схем используются два вида линий связи – *однофазная* и *трехфазная* и следующие типы: линия переменного, постоянного тока, нейтраль, РЕ-проводник, фазный проводник (I, II, III фазы). Переключиться между типами линий можно через меню *Линия связи\Создать однофазную линию связи* (или *Создать трехфазную линию связи*) либо с помощью соответствующих инструментов . В последнем случае для переключения используется список, появляющийся при нажатии на стрелку . Чтобы провести линию связи, необходимо активировать нужный инструмент щелчком ЛК мыши и, привязавшись к выводам аппарата, протянуть линию. Если в момент проведения ЛС щелкнуть ЛК мыши, то будет установлена точка поворота, которая позволит изменить направление проводимой ЛС. Если в момент щелчка ЛК мыши удерживать нажатой клавишу Ctrl, изгиб будет выполнен с зеркальным отображением I-й и III-й фаз относительно II-й (действие необходимо при соединении силовых контактов реверсивного магнитного пускателя).

Для отмены последнего действия при создании ЛС необходимо щелкнуть ПК мыши.

Линия связи при проведении через символ, а также при встройке в нее последнего будет разрываться.

Если линия связи подключена к символу, то при его перемещении система отслеживает подключение и не разрывает соединение. В то же время можно переместить символ отдельно. Для этого во время перемещения нужно удерживать нажатой клавишу Shift.

Каждому аппарату проекта должен быть назначен тип. Тип аппарату может быть назначен как с панели Компоненты (находится справа в окне проектов), показанной на рис. 3.78, так и с помощью контекстного меню. Для вызова контекстного меню нужно щелкнуть ПК мыши по символу, который изображает компонент на принципиальной схеме. В выпавшем меню выбрать команду **Назначить тип**.

Откроется диалоговое окно выбора типа аппарата из базы данных. Типы аппаратов в каталоге также структурированы по группам позиционных обозначений. Для назначения типа в окне базы данных необходимо пройти по вложенности до табличных записей, выбрать конкретную запись и двойным щелчком либо с помощью клавиши «Ввод» подтвердить выбор типа. Если тип назначен верно, в окне компонентов вопрос заменится на «зеленый» символ.



Рис. 3.78. Информационная панель Компоненты

Модель схемы неполна без *маркировки линий связи*.

В системе предусмотрено два способа маркировки:

- ✓ ручной (с помощью панели Свойства);
- ✓ автоматический (с помощью диалогового окна Маркировка ЛС).

При использовании автоматического способа маркировки ЛС необходимо проверить настройки проекта (меню Сервис\Настройки\Системные настройки\Типы линий связи): по фазам – обязательный

текст перед маркировкой L1, L2, L3). Далее вызывают диалоговое окно маркировки (меню Линия связи\Маркировать ЛС), в котором следует выбрать зону маркировки (в целом проект или только лист), проставить либо удалить маркировку и указать некоторые другие параметры маркировки.

При необходимости изменения проставленного обозначения маркировки (и при ручном, и при автоматическом способе) следует выделить линию связи и воспользоваться информационным окном Свойства.

### *Заключительные шаги при работе над принципиальной схемой*

В заключение необходимо дополнить схему таблицами с поясняющими надписями (рис. 3.79), при необходимости диаграммами переключателей с помощью панели инструментов Графика (рис. 3.80).

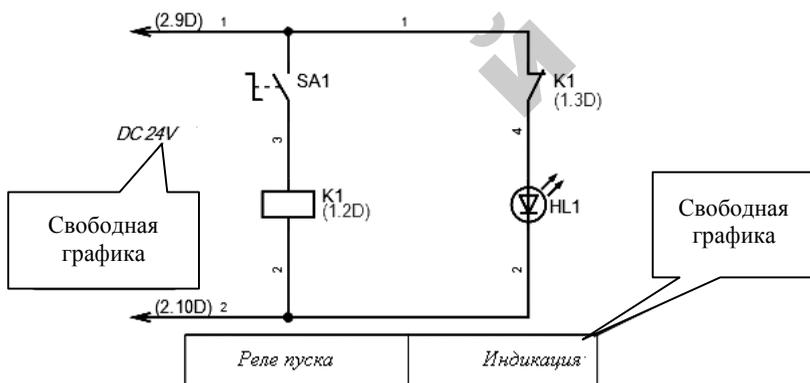


Рис. 3.79. Дополнение схемы свободной графикой



Рис. 3.80. Панель инструментов Графика

Также необходимо создать перечень элементов к схеме. Перечень элементов может быть создан только после назначения типов аппаратов. Чтобы создать перечень элементов, на панели Документы необходимо активировать папку проекта, с помощью кнопки «Добавить текстовый документ»  - открыть выпадающий список, где перечислены команды по созданию всех возможных текстовых

документов, и выбрать команду **Создать перечень элементов**. Созданный документ по умолчанию называется «ПЭ». Как и в случае с другими документами, сразу же после создания включен режим переименования. Для выхода из режима переименования или для его завершения следует нажать на клавишу «Ввод».

Созданный документ представляет собой электронную таблицу и не содержит вложенных листов. Для открытия документа нужно дважды щелкнуть ЛК мыши по его наименованию на панели Документы.

Документ «Перечень элементов» генерируется на основании готовых данных и является статическим отчетом, то есть в случае внесения в принципиальную схему изменений, которые затрагивают номенклатуру примененных аппаратов, этот документ нужно генерировать снова.

Также нужно помнить, что любые изменения, сделанные в данном документе, не затрагивают другие документы.

Для возможности работы в общепринятом графическом редакторе можно перенести чертеж принципиальной схемы из CADElectro в AutoCAD через меню Проект\Экспорт текущего листа в формат dxf.

### ***3.6.2.3. Возможные пути совершенствования САПР***

Как видно из вышеизложенного, специализированная САПР максимально сокращает время на оформление принципиальных электрических схем за счет автоматизации всех рутинных операций по отрисовке схемы, автоматического формирования перечня элементов, связи с другими документами проекта.

Однако на примере CADElectro можно увидеть и недостатки таких САПР. В редакторе принципиальных схем не реализован принцип узлового проектирования, недостаточно хорошо проработан вопрос формирования реверсивного магнитного пускателя. Кроме того, ни в одной САПР на данный момент не формализован процесс разработки структуры управления. Между тем можно заметить, что структура управления определяется алгоритмом управления и что ее разработка подчиняется строго заданным правилам [9].

В целом средства программирования позволяют реализовать программно разработку формулы управления по алгоритму управления. Поэтому можно предположить, что в дальнейшем САПР

позволит осуществлять кроме непосредственно оформления таких схем и связи их с другими документами проекта также формализацию разработки структуры принципиальных электрических схем управления, контроля и сигнализации.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что определяет принципиальная схема?
2. Каково назначение принципиальной электрической схемы?
3. Как по функциональному признаку могут быть разделены принципиальные электрические схемы?
4. Каково содержание принципиальных электрических схем САУ ТП?
5. Каковы требования к изображению элементов принципиальных электрических схем САУ?
6. Каковы требования к изображению линий связи на принципиальных электрических схемах САУ?
7. Перечислите группы обозначений на принципиальных электрических схемах САУ и требования к ним.
8. Каковы требования к простановке обозначений участков цепей на принципиальной схеме?
9. Каковы требования к перечню элементов к принципиальной электрической схеме САУ?
10. Каковы типовые узлы принципиальных электрических схем управления, контроля, регулирования, защиты и сигнализации?
11. Каковы принципы использования переключателя режимов работы на принципиальных электрических схемах управления, контроля, регулирования, защиты и сигнализации?
12. Каковы принципы организации автоматической защиты?
13. Каковы принципы разработки схем сигнализации?
14. Каковы принципы организации блокировок на принципиальной электрической схеме?
15. В чем вы видите положительные стороны применения САПР для разработки принципиальной электрической схемы?
16. Какова последовательность формирования модели принципиальной схемы в CADElectro?
17. Какими средствами формируется модель принципиальной схемы в CADElectro?

### 3.7. Расчет и выбор электрических проводов. Разработка схем соединений и подключения в САПР

#### 3.7.1. Расчет и выбор электрических проводов

##### 3.7.1.1. Требования к электропроводам

Электропроводки систем автоматизации должны удовлетворять требованиям пожарной безопасности, условиям окружающей среды, архитектурно-строительным особенностям конструкций, должны быть удобны в эксплуатации и экономически выгодны.

Электропроводки систем автоматизации выполняют кабелями и изолированными проводами (защищенными и незащищенными), как правило, способами, представленными в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Способы прокладки электропроводок систем автоматизации

Вид проводки	Место	
	Производственное помещение	Наружная установка
Кабели	<p>На кабельных конструкциях.  На лотках (кроме пыльных помещений).  В стальных коробах.  В пластмассовых и стальных защитных трубах.  В каналах.  В двойных полах</p>	<p>На кабельных конструкциях.  На лотках (кроме пыльных помещений).  В стальных коробах.  В пластмассовых и стальных защитных трубах.  По эстакадам, в каналах, туннелях, коллекторах.  В земле</p>
Изолированные провода	<p>В стальных коробах.  В пластмассовых и стальных защитных трубах.  На лотках (кроме пыльных помещений)</p>	<p>В стальных коробах.  В пластмассовых и стальных защитных трубах</p>

При всех способах прокладки электропроводки должны быть безопасны для жизни людей и не создавать угрозы возникновения пожара или взрыва.

Открытые электропроводки в стальных коробах, лотках, стальных защитных трубах из трудносгораемых (винипластовых) материалов могут прокладываться непосредственно по конструкциям и поверхностям зданий и сооружений из трудносгораемых материалов; по конструкциям и поверхностям из сгораемых материалов прокладка этих труб не допускается.

Открытые электропроводки в пластмассовых защитных трубах из сгораемых материалов (полиэтиленовых, полипропиленовых) выполнять не разрешается.

Скрытые электропроводки в стальных защитных трубах можно прокладывать непосредственно по конструкциям и поверхностям зданий и сооружений из сгораемых, трудносгораемых и несгораемых материалов.

Скрытые электропроводки в пластмассовых защитных трубах из трудносгораемых (винипластовых) материалов можно прокладывать непосредственно по конструкциям и поверхностям из сгораемых материалов с последующим заштукатуриванием; пластмассовые защитные трубы из сгораемых материалов (полиэтиленовых, полипропиленовых) – только замоноличено, в бороздах и т. д.

Таким образом, электрические проводки с конструктивными элементами из негорючих материалов – электропроводки в стальных коробах, на лотках и стальных защитных трубах можно прокладывать по строительным основаниям и конструкциям, относящимся к любой группе возгораемости, а электропроводки в пластмассовых защитных трубах необходимо прокладывать с учетом указанных ограничений.

Трасса электрических проводов должна выбираться с учетом наименьшего расхода проводов и кабелей с соблюдением условий защиты от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и от повреждений электрической дугой соседних электропроводок.

Открытые электропроводки рекомендуется прокладывать параллельно и перпендикулярно основным плоскостям зданий и сооружений.

Скрытые электропроводки могут прокладываться по кратчайшим расстояниям, если этому не препятствуют строительные особенности помещений и компоновка технологического оборудования и трубопроводов.

### 3.7.1.2. Выбор электропроводок

Выбор способа выполнения электропроводок рекомендуется осуществлять следующим образом:

- в зависимости от условий окружающей среды выбираются допустимые марки проводов или кабелей и способ их прокладки;
- из возможных способов выполнения электропроводки отбираются те, предпочтительность которых определяется требованиями технологического процесса, удобства эксплуатации и технической эстетики;
- из отобранных способов выбирается наименее трудоемкий и экономически целесообразный.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами.

Учитывая решение об экономии меди, провода и кабели с медными жилами допускается применять в следующих случаях:

- в цепях термопреобразователей и преобразователей термоэлектрических;
- в цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т. п. напряжением до 60 В при сечении жил проводов и кабелей до  $0,75 \text{ мм}^2$ ;
- во взрывоопасных установках (в зонах классов В-1 и В-1а);
- в установках, подверженных вибрации;
- для питания переносного освещения и электрифицированного инструмента;
- для электропроводок систем автоматизации зрелищных предприятий;
- для открытых электропроводок в чердачных помещениях со сгораемыми конструкциями.

Сечение проводов и жил кабелей цепей управления, сигнализации, измерения и т. п. выбирается так же, как сечение проводников цепей питания: по допустимым токовым нагрузкам, потере напряжения и механической прочности.

Наименьшие допустимые сечения жил проводов и кабелей в электропроводках систем автоматизации:

- $0,35 \text{ мм}^2$  – для многопроволочных медных гибких жил;
- $0,5 \text{ мм}^2$  – для однопроволочных медных гибких жил;
- $2 \text{ мм}^2$  – для алюминиевых жил.

Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покровы проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводок.

Для электропроводок систем автоматизации при всех способах прокладки должны применяться защищенные и незащищенные изолированные *провода* с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией и оболочками. Провода с горючей изоляцией и оболочками из полиэтилена применять не разрешается. Необходимые сведения по допускаемым для применения маркам проводов приведены в таблицах справочного пособия [64, с. 234–239].

Кабели, применяемые в электропроводах систем автоматизации, должны иметь поливинилхлоридную, резиновую, бумажную или полиэтиленовую изоляцию жил и поливинилхлоридную, резиновую, свинцовую или алюминиевую оболочки. Запрещается при всех способах прокладки применение кабелей в горючей полиэтиленовой оболочке. Необходимые сведения по допускаемым для применения маркам кабелей приведены в таблицах справочного пособия [64, с. 239–247].

В одном кабеле, защитной трубе, пакете проводов допускается объединять цепи измерения, управления, сигнализации, питания и т. п., включая цепи питания и управления электродвигательным исполнительным механизмом, за исключением:

- измерительных цепей приборов и средств автоматизации, в которых помехи, возникающие из-за взаимного влияния цепей другого назначения, превосходят допустимые значения (во всех случаях, когда оценить указанное влияние не представляется возможным, измерительные цепи приборов необходимо прокладывать в отдельных кабелях или защитных трубах);
- стационарно прокладываемых цепей питания напряжением до 42 В электрифицированного инструмента и освещения щитов по условиям техники безопасности;
- взаиморезервируемых цепей питания, управления;
- цепей систем пожарной сигнализации и пожарной автоматики.

*Электропроводки в стальных коробах и на лотках* применяют для прокладки больших потоков проводов, когда применение защитных труб экономически нецелесообразно.

Короба состоят из корпусов и крышек, изготавливаемых из листовой стали (1,5 мм). Крышки запираются замками-защелками (рис. 3.81).

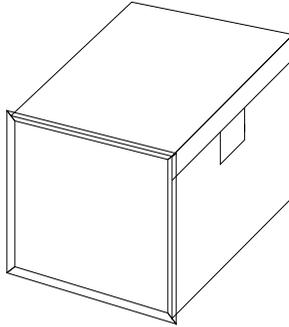


Рис. 3.81. Конструкция короба

Для определения площадей поперечных сечений коробов находят:

- диаметры проводников, подлежащих прокладке;
- усредненный диаметр прокладываемых проводников, если в коробе должны прокладываться проводники разных диаметров;
- коэффициент заполнения коробов, оптимальный для данной проводки (не более 0,6).

Диаметры проводников определяют по табл. 11.2, 11.4, 11.5, 11.11–11.13 справочного пособия [64].

Усредненный диаметр проводников находят как:

$$d_{\text{cp}} = \frac{d_1 n_1 + d_2 n_2 + \dots + d_m n_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m}, \quad (73)$$

где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – наружные диаметры проводников;  
 $n_1, n_2, \dots, n_m$  – число проводников.

Площадь поперечного сечения короба определяется по номограмме (рис. 3.82) и рассчитывается как:

$$S \geq \frac{nd^2}{k} \quad \text{или} \quad S \geq \frac{nd_{\text{cp}}^2}{k}, \quad (74)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения короба, мм<sup>2</sup>;  
 $n$  – число проводников, шт.;  
 $d$  – диаметр проводника, мм;  
 $d_{\text{cp}}$  – усредненный диаметр проводника, мм;  
 $k$  – коэффициент заполнения.

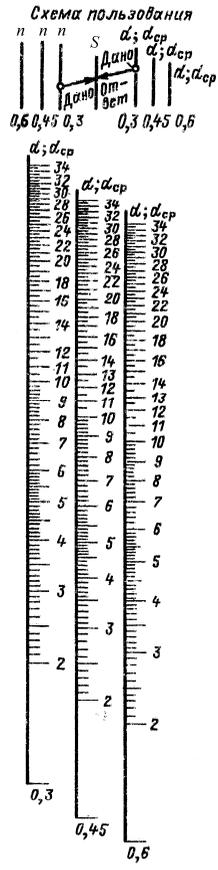
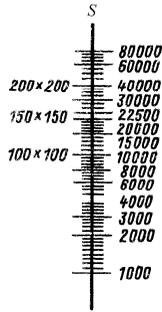
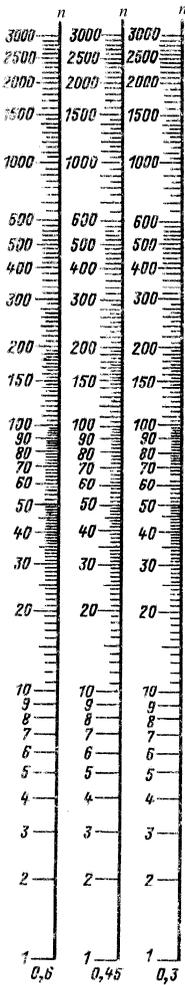


Рис. 3.82. Номограмма определения площади

поперечного сечения короба для прокладки проводников:

$n$  – число проводников, мм;  $S$  – площадь поперечного сечения короба, мм<sup>2</sup>;

$d$  – диаметр проводника, мм;  $d_{ср}$  – усредненный диаметр проводника, мм

**Электропроводки в защитных трубах** применяют в тех случаях, когда не рекомендуются или нецелесообразны другие способы прокладки: в коробах, на лотках, открытые. Область применения защитных труб указана в табл. 3.15.

Область применения защитных труб

Наименование труб	Область применения	Применение запрещено
Водогазопроводные легкие	Во всех установках и средах, кроме взрывоопасных	Во взрывоопасных установках
Водогазопроводные обыкновенные	Только во взрывоопасных установках	Во всех других помещениях и средах
Электросварные	При открытой и скрытой прокладке в сухих и влажных помещениях, в жарких, пыльных помещениях и на чердаках	Во взрывоопасных установках
Полиэтиленовые, полипропиленовые	В сухих, влажных, сырых, особо сырых и пыльных помещениях, с химически опасной средой, в наружных электропроводках, для защиты кабелей в агрессивном грунте	Во взрывоопасных и пожароопасных зонах
Винипластовые	В сухих, влажных, сырых, особо сырых и пыльных помещениях, с химически опасной средой, в наружных электропроводках, для защиты кабелей в агрессивном грунте	Во взрывоопасных и пожароопасных зонах; в больницах, в детских учреждениях, на чердаках

Для нахождения внутреннего диаметра защитной трубы определяют:

- диаметры проводников, подлежащих затяжке в трубы;
- категорию сложности протяжки в зависимости от длины и числа изгибов;
- диаметр защитной трубы по номограмме (рис. 3.83).

Открытые кабельные электропроводки на кабельных конструкциях широко распространены, применяются в производственных помещениях и наружных установках во всех случаях, когда допустимы открытые способы прокладки кабелей.

Прокладка кабелей в наружных установках в каналах и туннелях применяется в случаях, когда затруднена или невозможна открытая прокладка на кабельных конструкциях и при этом невозможно или нецелесообразно прокладывать кабели в земле.

Прокладка кабелей в земле обычно применяется лишь в тех случаях, когда затруднена или невозможна открытая прокладка кабелей в наружных установках.

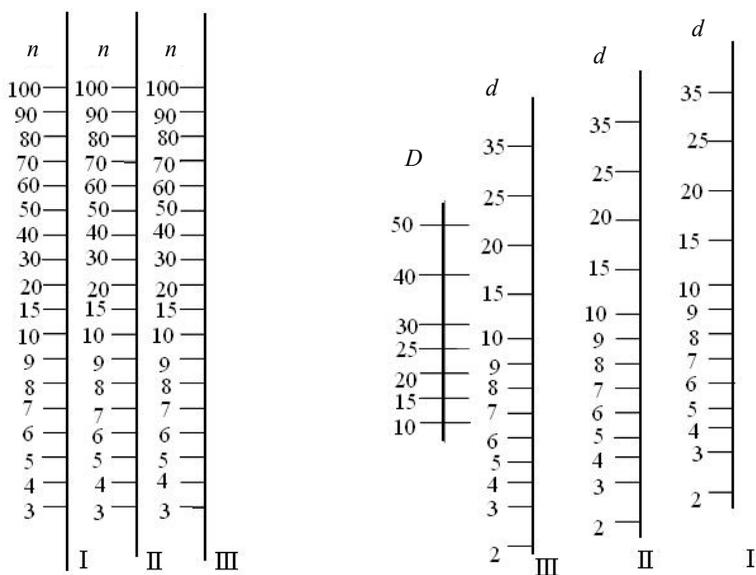


Рис. 3.83. Номограмма определения внутреннего диаметра защитной трубы  $D$  для прокладки проводников одного диаметра  $d$ :  $n$  – число проводников, мм; I, II, III – категория сложности прокладки проводников

### 3.7.2. Схемы соединений и подключения, методика разработки

**Схема соединений** – это схема, показывающая соединения составных частей изделия и определяющая провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединения и ввода.

**Схема подключения** – это схема, показывающая внешние подключения.

Применяют две формы данных документов: в виде схемы и в табличной форме.

Схема соединений может быть составлена несколькими способами:

- графический – на чертеже условными линиями показывают все соединения между элементами аппаратов, как на рис. 3.84;
- адресный – у места присоединения провода на каждом аппарате или элементе проставляют цифровой или буквенно-цифровой адрес того аппарата или элемента, с которым он должен быть электрически связан, как на рис. 3.85.

В настоящее время повсеместное распространение получили монтажные документы в табличной форме (рис. 3.86 и 3.87).

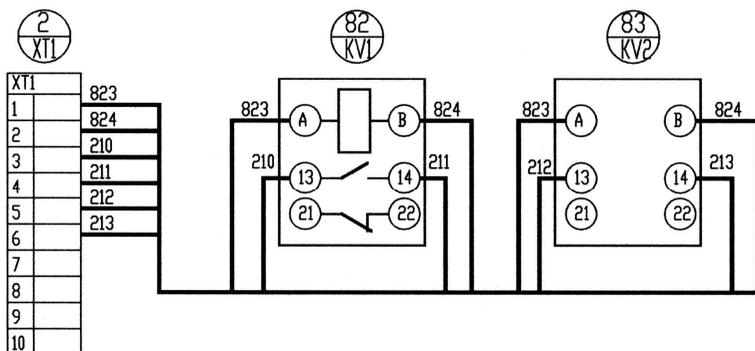


Рис. 3.84. Графический метод составления монтажного документа

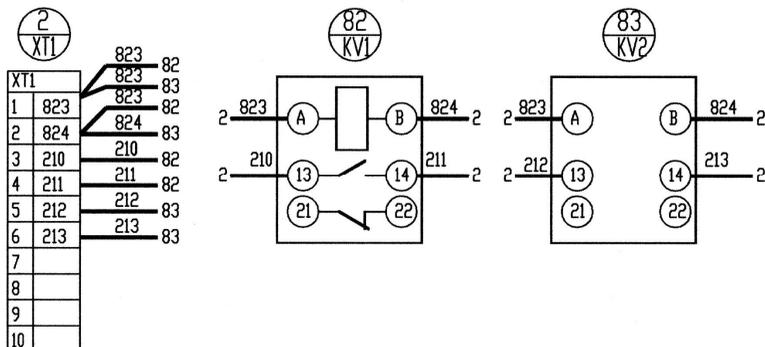


Рис. 3.85. Адресный метод составления монтажного документа

**Таблица соединений** (рис. 3.85) – это документ, отражающий соединения между аппаратами, приборами и элементами внутри конструктивного устройства и определяющий провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения.

Основанием для разработки таблиц соединений являются принципиальные электрические схемы и схемы соединений внешних проводов. Об этом делают запись на первом листе таблицы соединений под заголовком «Технические требования».

Провод-ник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание
Таблицы соединений выполнены на основании 02.49.020.15-АТХ				
L11	Ввод	QF1:1	ПВЗ 16	
L12	QF1:2	QF2:1	ПВЗ 16	
L12	QF1:2	SF1:1/1	ПВЗ 16	
L12	QF2:1	QF3:1	ПВЗ 16	
L12	QF3:1	QF4:1	ПВЗ 16	
L12	QF4:1	QF5:1	ПВЗ 16	
L13	QF2:2	KM1:1	ПВЗ 2,5	
L14	KM1:2	KK1:1	ПВЗ 2,5	
L15	KK1:2	ХТ1:1	ПВЗ 2,5	
L16	QF3:2	KM2:1	ПВЗ 2,5	
L17	KM2:2	KK2:1	ПВЗ 2,5	
L18	KK2:2	ХТ1:5	ПВЗ 2,5	
L19	QF4:2	KM3:1	ПВЗ 2,5	
L111	KM3:2	KK3:1	ПВЗ 2,5	
L112	KK3:2	ХТ1:9	ПВЗ 2,5	
L113	QF5:2	KM4:1	ПВЗ 16	
L114	KM4:2	UZ1:L1	ПВЗ 16	
L115	UZ1:U/T1	ХТ2:3	ПВЗ 16	
L21	Ввод	QF1:3	ПВЗ 16	
L22	QF1:4	QF2:3	ПВЗ 16	

Рис. 3.86. Пример составления таблицы соединений

**При заполнении таблиц** руководствуются одним из следующих принципов:

1. Заполняют по возрастанию номеров маркировки цепей в принципиальной электрической схеме.

2. Заполняют по методу непрерывной цепи, при котором, как правило, начало каждого последующего проводника должно быть на том аппарате, где окончился предыдущий проводник, или на аппарате, расположенном рядом (порядок номеров в этом случае во внимание не принимают).

Следует помнить, что проводники от аппаратуры, установленной на поворотной конструкции (двери малогабаритных щитов, поворотные панели и т. д.), должны подключаться, как правило, к сборкам коммутационных зажимов.

Порядок заполнения граф таблицы следующий. В графе «Проводник» указывают маркировку проводки по принципиальной электрической схеме или схеме соединений внешних проводов. В графах «Откуда идет» и «Куда поступает» указывают адреса присоединений проводов. Например, 18в – К2:5 или КМ1:13, где 18в – позиция прибора по заказной спецификации; К2 – позиционное обозначение колодки прибора; КМ1 – позиционное обозначение аппарата на принципиальной электрической схеме; 5 и 13 – номер вывода. В графе «Данные провода» для проводников указывают марку, сечение и при необходимости цвет. В графе «Примечание» для проводов, которые требуют отдельной прокладки, выполняют поясняющие надписи; для перемычек, выполняемых на аппарате, заносят условное обозначение «П», а также могут заноситься другие справочные данные (например, тип наконечника).

**Таблица подключения** (рис. 3.87) раскрывает подключения проводников к каждому элементу конструктивного устройства. Таблицу следует заполнять в порядке, соответствующем расположению приборов, аппаратов и зажимов в щите, на виде с внутренней стороны слева направо, сверху вниз последовательно по стенкам (левая, передняя, правая) и поворотным конструкциям.

Запись начинают с соответствующих заголовков «Левая стенка» и т. д. В графе «Вид контакта» проставляют:

1) позицию прибора по спецификации или позиционное обозначение аппарата, блока зажимов, которые подчеркивают;

2) условные обозначения контактов и катушек аппаратов: З – замыкающий, Р – размыкающий, К – катушка реле. Переключающий контакт записывают двумя строками: З и Р. При этом общий вывод указывается один раз в строке размыкающего контакта.

В графе «Вывод» проставляют обозначения выводов аппаратов. Кроме того, для перемычек, выполняемых непосредственно на аппарате, кроме номера вывода приводят сокращенное обозначение «П». Графы «Вывод» и «Вид контакта» заполняют только для занятых выводов. В графе «Проводник» против соответствующих номеров выводов указывают маркировку проводов, подключаемых к данному выводу.

Провод- ник	Вывод	Вид конт.	Вывод	Провод- ник	Провод- ник	Вывод	Вид конт.	Вывод	Провод- ник
Таблицы подключения выполнены на основании					02.49.020.15-АТХ				
Дверь					Задняя стенка				
		HL5				QF1			
17	1		2	N	L11	1	3	2	L12
		HL4			L21	3	3	4	L22
14	1		2	N	L31	5	3	6	L32
		HL3					QF2		
9	1		2	N	L12	1	3	2	L13
		HL2			L22	3	3	4	L23
5	1		2	N	L32	5	3	6	L33
		HL8					QF3		
31	1		2	3	L12	1	3	2	L16
		HL7			L22	3	3	4	L26
29	1		2	3	L32	5	3	6	L36
		HL6					QF4		
27	1		2	3	L12	1	3	2	L19
		HL1			L22	3	3	4	L29
2	1		2	N	L32	5	3	6	L39
		PV1					QF5		
8	+		-	12	L12	1	3	2	L113
		SA1			L22	3	3	4	L213
3	11		12	19	L32	5	3	6	L313
3	13		14	18					

Рис. 3.87. Пример составления таблицы подключения

Внешние соединения показывают на схеме соединений внешних проводок.

**Схема соединений внешних проводок** – это комбинированная схема, на которой показаны электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также под-

ключения проводок к приборам и щитам (если это не затрудняет чтение схемы).

Схемы соединений выполняют, как правило, отдельно для каждого автоматизируемого блока, монтаж которого осуществляют независимо от других.

Основанием для разработки схем являются:

- схемы автоматизации технологического процесса;
- принципиальные электрические, пневматические, гидравлические схемы;
- таблицы внутренних соединений и подключения проводок щитов и пультов;
- чертежи расположения технологического, сантехнического, энергетического и т. п. оборудования и трубопроводов с отборными и приемными устройствами.

Схемы соединений и подключения выполняют без соблюдения масштаба на одном или нескольких листах формата не более А1 (594×841 мм) по ГОСТ 2.301–68. Действительное пространственное расположение устройств и элементов схем либо не учитывается вообще, либо учитывается приближенно. Толщина линий, изображающих устройства и элементы схем, в том числе кабели, провода, трубы, должна быть от 0,4 до 1 мм по ГОСТ 2.303–68. На схемах должно быть наименьшее число изломов и пересечений проводок. Расстояние между соседними параллельными линиями проводки, а также между соседними изображениями приборов и средств автоматизации должно быть не менее 3 мм. Маркировку жил кабелей и проводов на схемах соединений и подключения проставляют в соответствии с принципиальными электрическими схемами.

На схеме соединений в общем случае приводят:

**1. Первичные приборы и исполнительные механизмы**, установленные непосредственно на технологическом оборудовании и коммуникациях.

На схемах соединений сверху поля чертежа (рис. 3.88), а при большой насыщенности схемы приборами сверху и снизу в зеркальном отображении размещают по периметру таблицу с поясняющими надписями согласно ГОСТ 21.408–2013. Под таблицей данных (либо под и над таблицей для второго случая) изображают первичные приборы и исполнительные механизмы, ниже – внешние приборы, щиты и другие технические средства.

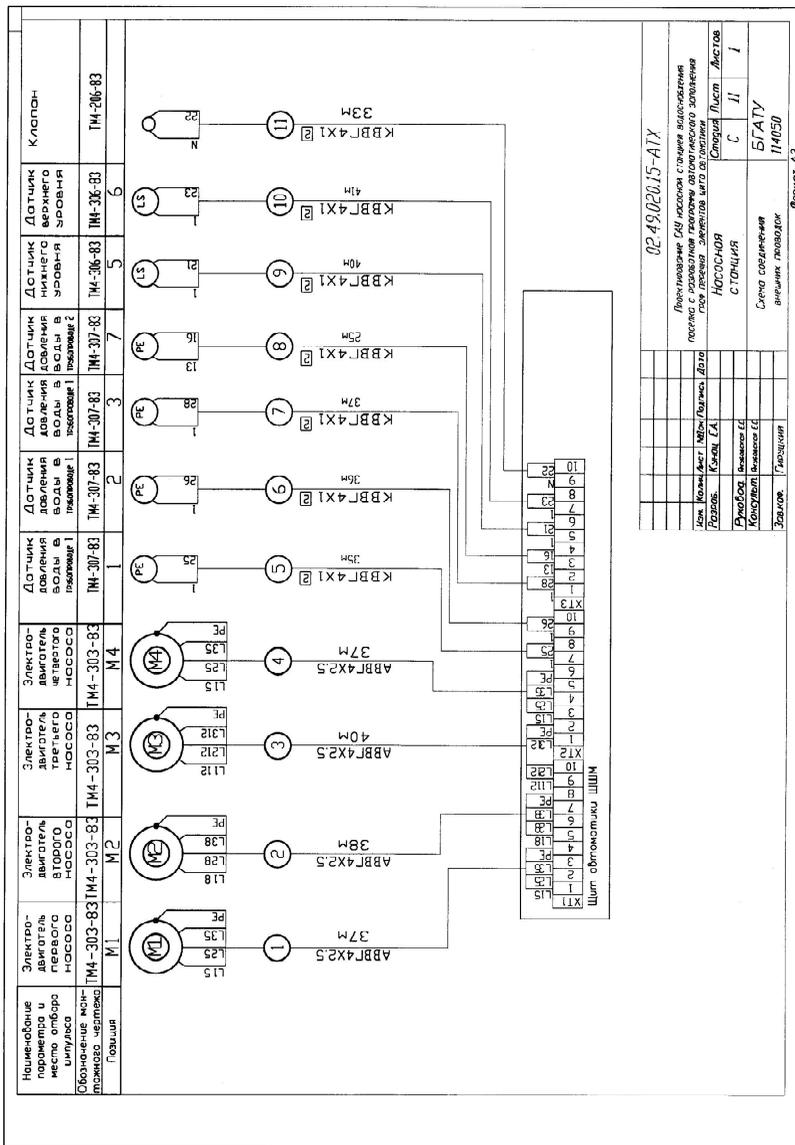


Рис. 3.88. Схема соединений внешних проводов

Разбивку строки таблицы «Наименование параметра и место отбора импульса» на заголовки и подзаголовки выполняют произвольно, группируя приборы либо по параметрам, либо по принадлежности к одному и тому же технологическому оборудованию. В строку «Позиция» вносятся позиции приборов по схеме автоматизации и позиционные обозначения электроаппаратуры, присвоенные ей по принципиальным электрическим схемам. Для элементов систем автоматизации, не имеющих самостоятельной позиции (отборные устройства и т. п.), указывают позицию прибора, к которому они относятся, с предлогом «к», например: к 1а.

Для приборов, не имеющих номеров электрических внешних выводов (например, преобразователей термоэлектрических, термопреобразователей сопротивления), а также для пневматических исполнительных механизмов применяют графические условные обозначения, принятые для этих приборов на схемах автоматизации по ГОСТ 21.204–93.

Датчики, исполнительные механизмы и другие средства автоматизации с электрическими входами и выходами изображают монтажными символами по заводским инструкциям. Внутри символа указывают номера зажимов и подключение к ним жил кабеля или проводов. Маркировку жил наносят вне монтажного символа.

**2. Щиты, пульты, комплексы технических средств.** Технические средства, для которых на схемах приводят подключения проводов, изображают упрощенно внешними очертаниями или в виде прямоугольников, в которых:

- вводные элементы (гермовводы, сальники) по контуру прямоугольника показывают условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.702–75 (рис. 3.89);

- входные и выходные элементы показывают в виде кружков (для круглых штепсельных разъемов) или прямоугольников (например, для сборок и колодок зажимов и других элементов соответствующей формы).

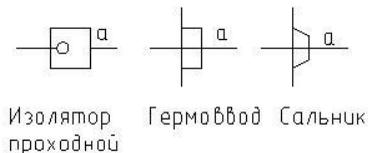


Рис. 3.89. Вводные элементы: а – линия, изображающая провод

Щиты, пульты, стативы изображают в виде прямоугольников в средней части чертежа (при расположении таблицы с поясняющими надписями сверху и снизу поля чертежа) или в нижней части поля чертежа (при расположении таблицы только сверху). Внутри прямоугольника указывается наименование щита, пульта, статива, а под ним (в скобках) – обозначение таблицы подключения данного пульта, щита, статива.

Размеры прямоугольников, обозначающих щиты, пульты, стативы, следует принимать исходя из размещаемой в них информации.

Если полный объем внешних проводок для данного щита, пульта не помещается на одном листе или документе, то на данном листе или документе делают обрыв щита, пульта и продолжение их с соответствующими проводками изображают на следующем листе или в документе со встречным указанием в месте обрыва листа или документа, на котором изображено продолжение этого щита.

**3. Внещитовые приборы, групповая установка приборов.** Внещитовые приборы (датчики, электроконтактные манометры и т. п.) и групповые установки приборов располагают на поле чертежа между таблицей с поясняющими надписями и прямоугольниками, изображающими щиты, пульты, стативы.

Обозначения (внешних приборов), порядковый номер и тип (соединительных коробок) указывают над полкой линий-выносок, а под полкой – обозначение и номер листа установки (рис. 3.90).

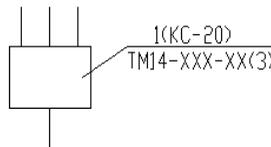


Рис. 3.90. Обозначение внешнетовых приборов

Протяжные коробки (когда не приводят подключения) показывают в виде прямоугольников, внутри которых штриховыми линиями показывают разветвления жгутов проводов (рис. 3.91).

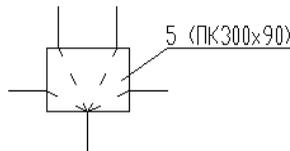


Рис. 3.91. Изображение протяжных коробок

**4. Внешние электрические и трубные проводки.** Первичные и внешитовые приборы, групповые установки приборов, щиты, пульты, стивы соединяют между собой электрическими и пневматическими кабелями, проводами и жгутами проводов, а также трубопроводами (импульсными, командными, питающими и др.), которые показывают на схемах отдельными сплошными основными линиями.

Для соединения и разветвления электрических кабелей и пневмокабелей на схемах соединений показывают электрические соединительные коробки, а при прокладке проводов в защитных трубках – протяжные коробки. Протяжные коробки, необходимые только для протяжки проводов в магистральные защитные трубы, на схемах не показывают. Их выбирают монтажные организации при монтаже. При применении в проекте автоматизации большого числа электрических соединительных коробок рекомендуют разрабатывать для них отдельным документом схему подключения внешних проводок. В этом случае соединительные коробки на схеме соединений показывают упрощенно в виде прямоугольников, без сборок зажимов и без сальников.

Для каждой внешней электрической проводки над изображающей ее линией приводят ее техническую характеристику:

- для проводов – марку, сечение и при необходимости расцветку. При просадке в одной защитной трубе нескольких проводок перед маркой проставляют их количество, например 4АПВ 2×2,5 м;

- для кабелей – марку, количество и сечение жил и при необходимости количество занятых жил, которые указывают в прямоугольнике, помещаемом справа от обозначения данного кабеля;

- для металлокава – тип;

- для трубы – диаметр, толщину стенки. Длину указывают под линией проводки. Если на схеме присутствует несколько кабелей, труб одной марки, одного сортамента, а также запорной арматуры одного типа и если они расположены рядом, их марку и тип допускается указывать на общей выносной линии.

Контрольным кабелям и защитным трубам, в которых проложены жгуты проводов, присваивают порядковые номера. Коробам, в которых проложены жгуты проводов, присваивают порядковые номера с добавлением буквы К.

Трубным проводкам (импульсным, командным, питающим, дренажным, вспомогательным и т. д., в том числе пневмокабелям) присва-

ивают порядковые номера с добавлением перед ними индекса 0: 01, 02, 03 и т. д.

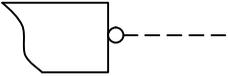
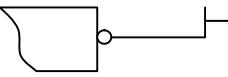
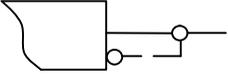
Номера кабелей, жгутов проводов, трубопроводов проставляют в окружностях, помещаемых в разрывах изображений проводок. Диаметры окружностей следует принимать исходя из размеров записываемых в них номеров. Но на одном листе схемы эти окружности должны быть одного диаметра. Порядковые номера проводкам присваивают на схеме соединений сверху вниз (при расположении щитов, пультов снизу поля чертежа), снизу вверх (при расположении щитов, пультов в средней части чертежа) и слева направо. Нумерация внешних проводок должна быть сквозной в пределах документа.

При выполнении схем на нескольких листах или отдельными документами кабели, провода, жгуты проводов, трубы, которые должны переходить с одного листа на другой, обрывают. В месте обрыва указывают обозначение, присвоенное этой проводке (номер кабеля, провода, трубы), и в скобках – номер листа (при выполнении схемы на нескольких листах) или обозначение документа (при выполнении схем самостоятельными документами). На последующем листе или документе показывают продолжение проводки со ссылкой на предыдущий и (или) последующий листы или документ.

**5. Защитное зануление систем автоматизации.** Защитное зануление систем автоматизации выполняют в соответствии с требованиями главы 1.7 ПУЭ-87 (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Условные графические обозначения защитного зануления

Наименование	Обозначение
Защитный проводник, присоединенный к корпусу электрооборудования	
Жила кабеля или провода, используемая в качестве нулевого защитного проводника и присоединяемая к корпусу электрооборудования	
Защитный проводник электрооборудования, присоединяемый к броне, оболочке кабеля или защитной трубе	

Жилам кабелей и проводов, используемых в качестве нулевых защитных проводников, присваивают цифровое обозначение с добавлением буквы N (например, 801N).

**6. Технические требования к схеме.** Технические требования к схеме в общем случае должны содержать:

- ссылки на схемы автоматизации, на которых указаны позиционные обозначения приборов;
- пояснения по нумерации кабелей, проводов, труб, коробов (при необходимости);
- указания по защитному заземлению и занулению электроустановок.

**7. Перечень элементов.** В перечень элементов включают:

- запорную арматуру;
- соединительные и протяжные коробки;
- кабели, провода, пневмокабели;
- материалы для защитного заземления и зануления оборудования и проводов.

### **3.7.3. Принципы автоматизированного проектирования монтажных документов**

#### **3.7.3.1. Принципы формирования схем соединений в CADElectro**

Таблицы соединений могут быть созданы только после разработки схемы расположения (внутренний монтаж) и после добавления всей информации о сечениях проводов, типах наконечников и т. д с помощью информационной панели Соединения.

Поэтому необходимо создать схему расположения внутреннего монтажа. Для этого нужно выделить папку проекта на информационной панели Документы и воспользоваться кнопкой «Добавить схему расположения (внутренний монтаж)» ; добавить лист схемы кнопкой «Добавить лист» . Открывают лист схемы двойным щелчком ЛК мыши по соответствующей строке в списке документов информационной панели Документы. Действия с форматом и основной надписью аналогичны таковым при создании принципиальной схемы. Над схемой расположения по конструктивному устройству работают согласно следующей последовательности:

- задать масштаб листа, выбрав нужный (например, 1:10) из контекстного меню: щелкнуть ПК мыши по имени листа на панели Документы, из выпавшего меню выбрать команду **Масштаб**, далее из каскадного меню выбрать необходимое значение;
- создать вид конструктива или его плоскости (например, прямоугольник двери и панели шкафа или ящика) с помощью команды меню Монтаж\Создать конструктивное устройство или с помощью соответствующего инструмента . Необходимо указать две точки прямоугольника плоскости. Создается конструктивное устройство с названием «Новое конструктивное устройство», при этом автоматически включен режим переименования. Для выхода из режима переименования или для его завершения нужно нажать на клавишу «Ввод». При необходимости можно откорректировать размеры прямоугольника конструктивного устройства, выделив прямоугольник и воспользовавшись информационной панелью Свойства;
- провести компоновку аппаратуры по плоскостям конструктива (дверь и панель – рис. 3.92). Для размещения изображения аппарата внутри прямоугольника конструктива достаточно перетащить его из списка панели Компоненты на чертеж (для перетаскивания доступно изображение аппарата, которое в списке отображено иконкой ; если иконка иная, это значит, что тип аппарата задан неверно либо вообще не назначен, поэтому его требуется подкорректировать). Размещенные на схеме аппараты помечают иконкой .

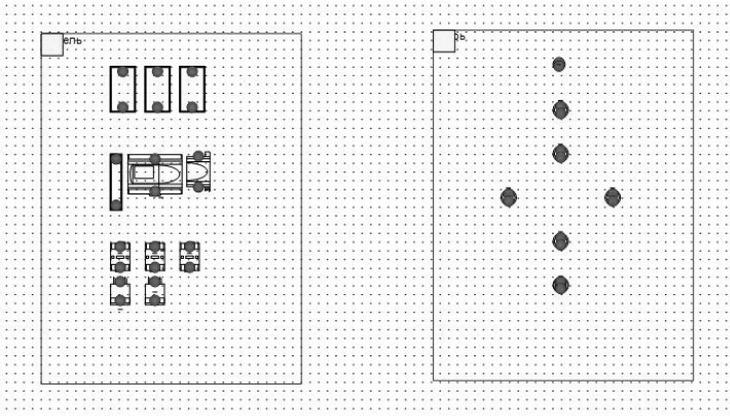


Рис. 3.92. Пример компоновки аппаратуры на чертеже в CADElectro

• задать трассы на чертеже для монтажа проводок. Для этого требуется предусмотреть короба, в которых будет проложена трасса. Короб может быть создан с типом или без него соответствующей командой меню Монтаж. При выполнении углового или Т-образного соединения система автоматически выравнивает место стыковки, то есть нет необходимости точно вручную стыковать трассы.

Далее проводят **монтаж**. Для этого необходимо определить в пакете соединения между панелью и дверью и внешние соединения, которые должны идти через набор зажимов. Для этого используют диалоговое окно «Клеммники» (рис. 3.93), вызываемое через меню Монтаж/Клеммники или соответствующий инструмент .

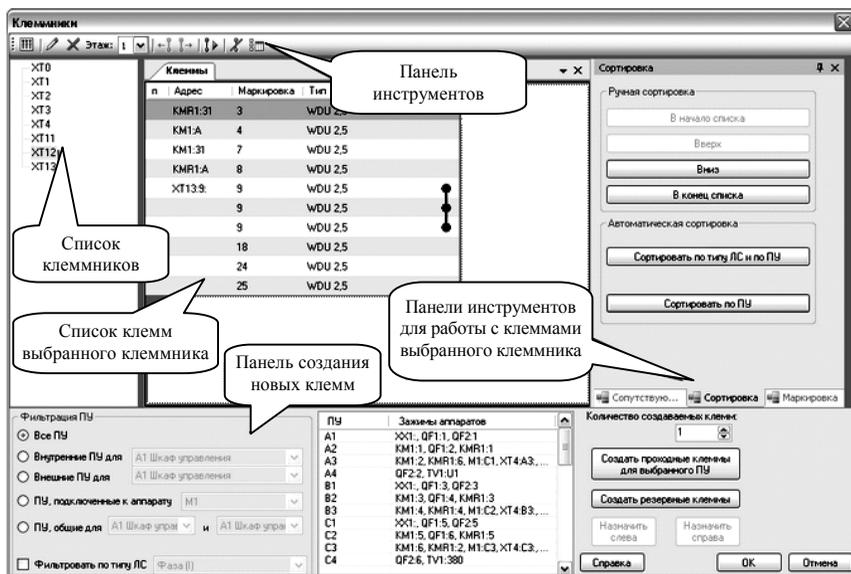


Рис. 3.93. Диалоговое окно «Клеммники»

Добавить набор зажимов позволяет инструмент «Добавить клеммники»  диалогового окна «Клеммники». Желательно разграничить внутренние соединения на один набор зажимов, внешние – на второй (создать ХТ1 и ХТ2).

Все внешние соединения ведутся через набор зажимов ХТ1. Его выделяют в списке диалогового окна и с помощью инструмента

фильтрации потенциальных узлов (левая нижняя область диалогового окна) выбирают подключения к внешним аппаратам, а затем ключ «Внешние ПУ для» и в списке напротив ключа – «Панель». В списке узлов появляются внешние подключения. Нужно заметить, что к внешним будут отнесены и подключения между панелью и дверью. Поэтому в списке выбирают внешнее подключение. В зависимости от количества аппаратов в соединении назначают количество создаваемых клемм (по умолчанию – одна клемма) и нажимают на кнопку «Создать проходные клеммы для выбранного ПУ». При этом пополняется список клемм набора зажимов.

Соединения между панелью и дверью будут вестись через набор зажимов ХТ2. Выбирают ключ «ПУ, общие для», а в списке – «Панель» и «Дверь»; повторяют вышеописанные действия.

Клеммы, соединяющие одни и те же потенциальные узлы, чтобы не вести монтаж проводом, должны быть соединены перемычкой. Для этого необходимо воспользоваться инструментом Автоматическая расстановка перемычек . В списке клемм появится символ перемычки (рис. 3.94).

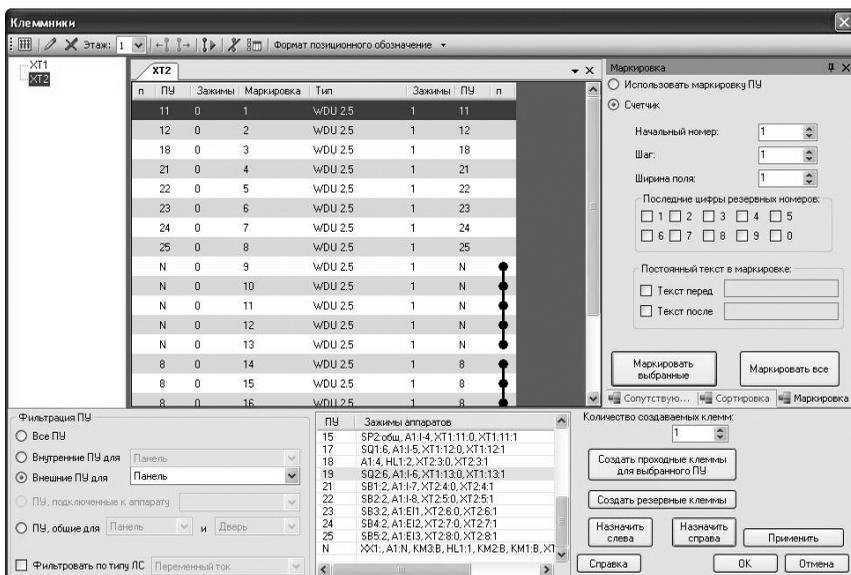


Рис. 3.94. Перемычки в диалоговом окне «Клеммники»

После нажатия на кнопку «Применить» и выхода из диалогового окна «Клеммники» остается разместить наборы зажимов на чертеже: используя модальное окно «Компоненты», перетащить на чертеж зажимы.

Прежде чем выполнять на чертеже **автоматический монтаж**, необходимо проверить настройки проекта через меню Сервис\Настройки\Настройки проекта\Прочие настройки проекта. Здесь нужно установить приемлемое максимальное расстояние от короба до точки подключения аппарата. Эта величина определяет радиус области, в которой должна находиться трасса, для корректного монтажа.

Автоматический монтаж проводят командой меню Монтаж\Сделать монтаж. Открывается диалоговое окно, где выбирают конструктивное устройство, для которого нужно сделать автоматический монтаж. По завершении процедуры монтажа на чертеже будут созданы условные соединения.

В случае, если в процессе работы данной функции возникли какие-либо трудности подключения определенных потенциальных узлов, по окончании будет отображено диалоговое окно с сообщением о том, какие ПУ и какие аппараты не удалось подключить. Причиной тому может быть отсутствие свободных зажимов (нужно добавить дополнительные клеммы), либо зажимы аппаратов расположены далеко от короба (добавить трассы).

Все созданные соединения будут отображены на панели Соединения (рис. 3.95). При выборе соединения на схеме оно автоматически выбирается на панели и наоборот. У выбранного соединения подсвечиваются желтыми маркерами начало и конец. С помощью указателя мыши можно перемещать эти маркеры, изменяя таким образом монтаж.

Последовательность проектирования **схемы расположения внешнего монтажа** условно можно разбить на несколько этапов:

- 1) выбор формата и основной надписи листа, создание документа;
- 2) размещение и работа с символами;
- 3) создание трассы и трассировка проводов;
- 4) нанесение на схему дополнительной информации в виде графики и текста.

Для создания чертежа расположения (внешний монтаж) используют кнопку «Добавить схему расположения (внешний монтаж)»  окна

Документы. Созданный документ по умолчанию называется «Схема расположения (внешний монтаж)». Как и в случае с другими документами, сразу же после создания включен режим переименования. В уже созданный документ можно добавлять листы с помощью кнопки «Добавить лист»  окна Документы. Лист чертежа открывают двойным щелчком ЛК мыши по нему в списке документов.

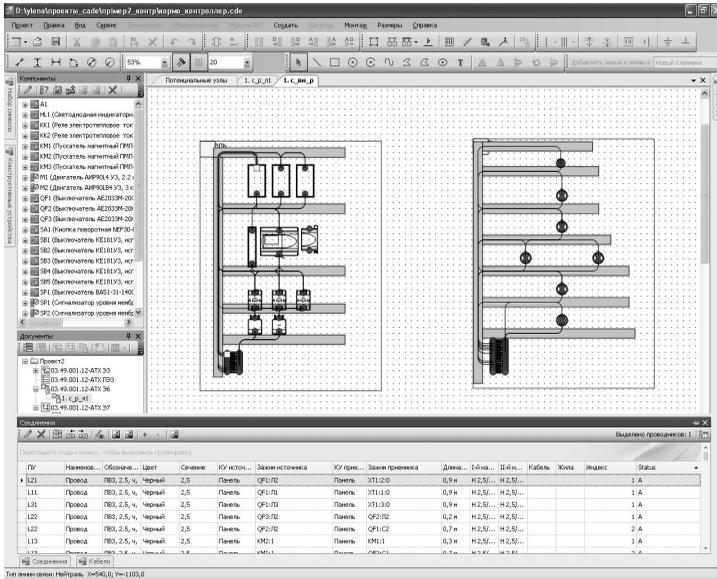


Рис. 3.95. Автоматический монтаж на чертеже

На схеме расположения внешнего монтажа конструктивные устройства и аппараты изображаются условными символами: конструктивное устройство – прямоугольником; аппарат – эллипсом. Символы размещают на листе чертежа, используя модальное окно «Конструктивные устройства» и перетаскивая из него конструктивы. Изображения аппаратов перетаскивают на схему через модальное окно «Компоненты».

Далее следует создать внешнюю трассу через меню Монтаж\ Создать трассу внешнего монтажа или инструмент , навести курсор на первое устройство и щелкнуть ЛК мыши внутри области, ограниченной символом, затем подвести ко второму устройству. У созданной трассы можно редактировать геометрию расположения

так же, как и у линии связи при работе на принципиальной схеме. После создания трасса красного цвета. Это связано с тем, что она соединяет два устройства, у которых есть одинаковые потенциальные узлы, но для которых не добавлено соединение. После добавления в трассу соединения система проверяет, есть ли еще общие потенциальные узлы. Если все общие потенциальные узлы соединены корректно, линия меняет свой цвет на черный (рис. 3.96).

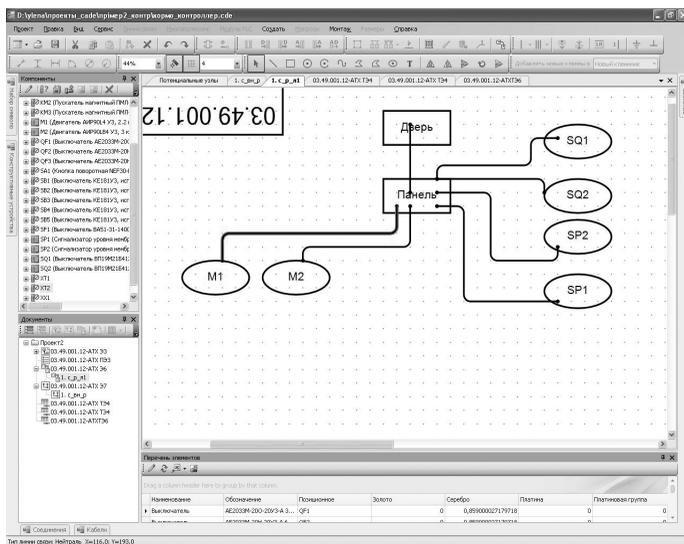


Рис. 3.96. Внешние соединения на листе чертежа расположения

Добавить соединение в трассу можно через диалоговое окно свойств соединения (рис. 3.97), открываемый двойным щелчком ЛК мыши по трассе внешнего монтажа. Здесь назначают длину трассы и используют кнопку «Автоматический монтаж» для автоматического добавления соединения в трассу.

Создать таблицу соединений внутреннего монтажа можно с помощью кнопки «Добавить текстовый документ» , открыв выпадающий список и выбрав пункт «Создать таблицу соединений (внутренний монтаж)». По умолчанию документ называется «Таблица соединений (внутренний монтаж)». После выхода из режима переименования открыть документ можно двойным щелчком ЛК мыши (рис. 3.98), а вывести на печать – с помощью инструмента «Печать» .

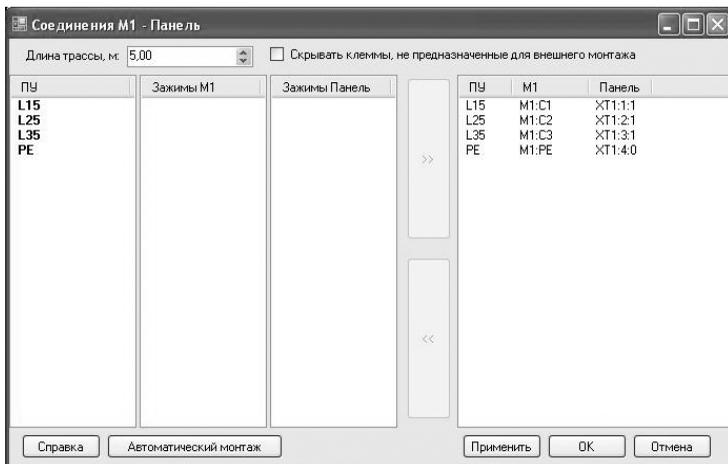


Рис. 3.97. Диалоговое окно свойств внешнего соединения

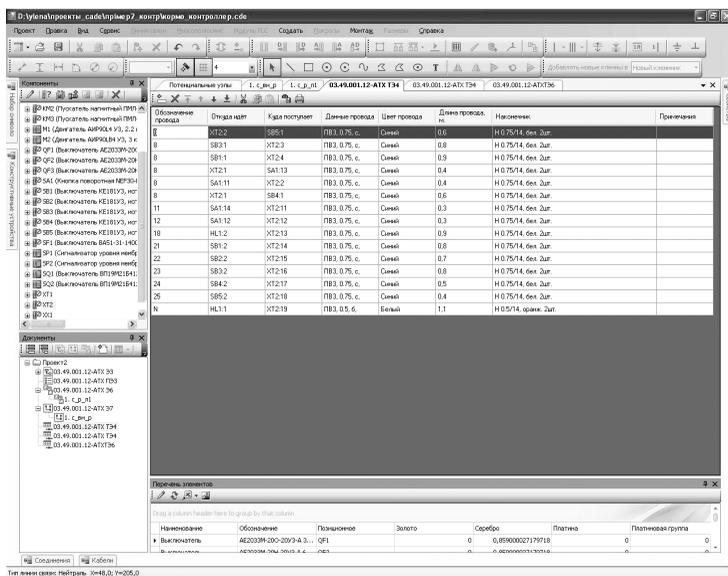


Рис. 3.98. Таблица соединений внутреннего монтажа

Последовательность действий при создании таблицы соединений внешнего монтажа (рис. 3.99) такая же, как и при создании таблицы внутреннего монтажа.

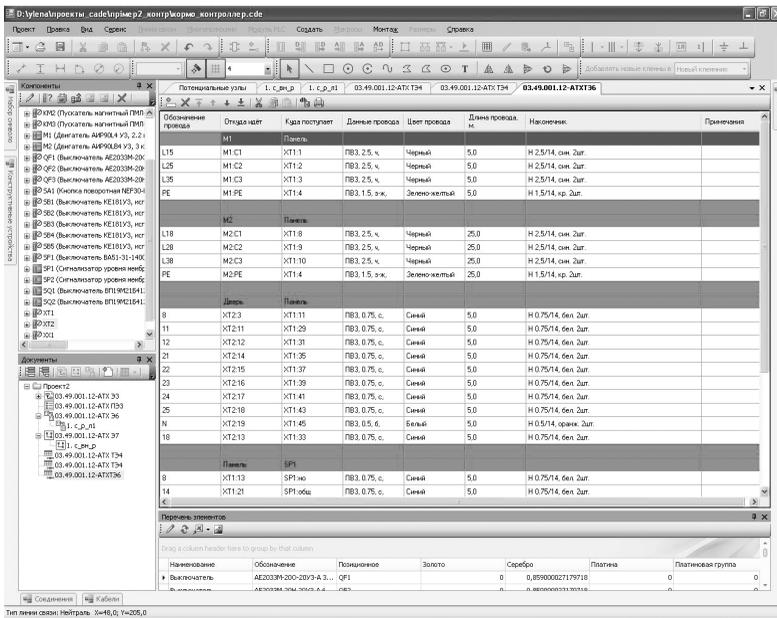


Рис. 3.99. Таблица соединений внешнего монтажа

### 3.7.3.2. Особенности разработки схем соединений внешних проводов

Формирование схем соединений внешних проводов подлежит высокой степени формализации, поэтому их разработку можно автоматизировать даже в общеприменимом пакете, таком как AutoCAD. Примером может служить пользовательская программа ССВП на языке AutoLISP for AutoCAD [65, прилож. Б]. Работать с программой достаточно просто: требуются лишь корректные ответы на запросы, а программа автоматически производит отрисовку и предлагает принять характеристики проводки, обозначение типового монтажного чертежа или ввести свои.

Рассмотрим порядок работы с программой.

1. Загрузить AutoCAD с помощью кнопки «Пуск» (Программы\AutoCAD) или ярлыка на рабочем столе.

2. В диалоговом окне начала работы Startup выбрать третью слева кнопку Use a Template (рис. 3.100) для загрузки шаблона a3ss1, в котором задана форма схемы соединений внешних проводов и наиболее

приемлемые режимы рисования. Если в списке шаблонов не окажется требуемого, необходимо с помощью кнопки Browse указать место расположения файла шаблона, например: C:\mi\Template\A3ss1.

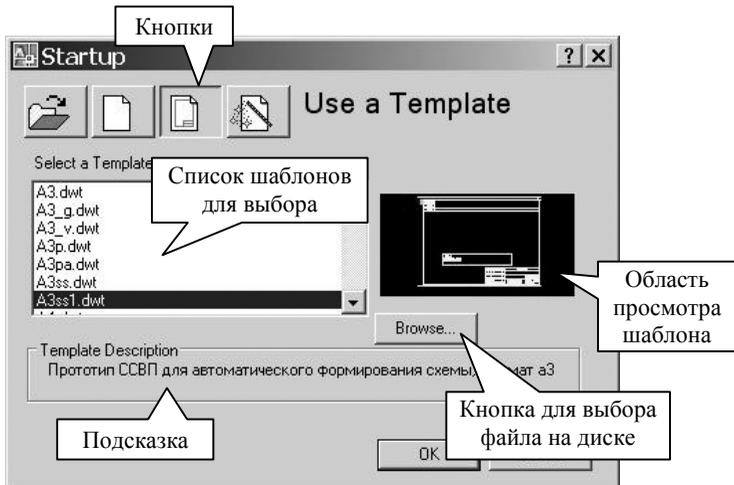


Рис. 3.100. Диалоговое окно начала работы

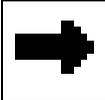
3. Сформировать схему можно с помощью падающего меню БАЗА\БАЗАСС (рис. 3.101) либо одноименной панели инструментов. Сначала требуется загрузить программу ССВП: пройти по вложенности меню БАЗА\БАЗАСС\Установки\Начало или воспользоваться инструментом «Начало» .

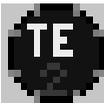
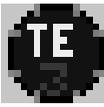


Рис. 3.101. Меню БАЗА

4. Установить режим ввода данных (автоматически или вручную) с помощью вложенности меню БАЗА\БАЗАСС\Установки\Авторежим (или Режим ввода) или с помощью соответствующих инструментов (табл. 3.17).

Назначение пунктов меню БАЗАСС

Подменю	Пункт	Инструмент	Назначение
Установки	Начало		Загружает программу формирования контуров проводок. В командной строке появится сообщение «Готово»
	Авторежим		Режим, при котором программа будет использовать для отрисовки контура значения по умолчанию, не требуя данных от пользователя
	Режим ввода		Режим, при котором пользователю необходимо давать ответы на все необходимые запросы
Отрисовка	Контур ЭД		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для электродвигателя
	Контур кнопки (З)		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для кнопочного выключателя с замыкающимся контактом
	Контур кнопки (Р)		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для кнопочного выключателя с размыкающимся контактом
	Контур поста		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для кнопочного поста
	Контур нагревателя		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для нагревателя

Подменю	Пункт	Инструмент	Назначение
	Контур Д2		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для датчика, к которому необходимо подключать два проводника
	Контур Д3		Вызывает на исполнение подпрограмму отрисовки контура проводки для датчика, к которому необходимо подключать три проводника
Блоки			Вызывает графическое меню-библиотеку блоков, используемых при формировании схемы

5. Приступить к отрисовке контуров проводок, воспользовавшись вложенностью пункта «Отрисовка» либо соответствующими инструментами (табл. 3.17) в зависимости от типа внешнего устройства. Примерный вариант запросов и возможных ответов приведен в табл. 3.18 на примере прорисовки контура проводки датчика. Следует помнить, что значение, стоящее в угловых скобках  $< >$ , может быть задано, если нажать «пустой» ввод (значение по умолчанию).

Таблица 3.18

Основные запросы при выполнении команды отрисовки контура проводки

Запрос	Ответ	Характеристика
Укажите точку вставки датчика	Необходимо указать точку (щелчком мыши либо вводом координат с клавиатуры), где будет сформирован контур проводки	Важна только координата $X$ , т. к. координата $Y$ задается программно

Запрос	Ответ	Характеристика
<p>Введите характеристику параметра (3 строки), 1-я строка</p> <p>Введите характеристику параметра (3 строки), 2-я строка</p> <p>Введите характеристику параметра (3 строки), 3-я строка</p>	<p>Эта текстовая информация необходима для заполнения таблицы данных (графа «Наименование построчно»), где должны быть указаны контролируемые параметры и место установки устройства. Например, температура теплоносителя из топки</p>	<p>Параметр не требует обязательного заполнения. Наименование устройства формируется автоматически (1-я строка) при вводе его обозначения</p>
<p>Введите обозначение ДАТЧИКА &lt;TI&gt;</p>	<p>Обозначение должно повторять таковое на схеме автоматизации. Например, термометр сопротивления обозначается как TE</p>	<p>Обязательный параметр. Вводится прописными латинскими символами</p>
<p>Введите позицию датчика &lt;&gt;</p>	<p>Вводится действительное число, повторяющее позицию устройства на схеме автоматизации</p>	<p>Обязательный параметр</p>
<p>Введите номер проводки &lt;&gt;</p>	<p>Требует ввода действительного числа номера проводки (в порядке расположения слева направо и сверху вниз по чертежу)</p>	<p>Необязательный параметр. Значение может быть задано автоматически</p>
<p>Введите номер маркировки провода 1 &lt;&gt;</p> <p>Введите номер маркировки провода 2 &lt;&gt;</p>	<p>Требует ввода действительного числа обозначения по принципиальной схеме подключаемых к устройству проводников</p>	<p>Обязательный параметр</p>
<p>Введите номер ХТ &lt;&gt;</p>	<p>Требует ввода действительного числа номера набора зажимов</p>	<p>Необязательный параметр. Значение может быть задано автоматически</p>

Запрос	Ответ	Характеристика
Введите марку проводки <КВВГ>	Текстовая переменная марки проводки	Необязательный параметр. Значение может быть задано автоматически
Введите марку и кол-во жил проводки <4×1>	Текстовая переменная данных проводки	Необязательный параметр. Значение может быть задано автоматически
Введите обозначение <ТМ...>	Вводится текстовая переменная обозначения типового монтажного чертежа установки устройства	Если корректно введено обозначение устройства, то переменная задается автоматически

6. После этого следует сохранить схему и оформить схему средствами AutoCAD: заполнить штамп, используя команды **TEXT** или **DDATTR**, при необходимости обрезать ненужные линии (команда **TRIM**), подписать прямоугольник щита, нанести технические требования.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Каким требованиям должны удовлетворять электропроводки систем автоматизации?
2. Какими способами ведется прокладка электропроводки в производственном помещении?
3. Какими способами допускается прокладывать электропроводку с конструктивными элементами из негорючих материалов?
4. Какими способами допускается прокладывать электропроводку в пластмассовых защитных трубах?
5. Каковы требования по выполнению трассы электропроводки?
6. Каким образом осуществляется выбор способа выполнения электропроводки?
7. В каких случаях выбирают провода и кабели с медными жилами?
8. Какова методика расчета сечения провода или жилы кабеля в цепях управления, сигнализации, измерения?

9. Каковы условия совместной прокладки проводов в одной защитной трубе?

10. Когда применяются электропроводки в стальных коробах и на лотках?

11. Какова методика определения типоразмера короба?

12. Когда применяются электропроводки в защитных трубах?

13. Какова методика определения диаметра защитной трубы?

14. Когда применяют открытые кабельные проводки?

15. Каковы способы составления схемы соединений?

16. Каковы принципы разработки таблиц соединений?

17. Каковы принципы разработки таблиц подключения?

18. Каково содержание схемы соединений внешних проводов?

19. Каковы требования к отрисовке элементов схемы соединений внешних проводов?

20. Каков алгоритм создания таблиц соединений в CADElectro?

21. Какой пакет САПР применим для разработки схемы соединений внешних проводов?

22. Каков порядок разработки схемы соединений внешних проводов?

23. Как можно охарактеризовать степень автоматизации формирования монтажных документов в САПР CADElectro?

### **3.8. Проектирование щитов автоматики**

#### ***3.8.1. Классификация щитов и пультов. Виды щитовой продукции***

Конструктивные устройства, предназначенные для установки аппаратуры с целью защиты ее от неблагоприятного воздействия окружающей среды, делятся на две большие группы: НКУ и щиты автоматики.

НКУ предназначены для управления электроустановками. Для комплектации НКУ необходимо применять преимущественно типовые блоки и панели, но при условии, что все аппараты этих блоков и панелей использованы. Когда типовые блоки и панели не подходят полностью, необходимо предусмотреть нетиповые (наборные) панели, формируемые из рекомендуемых аппаратов [66]. В свою очередь, НКУ подразделяются на щиты, шкафы, блоки, панели, ящики, пульты, столешницы (рис. 3.102).

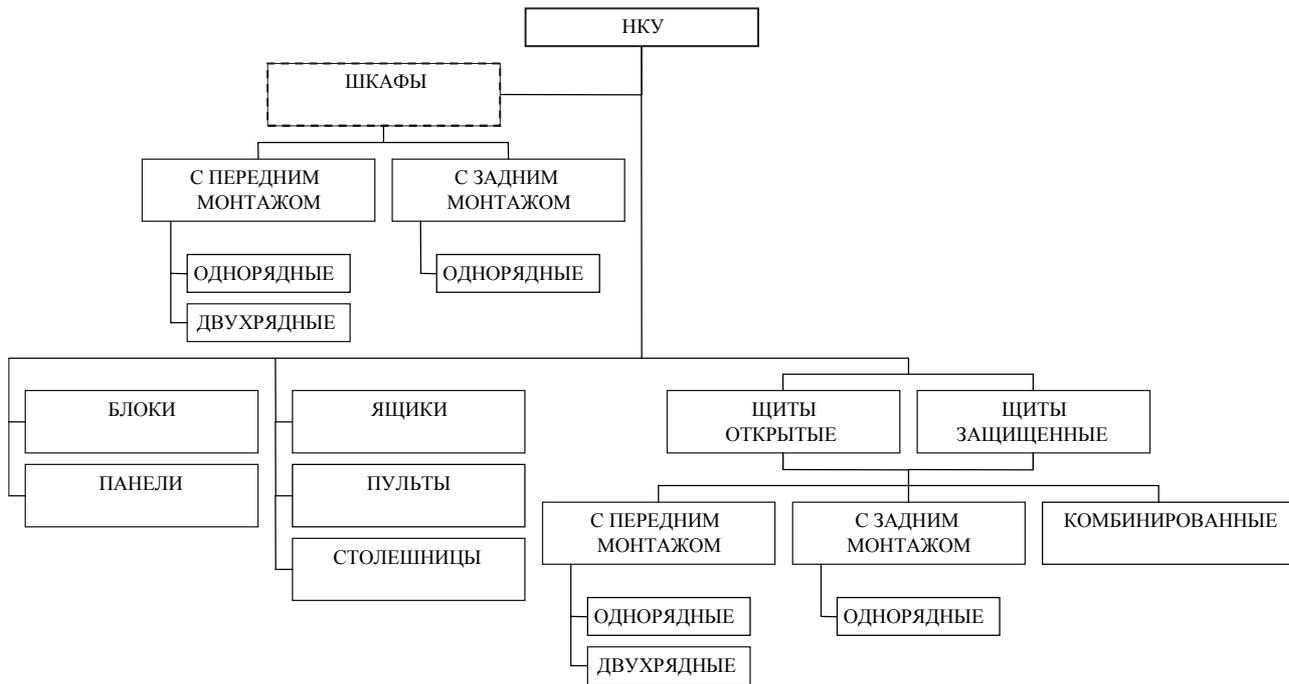


Рис. 3.102. Классификация НКУ

Щиты и пульты систем автоматизации предназначены для размещения в них средств контроля технологического процесса и управления им, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т. п. Щиты автоматики подразделяются на щиты, шкафы, панели, стойки, пульты (рис. 3.103).



Рис. 3.103. Классификация щитов автоматики

### **3.8.2. Принципы компоновки аппаратуры в щитах автоматики**

#### **3.8.2.1. Условная запись типоразмера и конструкция щитов автоматики**

Все щитовые изделия (группы щитов автоматики), предусмотренные ОСТ 36.13–90, по конструкции и назначению подразделяются на 5 групп: щиты и стativeвы высотой 2200 и 1800 мм; стativeвы плоские высотой 2200 и 1800 мм; щиты шкафные малогабаритные; пульты; вспомогательные элементы щитов и пультов.

По ОСТ 36.13–90 предусматривается условная запись всех модификаций щитовой продукции по определенной схеме при ее заказе и в проектной документации:

Щит – ЩШ-3Д – 1 – 22 – 3 – (444×444) – УХЛ4 – IP30 ОСТ 36.13–90,

где «Щит» – наименование изделия;

ЩШ-3Д – первые буквы наименования (3Д проставляют только для одиночных щитов);

1 – количество секций (для одиночного щита не проставляют);

22 – степень открытия боковых сторон щита (О2 – открытый с двух сторон, ОП и ОЛ – соответственно открытый справа и слева);  
3 – номер исполнения (I, II);  
(444×444) – типоразмер (высота на глубину);  
УХЛ4 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150–89;  
IP30 – степень защиты по ГОСТ 74254–80;  
ОСТ 36.13–90 – обозначение основного документа.

Основой полногабаритных щитов и стивов является объемный каркас. Стойки, образующие каркас, имеют ряд установочных отверстий диаметром 6,6 мм, расположенных с шагом 25 мм. Установка на каркас двух или трех фасадных панелей образует панель с каркасом соответственно первого или второго исполнения. Установка на панели с каркасом боковых стенок, дверей и крышки образует шкафы.

Шафы малогабаритные конструктивно представляют собой цельносварной корпус. С помощью петель на каркас с передней стороны установлена дверь с замком. Крышки шкафа съемные, закрепленные при помощи болтовых соединений. Нижняя крышка имеет 12 отверстий для ввода внешних проводок. Монтажное поле в щитах образовано специально предусмотренными для этой цели швеллерами, которые, аналогично стойкам каркаса полногабаритных щитов и стивов, имеют ряды отверстий диаметром 6,6 мм, расположенные с шагом 25 мм, для закрепления деталей для монтажа аппаратуры и проводок. Швеллеры крепятся на задней стенке при помощи болтовых соединений.

Шафы малогабаритные исполнения I предназначены для напольной установки, II – для навесной установки.

При необходимости отдельные аппараты управления и сигнализации могут быть установлены также и на двери.

### ***3.8.2.2. Принципы компоновки аппаратуры в щитах автоматики***

Исходными материалами для размещения аппаратуры, монтажных изделий, реле приборного типа и т. п. являются: а) габариты и конструкции выбранных стандартных пультов и щитов; б) принципиальные схемы автоматизации; в) принципиальные схемы питания;

г) монтажно-эксплуатационные инструкции на приборы и средства автоматизации; д) чертежи установки приборов и средств автоматизации внутри шкафных щитов и пультов и на панельных щитах; е) чертежи металлоконструкций нестандартных щитов и пультов.

При выборе щитов и размещении в них приборов и аппаратов придерживаются следующего порядка:

1. Предварительно определив тип щитовой продукции, в соответствии с исходными материалами *б* и *в* определяют перечень приборов и аппаратуры, располагаемой на фасадных панелях щитов, пультов и внутри щитов и стативов.

На фасадной панели щитов размещают самопишущие и регистрирующие приборы, органы управления, показывающие приборы, сигнальную арматуру, мнемосхемы. Внутри шкафных щитов или на монтажной стороне панельных щитов размещают неоперативную аппаратуру схем автоматизации: выключатели, предохранители, трансформаторы, выпрямители, источники питания, резисторы, реле, фильтры, редукторы и т. п., а также в некоторых случаях реле приборного типа, регулирующие и функциональные блоки и т. п.

При размещении приборов и аппаратуры на щитах и пультах:

а) не допускается установка приборов и аппаратуры утопленного монтажа (вторичных приборов, кнопок, ключей, сигнальной арматуры, табло и т. д.) на боковых стенках шкафных щитов, а также на боковых стенках щитов панельных с каркасом, закрытых слева или справа;

б) не допускается установка приборов и внутрищитовой аппаратуры на дверях шкафных щитов;

в) не допускается установка внутрищитовой аппаратуры на дверях малогабаритных щитов;

г) на щитах, устанавливаемых в щитовых помещениях, не допускается установка приборов, к которым непосредственно подводятся горючие и взрывоопасные вещества;

д) в шкафных щитах, устанавливаемых в производственных помещениях, не рекомендуется располагать датчики, к которым подводятся токсичные вещества, а также устанавливать приборы с ртутным заполнением. При необходимости такой установки щиты должны иметь надежную вентиляцию, отвечающую нормам и правилам работ с токсичными веществами;

е) на щитах, на которых смонтированы приборы автоматического регулирования и управления, слаботочные реле и другие чувстви-

тельные аппараты и приборы, не допускается установка пускателей третьей и большей величины.

При решении вопроса об установке пускателей второй величины на щитах или на отдельных сборках необходимо учитывать количество пускателей и частоту их включения. Допускается установка ограниченного количества пускателей второй величины при относительно малой частоте включения;

ж) установка аппаратуры (реле, трансформаторов, предохранителей и пр.) в пультах, как правило, не допускается;

з) не допускается размещение приборов и аппаратуры на вспомогательных элементах щитов (панелях вспомогательных с дверью и без дверей, панели торцевой декоративной, вставках угловых).

2. Руководствуясь ГОСТами, руководящими материалами, производят предварительную компоновку приборов, аппаратов, вспомогательных изделий на фасадных панелях или дверях щитов и внутри щитов.

Компоновка приборов и аппаратуры на фасадных панелях щитов должна выполняться с учетом допустимых полей монтажа (рис. 3.104, 3.105).

Размеры приборов и аппаратуры, устанавливаемых на фасадных панелях, а также расстояния между ними принимаются согласно РТМ 25.91–90 «Рекомендуемые расстояния между приборами на фасадах щитов и пультов».

Приборы и средства автоматизации рекомендуется размещать на следующих расстояниях по высоте (от основания щита до горизонтальных осей приборов и аппаратов):

а) показывающие приборы и сигнальная арматура – 1000–1650 мм, допустимо 800–1100 мм;

б) регистрирующие приборы на оперативных щитах без приставных пультов – 900–1900 мм;

в) регистрирующие приборы на оперативных щитах с приставными пультами – 1100–1700 мм;

г) регистрирующие приборы на неоперативных щитах – 700–2000 мм;

д) оперативная (командная) аппаратура управления (переключатели, ключи и кнопки управления) – 700–1500 мм;

е) мнемосхемы на щитах – 1000–1100 мм.

Расстояние от основания щита до нижней кромки прибора должно быть не менее 500 мм.

При размещении приборов и средств автоматизации на фасадах щитов малогабаритного исполнения следует учесть, что щиты крепятся к стене или устанавливаются на стойках таким образом, что расстояние между бетонным основанием и днищем щита равно 800 мм.

Также при использовании шкафных щитов необходимо учитывать, что поле нижней панели является декоративным и не предназначено для установки аппаратуры. Для исполнения II на поле средней панели располагают крупногабаритные и самопишущие приборы, органы управления. На поле верхней панели – сигнальную арматуру, малогабаритные показывающие приборы, компактные мнемосхемы.

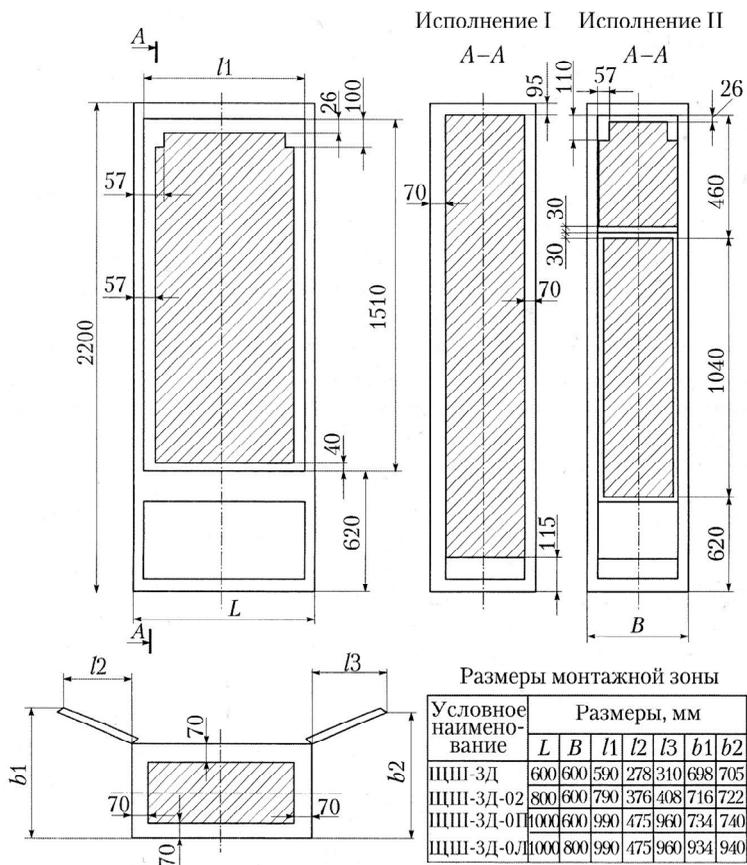


Рис. 3.104. Монтажные зоны шкафных щитов ЩШ-ЗД:  
а – исполнение I; б – исполнение II

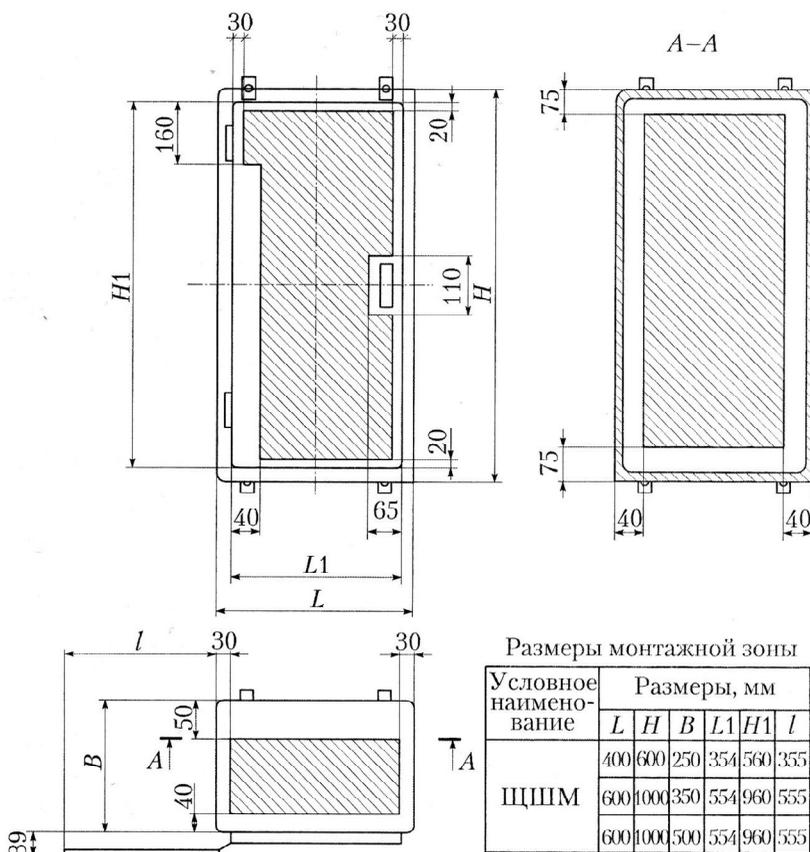


Рис. 3.105. Допустимые поля монтажа малогабаритных щитов

При размещении аппаратуры внутри шкафных щитов и на панельных щитах должны учитываться:

- допустимые расстояния между корпусами аппаратов, приборов и монтажных изделий;
- рекомендации по расположению аппаратуры по высоте;
- рекомендации по размещению аппаратуры по тепловым зонам;
- габариты выступающих внутрь шкафных щитов, приборов и аппаратов утопленного монтажа, устанавливаемых на фасаде этих щитов;
- габариты установочных конструкций, устройств разделки вводимых в щит кабелей, устройств для крепления проводов, труб и т. п.;
- удобство демонтажа приборов и аппаратов.

Аппаратуру внутри шкафных щитов и на панельных щитах рекомендуется устанавливать на следующих расстояниях по высоте от основания щита до основания приборов:

- трансформаторы и источники питания, как редко обслуживаемые, – 1700–2000 мм;
- выключатели, предохранители, ключи – 700–1700 мм;
- реле – 600–1900 мм;
- воздушные фильтры и редукторы – 500–1500 мм;
- воздушный коллектор – 250–500 мм;
- сборки зажимов (при горизонтальном расположении) с учетом разделки кабеля – 450–800 мм; в случае установки двух и более горизонтальных сборок расстояние между ними должно быть 200 мм;
- сборки зажимов (при вертикальном расположении) с учетом разделки кабеля снизу и сверху: нижний край сборки – 350 мм, верхний край сборки – 1900 мм;
- стойки для крепления кабелей – 150 мм.

При размещении аппаратов на боковых стенках малогабаритных щитов глубиной 500 мм дополнительно устанавливается угольник У32 по ТКЗ-262–90, имеющий ряд перфорированных отверстий диаметром 6,6 мм с шагом 25 мм. Сборки контактных зажимов в этих щитах располагаются горизонтально на задней стенке, допускается горизонтальная или вертикальная установка на боковой стенке малогабаритных щитов.

Сборки зажимов и скобы для крепления кабелей рекомендуется устанавливать на боковых стенках пульта либо по ширине пульта на уголках, приваренных к его боковым стенкам. В случае установки двух рядов сборок расстояние между ними должно быть не менее 200 мм. Установка трех рядов сборок в пульте не допускается. Стойки для крепления кабелей рекомендуется устанавливать на расстоянии не менее 70 мм от основания пульта.

В пультах с поднимающейся верхней панелью допускается установка предохранителей, трансформаторов, резисторов и прочей электроаппаратуры, не имеющей подвижных элементов, при условии обеспечения удобства их обслуживания при поднятой верхней панели пульта.

При размещении аппаратуры на монтажной стороне панели рекомендуется группировать ее по принадлежности к системам измерения, регулирования, управления и сигнализации, а внутри этих

групп компоновать по роду тока и величине напряжения, типам аппаратов и т. д.

В случае установки в щите приборов и устройств, работа которых создает помехи в измерительных цепях (например, феррорезонансные стабилизаторы), рекомендуется размещать их в зонах, наиболее удаленных от измерительных цепей (если это возможно, на других панелях щита).

Ввод электрических проводок в щиты и пульты должен выполняться:

- в щиты шкафные, шкафные малогабаритные – снизу;
- в пульты – снизу;
- в щиты панельные с каркасом – снизу и сверху.

Устройства, в которых во включенном состоянии выделяется тепло (лампы, резисторы, трансформаторы и т. п.), следует размещать в верхней части щитов. Аппараты и приборы, характеристики которых существенно зависят от температуры окружающей среды, следует размещать в зонах, удаленных от устройств, выделяющих тепло.

Компоновку аппаратов в щитах рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Определить монтажную зону соответствующей плоскости щита по рисунку.

2. Определить поле монтажа, свободное от теней приборов и аппаратов, устанавливаемых на смежной плоскости щита. При определении размеров тени необходимо учитывать также площадь, перекрываемую крышкой аппарата при ее снятии.

3. Наметить вариант взаимного расположения (композицию) устанавливаемых аппаратов и места прокладки жгутов проводов (труб).

4. Подобрать способы установки аппаратов и установочные конструкции в соответствии с намеченной композицией. Если аппараты можно установить на одной и той же установочной конструкции несколькими способами, предпочтение следует отдать наиболее простому (по металлоемкости, количеству узлов крепления, компактности).

5. Найти монтажные зоны аппаратов по таблицам соответствующих типовых чертежей на основе принятых способов установки [59, прилож. 11]. Монтажную зону аппарата, отсутствующую в сборнике, находят как сумму: габарит устанавливаемого аппарата плюс разность размеров монтажной зоны и габарита аппарата-аналога.

6. Проверить правильность намеченной компоновки по большому габариту фасадной панели или внутренней плоскости щита. Выбирают ближайший больший стандартный размер щита и производят окончательную компоновку приборов и аппаратуры в габаритах выбранного щита.

### 3.8.2.3. Проектирование мнемосхем

Мнемосхема (рис. 3.106) является графическим изображением технологического процесса (технологической линии). Она позволяет оператору быстро оценивать ход процесса. На мнемосхеме отражаются все основные контуры управления.

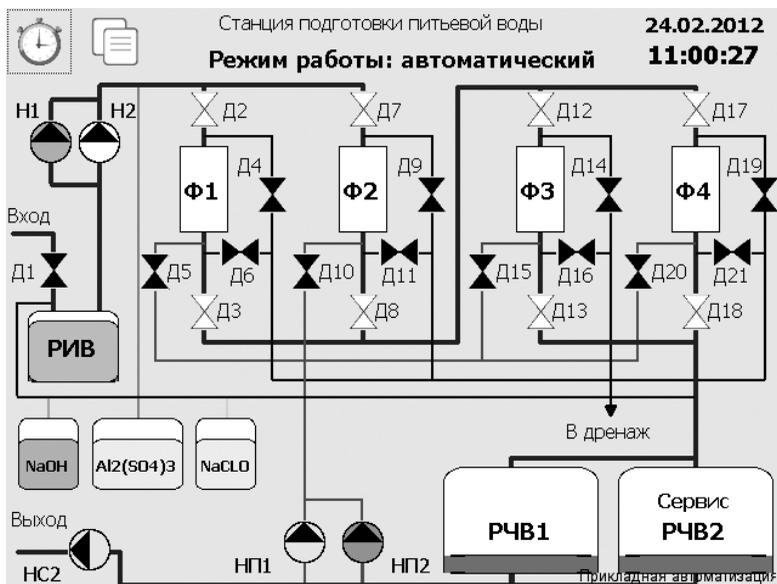


Рис. 3.106. Мнемосхема

Отдельные технологические машины, аппараты, трубопроводы, линии связи и другие устройства на мнемосхемах изображают символами. Контуры символов, как правило, должны быть подобными контурам соответствующих машин и аппаратов.

Направление основного технологического процесса на мнемосхеме принимается, как правило, слева направо.

Символы технологических машин и установок следует размещать на поле мнемосхемы таким образом, чтобы исключить или свести к минимуму число пересечений линий.

Линии технологических потоков между символами аппаратов надо проводить по кратчайшему пути и по возможности без пересечений. На линиях технологических потоков (как правило, около машин и аппаратов) показывают стрелки – направление потока. На линиях, которые не оканчиваются символами, в конце изображают стрелки и помещают необходимые поясняющие надписи.

При выборе размеров символов руководствуются: возможностью размещения схемы на отведенной площади; возможностью изображения в символе органов контроля, сигнализации и управления; условием чтения схемы оператором.

Минимально допустимые размеры символов с учетом расстояния от мнемосхемы до оператора определяют как:

$$S = 2l \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

где  $l$  – расстояние до символа по линии взора, м;

$\alpha$  – угол зрения, угловые минуты (оптимальный размер символа, обеспечивающий быстрое считывание, соответствует  $\alpha = 40'$ ).

Ширину полос линий технологических потоков, импульсных и командных линий приборов и регуляторов обычно принимают равной 4, 6, 8, 10 или 12 мм. Причем линии технологических потоков должны быть в два и больше раза шире импульсных и командных линий.

Окрашивают символы в цвета, совпадающие с фактической окраской технологического оборудования.

Задание на выполнение чертежа мнемосхемы является частью задания на чертеж общего вида щита управления и представляет собой выполненный на миллиметровой бумаге эскиз мнемосхемы в масштабе требуемого чертежа. Как правило, применяют масштаб 1:2.

Задание должно содержать:

- 1) габаритные размеры мнемосхемы и место размещения ее на щите или пульте;
- 2) координаты размещения основных символов мнемосхемы, изображенных в выбранном масштабе. Размеры символов могут в задании не указываться, приниматься по промеру на эскизе и уточняться конструкторами мнемосхемы;

3) цвета всех символов, линий технологических потоков, измерительных и командных линий приборов и регуляторов. При этом указывают типы, цвета и число встраиваемых в символы сигнальных ламп, кнопок и других изделий;

4) необходимые указания относительно размещения поясняющих надписей, стрелок направлений потоков и, если нужно, буквенные обозначения контролируемых и сигнализируемых параметров, например  $P$ ,  $t$  и т. п.

### **3.8.3. Основные требования к документации на щиты автоматики**

Документация, разрабатываемая на щиты и пульта, должна содержать специфические особенности проектируемой системы автоматизации. Состав, содержание и порядок оформления документации, разрабатываемой в проекте для изготовления щитов, определяются РМ4-107–82 «Щиты и пульта систем автоматизации технологических процессов. Требования к выполнению технической документации, предъявляемой заводу-изготовителю».

Чертеж общего вида единичного щита должен в общем случае содержать:

- перечень составных частей;
- вид спереди (фронтальная плоскость), фрагменты вида (при необходимости);
- вид на внутренние плоскости, фрагменты вида (при необходимости);
- технические требования;
- таблицу надписей на табло и в рамках.

Допускается выполнять другие изображения: виды, разрезы и т. д.

На чертежах общих видов единичные щиты изображают в масштабе 1:10. Масштаб на чертежах в этом случае не указывают. В обоснованных случаях (например, для узлов крепления, вырезов и т. д.) могут применяться другие масштабы по ГОСТ 2.302–68, которые проставляются над изображением узла по ГОСТ 2.316–68.

На чертежах общих видов щиты, приборы, средства автоматизации, аппараты, элементы их крепления и т. п. изображают упрощенно в виде внешних очертаний сплошными основными линиями по ГОСТ 2.303–68.

Шкафам, панелям, панелям с каркасом, корпусам пультов, вспомогательным элементам, поворотным рамам, а также приборам и сред-

ствам автоматизации, аппаратам, линиям и символам мнемосхем, вводам электрических и трубных проводов, монтажным изделиям, элементам крепления внутрищитовой аппаратуры, устанавливаемым на фасадах и внутри щитов, присваивают номера позиций в порядке записи их в перечень составных частей. Номера позиций наносят на полки линий-выносок по правилам ГОСТ 2.109–73.

При простановке позиций с целью сокращения числа выносок на чертежах, содержащих большое число однотипных аппаратов (сигнальной арматуры, кнопок управления или реле одного типа, отличающихся набором контактов и вводами), аппараты рекомендуется изображать условными знаками по правилам обозначения одинаковых отверстий по ГОСТ 2.307–68.

Рассмотрим требования к *изображению вида спереди*. Изображение вида спереди (рис. 3.107) в общем случае выполняют на листе формата А3 по ГОСТ 2.301–68. На фронтальной плоскости единичного щита показывают приборы и средства автоматизации, элементы мнемосхем, изделия для нанесения надписей о назначении того или иного прибора.

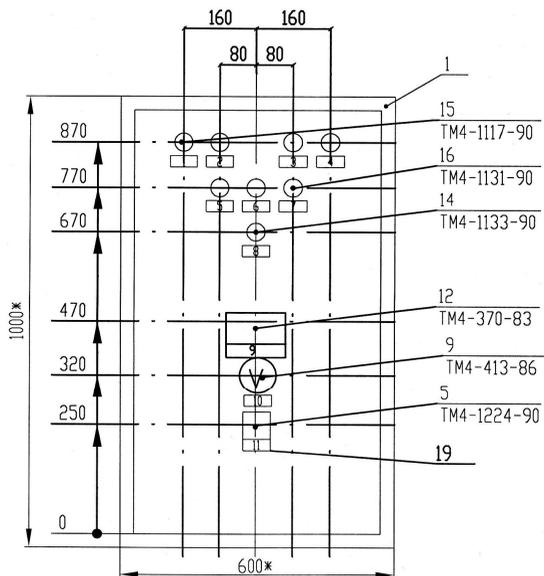


Рис. 3.107. Пример вида спереди малогабаритного щита, используемого для размещения аппаратуры управления системы управления раздачей корма мобильным кормораздатчиком

На фронтальной плоскости единичного щита проставляют габариты щита и размеры, координирующие установку всех приборов и средств автоматизации, монтируемых на ней. Размеры по вертикали проставляют от нижнего края фасадной панели щита, столешницы пульта или двери малогабаритного щита, принимаемого за базу. Размеры по горизонтали от вертикальной оси симметрии фасадной панели щита, столешницы пульта или двери малогабаритного щита.

Всем шкафам, стойкам, корпусам пультов, вспомогательным элементам, рамам, приборам и средствам автоматизации, аппаратуре и монтажным изделиям, устанавливаемым на фасадах и внутри щитов (составным частям щита), присваиваются номера позиций, начиная с цифры 1, в порядке записи их в перечень составных частей. Перечень элементов на чертеже общего вида щита нумеруется совместно с перечнем элементов на чертеже вида на внутренние плоскости. Под полкой линии-выноски, на которой проставлен номер позиции, указывают обозначение установочного чертежа. В качестве установочных чертежей должны применяться типовые монтажные чертежи. При отсутствии для какого-либо прибора типового монтажного чертежа в проекте должен быть разработан чертеж установки этого прибора.

На фронтальной плоскости единичного щита показывают также изображение табло и рамок. Каждой рамке присваивают номер, начиная с единицы, и указывают его внутри контура рамки. Номера присваивают, как правило, слева направо и сверху вниз, сначала надписям на табло, а затем – в рамках.

При вводе проводок в щиты шкафные и шкафные малогабаритные сверху на поле чертежа размещают вид на крышку щита, на котором координируют и указывают вводы для электрических и трубных проводок в соответствии со сборником 72 «Вводы в щиты и пульты по ОСТ 36.13–90».

Требования к *изображению вида на внутренние плоскости щита*. Вид на внутренние плоскости (рис. 3.108) щита изображают на листе не более формата А3 по ГОСТ 2.301–68. Над изображением щита помещают заголовок «Вид на внутренние плоскости (развернуто)».

Для щитов и статов на чертеже вида изображают условно развернутыми в плоскости чертежа боковые стенки, поворотные рамы, крышки, находящиеся в разных плоскостях.

Вид на внутренние плоскости (развернуто)

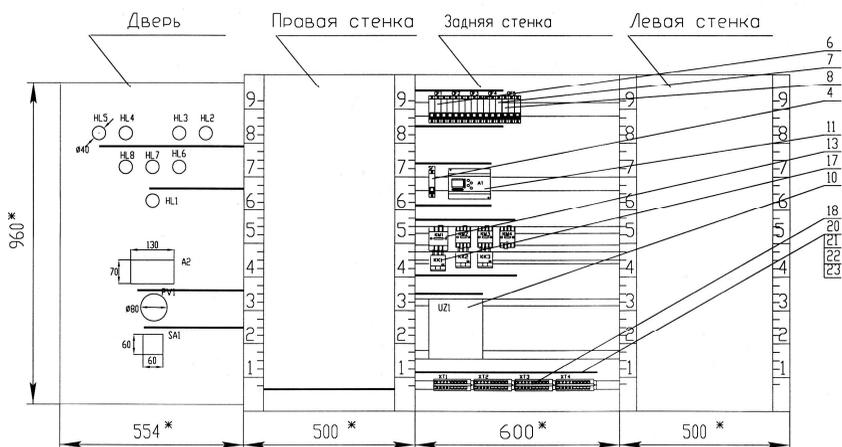


Рис. 3.108. Оформление вида на внутренние плоскости щита автоматики

Для пультов вид на внутренние плоскости дается по стрелкам.

На внутренних плоскостях щитов (передних и боковых стенках), поворотных рамах, дверях малогабаритных щитов показывают:

1) установленные на них приборы, электроаппаратуру и пневмоаппаратуру. Расположение электроаппаратуры, как правило, систематизировано в зависимости от последовательности буквенно-цифровых позиционных обозначений;

2) изделия для монтажа электропроводок: блоки зажимов, рейки с наборными зажимами, колодки маркировочные, упоры и т. п.;

3) изделия для монтажа, трубных проводок; трубопроводная арматура (краны, вентили), сборки переборочных соединителей. Под последними понимаются переборочные соединители, устанавливаемые в крышке щита шкафного или шкафного малогабаритного, а также на угольниках;

4) элементы для крепления внутрищитовой аппаратуры (рейки, скобы, угольники и т. п. элементы, которые крепятся непосредственно к стойкам щита), выбираемые по сборникам типовых чертежей. Промежуточные детали для крепления аппаратуры к рейкам и угольникам не изображают;

5) дециметровые шкалы стоек щитов, которые наносятся на стойки условно и служат для координации установленной внутри щитов аппаратуры по вертикали;

б) жгуты электрических и трубных проводок, кроме вертикальных жгутов, прокладываемых в стойках щитов шкафов, панельных с каркасом и стативов по РМЗ-82–90.

При размещении внутри щитов аппаратуры необходимо учитывать ее взаимное расположение на различных плоскостях и поворотных конструкциях относительно друг друга и приборов, установленных на фасаде.

При установке внутри щитов изделий, требующих увеличенного изображения (диодов; зажимов наборных ЗН-П; ЗК-2,5; ЗК-7,5; перемычек П; катушек подгоночных; витков питания и т. п.), следует выполнять выносные фрагменты на поле чертежа вида на внутреннюю плоскости или на последующих листах.

Аппаратуру координируют по горизонтали от краев стоек и между собой.

Для приборов и аппаратуры, а также для труб, устанавливаемых внутри щита, проставляются позиции по перечню составных частей. Допускается не изображать соединители для подключения трубных проводок к приборам и запорной арматуре. Позиции для них проставляются под позициями арматуры.

Для всех приборов, аппаратов, блоков зажимов внутри изображения, над ним или справа от него указывают:

- для приборов – позиции по заказной спецификации;
- для электро- и пневмоаппаратуры – позиционные обозначения по принципиальным электрическим, пневматическим схемам, элементами которых они являются.

К буквенным обозначениям должны добавляться порядковые номера, начиная с единицы в пределах каждой группы изделий, обозначаемых одинаковыми буквами.

Технические требования выполняют согласно СТБ 2255–2012 и помещают над основной надписью, обычно на листе с изображением вида спереди.

Если чертеж общего вида не содержит листа с изображением вида спереди (например, релейный щит или щит зажимов), то технические требования помещают над основной надписью на листе с изображением вида на внутренние плоскости.

Технические требования в общем случае должны содержать следующий текст:

1. Размеры для справок.
2. Покрытие – вариант ... ОСТ 36.13–90.

При необходимости могут приводиться и другие конкретные требования, например: «Надпись на щите выполнить шрифтом ПО-4С и окрасить в черный цвет».

Требования к **таблице надписей**. Таблицу надписей (рис. 3.109), наносимых на изделия для надписей (табло, рамки, упоры), выполняют на отдельных листах формата А4 по ГОСТ 2.301–68, по формам 1 и 1а руководящего материала РМ4-107–82. Форма 1а таблицы надписей применяется для последующих листов таблицы. Она отличается от формы 1 только тем, что не имеет надписи назначения (например, «Надписи на табло и в рамках»). Вместо этой надписи над обеими частями таблицы указывается «Продолжение».

Надписи на табло и в рамках					
№ надписи	Текст надписи	Кол.	№ надписи	Текст надписи	Кол.
	<u>Рамка РПМ 66×26</u>				
1	Заслонка открыта	1	4	Управление заслонкой	1
2	Заслонка закрыта	1	5	Открыть	1
3	Режим работы	1	6	Закрыть	1
	I - ручн. II - автом.	1			

Рис. 3.109. Пример оформления надписей на табло и в рамках

Каждой надписи на чертеже присваивают номер, начиная с единицы, указывая его внутри контура изделия для надписей. Надписям присваивают номера слева направо и сверху вниз (сначала надписям на табло, а затем – в рамках).

В таблицу включают сначала надписи на табло, а затем надписи в рамках, упорах и т. п. в порядке возрастания номеров.

При заполнении таблицы надписей в графе «Текст надписи» в виде заголовка указывают наименование и тип изделия для нанесения надписи и подчеркивают. Затем в этой же графе против соответствующих номеров надписей записывают относящийся к ней текст. Надписям, имеющим одинаковый текст, присваивают одинаковые номера. При этом в графе «Кол.» указывают общее количество одинаковых надписей. Текст надписей должен быть кратким. При его составлении следует учитывать размеры свободных полей табло и рамок и размеры применяемых шрифтов.

Требования к *перечню составных частей щита*. Перечень составных частей щита выполняют на отдельных листах формата А4 в таблицах по формам 2 (первый лист) и 2а (последующие листы) руководящего материала РМ4-107–82. Все составные части щита вносят в перечень по разделам. Наименование разделов, порядок записи в них составных частей и заполнение граф перечня выполняют по ГОСТ 2.701–2008.

Перечень единичного щита (рис. 3.110), как правило, содержит разделы «Документация», «Детали», «Стандартные изделия», «Прочие изделия», «Материалы».

В раздел «Документация» включают таблицы соединений и подключения.

В раздел «Детали» включают нетиповые детали для установки приборов и аппаратуры внутри щитов (угольники, скобы, рейки), символы мнемосхем.

В раздел «Стандартные изделия» вносят щитовые конструкции, другие стандартные изделия (угольники, скобы, рейки). В раздел не включают стандартные приборы и аппараты. Наименование щитовых конструкций принимают по РМ3-82–90, а других стандартных изделий – по сборнику 44 типовых конструкций.

В раздел «Прочие изделия» включают все приборы, аппараты (в том числе стандартные) и монтажные изделия группами в следующей последовательности:

1. Приборы и средства автоматизации в порядке их расположения на чертеже слева направо, сверху вниз сначала по виду спереди, затем по виду с внутренней стороны.

2. Электроаппаратура по функциональным признакам:

– пусковая и защитная аппаратура (кнопки, переключатели, выключатели, пускатели, рубильники, предохранители, щитки электропитания);

– сигнальная аппаратура (арматура сигнальных ламп, табло, звонки, сирены);

– преобразователи и источники электропитания (трансформаторы, стабилизаторы, выпрямители, прерыватели);

– реле;

– резисторы, конденсаторы, диоды.

3. Трубопроводная арматура (вентили, краны, блоки вентилей запорных).

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		<u>Документация</u>			
	02.49.020.15-АТХ	Таблица соединений	1		
	02.49.020.15-АТХ	Таблица подключений	1		
		<u>Стандартные изделия</u>			
1		Щит ЩШМ-ЗД-1-1000х600х500	1		
2		DIN-рейка	1,8	м	
3		Угольник УР15 ТКЗ-246-90	2		
		УХЛЗ.1 ОСТ 36.13-90			
		<u>Прочие изделия</u>			
4	SF1	Выключатель АЕ20ЗМ-20Н-20УЗ-А 660 В, 50 Гц, 16 А, 12Гн ТУ16-522.148-80	1		
5	SA1	Кнопка поворотная НЕГ30-Рсс.1-0-II (stable/stable/stable), красная, XY, XY	1		
6	QF1	Выключатель ВА 47-29-ЗР-В, 400 В, 50 Гц, 40 А ТУ-2000 АГЭС.641.235.003	1		
7	QF2...QF4	ВА 47-29-ЗР-В, 400 В, 50 Гц, 2 А	3		
<b>02.49.020.15-АТХ</b>					
<i>Проектирование САУ насосной станции водоснабжения поселка с разработкой программы автоматического заполнения граф. перечня элементов щита автоматики.</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>МЗак.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Куноц</i>	<i>Е.А.</i>			
<i>Руковод.</i>	<i>Яковская</i>	<i>Е.С.</i>			
<i>Консульт.</i>	<i>Яковская</i>	<i>Е.С.</i>			
<i>Зав.коф.</i>	<i>Гирьцкий</i>				
<b>Насосная станция</b>			<i>Стация</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
			С	6	5
<b>Щит автоматики.</b> <i>Общий вид</i>			<b>БГАТУ</b> 114050		
<i>Формат А4</i>					

Рис. 3.110. Пример выполнения перечня

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
8	QF5	ВА 47-29-3Р-В, 400 В, 50 Гц, 16 А	1	
9	PV1	Вольтметр М42301, непосредственный способ включения, 0...10 В	1	
10	UZ1	Преобразователь частоты Hitachi SJ100-075HFE	1	
11	A1	Базовый модуль FX2N-32 MR-ES/UL 141274	1	
12	A2	Панель оператора GDT1000	1	
13	KM1...KM4	Пускатель магнитный ПМА-1160М Б, 220 В, 50 Гц ТУ-У-3.11-05814256-097-97	4	
14	HL1	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-220, зеленая ЕНСК.433137.014 ту	1	
15	HL2...HL5	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-24, зеленая ЕНСК.433137.014 ту	4	
16	HL6...HL8	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-24, красная ЕНСК.433137.014 ту	3	
17	KK1...KK3	Реле электротепловое таковое РТЛ-1006 04, In=0,95-16 А ТУ-16-523549-82	3	
18	XT1...XT4	Блок зажимов БЗ24-П16-В/ВУЗ-10	4	
19		Рамка 66x26	11	
<u>Материалы</u>				
20		Провод ПВЗ, 1, красный, ГОСТ 6323-79	23,4	м
21		Провод ПВЗ, 1, черный, ГОСТ 6323-79	17,2	м
22		Провод ПВЗ, 2,5, красный, ГОСТ 6323-79	14,4	м
23		Провод ПВЗ, 16, черный, ГОСТ 6323-79	11,2	м
				Лист
02.49.020.15-АТХ				7
Изм.	Количество	Лист	Мож	Подпись
				Дата
Формат А4				

ЭЛЕМЕНТОВ ЩИТА АВТОМАТИКИ

#### 4. Монтажные изделия:

- для электромонтажа (блоки зажимов, зажимы наборные, колодки маркировочные, упоры, перемычки);
- для монтажа трубных проводок (соединители переходные, переборочные, тройниковые и т. п.);
- для нанесения надписей.

В раздел «Материалы» включают электрические провода, указанные в таблице соединений, и трубы.

В перечень составных частей не вносят элементы для оконцевания и маркировки проводок (оконцеватели, манжетки, бирки маркировочные и т. п.) и вспомогательные материалы (полоски, пряжки, припой, клей и т. п.). Они выбираются заводом-изготовителем при выполнении монтажа проводок согласно инструкциям по монтажу электрических и трубных проводок.

При заполнении графы «Наименование» соблюдают правила:

1. Для изделий технические условия не указывают.
2. Для приборов и средств автоматизации, кроме поставляемых заводом-изготовителем комплектно со щитами, наименования записывают упрощенно, без указания технической характеристики (градуировок, пределов измерений и т. п.). Обязательно указывают тип и модификацию прибора.

3. Для приборов и аппаратуры, поставляемых заводом-изготовителем комплектно со щитами, в графе приводят все исчерпывающие характеристики, необходимые заводу для их выбора. Например, для манометров типа МТ указывают пределы показаний; для реле промежуточных – каталожные номера или номера паспортов, напряжение; для реле времени – напряжение питания, диапазоны выдержек времени и др.; для кнопок – цвета надписи на толкателях и т. д.

В графе «Обозначение» для приборов, электроаппаратов и трубопроводной арматуры проставляют присвоенные позиционные обозначения.

В графе «Примечание» указывают:

1. Обозначение условного номера по сборнику 40 и установочного чертежа для всех приборов, электроаппаратуры и трубопроводной арматуры, устанавливаемых внутри щитов.

2. Цвет окраски символов технологического оборудования мнемосхем.

Нумерация позиций составных частей щита должна быть сквозной в пределах всего перечня.

На первом листе перечня составных частей щита (являющегося первым листом чертежа общего вида) в графе 4 основной надписи записывают наименование чертежа, которое выполняют по следующим правилам: в наименование чертежа включают условный номер единичного щита, присвоенный по чертежу общего вида (например, «Щит1») и наименование документа «Общий вид».

### ***3.8.4. Принципы автоматизированного проектирования документации на щиты автоматики и пульты***

Для разработки документации на щиты автоматики можно использовать САПР CADElectro. В данной САПР на базе данных, полученных из принципиальной схемы, формируется изображение аппаратов на чертеже общего вида. Кроме этого реализованы операции оформления документа, формирования спецификации, на базе которой может быть реализовано создание перечня элементов щита. Но данный модуль не обеспечивает автоматическую компоновку аппаратов внутри конструктива, оставляя эту операцию проектировщику. Еще одним недостатком можно считать то, что оформление чертежа реализовано только в системе ЕСКД.

Однако наиболее успешно можно использовать для проектирования графический редактор AutoCAD при наличии пользовательской программы, автоматизирующей компоновку. Остановимся более подробно на пользовательской программе Fasad for AutoCAD. Программа автоматически формирует чертеж вида спереди щита автоматики при минимальной вводимой информации о количестве и типе аппаратуры, устанавливаемой на двери щита ЩЩМ. При этом обеспечивается:

- компоновка аппаратов по заданным программно минимальным расстояниям между ними;
- простановка координирующих размеров;
- простановка позиций и обозначения типового чертежа установки для аппаратов;
- значительная экономия времени на формирование чертежа общего вида щита автоматики.

Алгоритм программы может быть представлен блок-схемой (рис. 3.111).

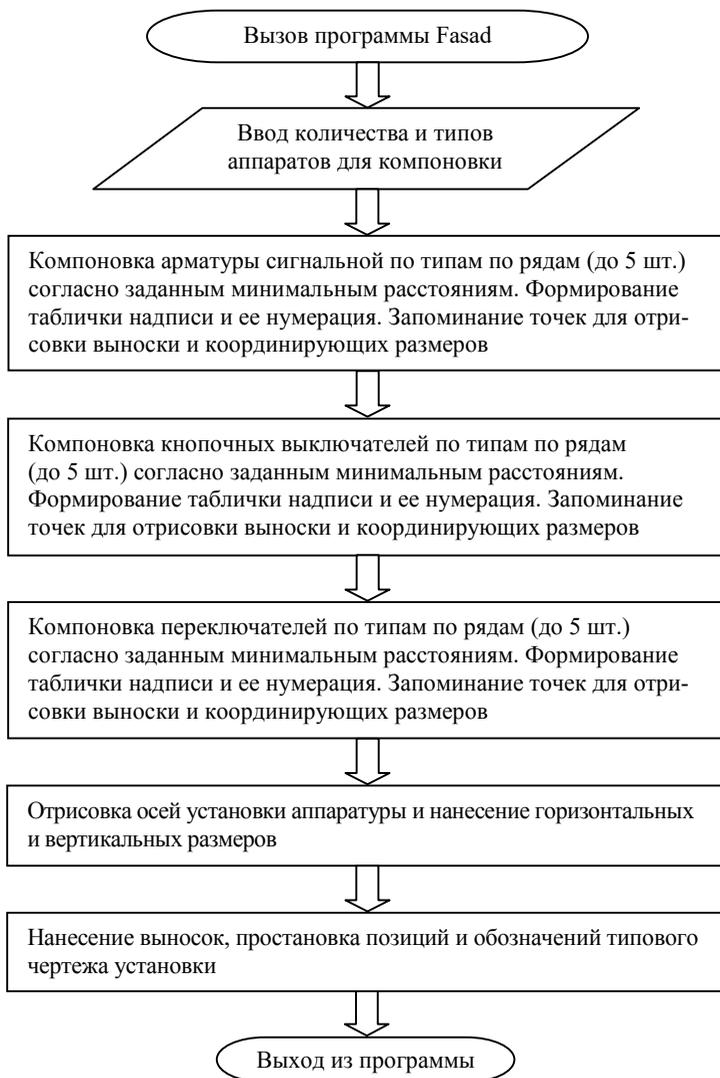


Рис. 3.111. Алгоритм программы компоновки аппаратуры на двери щита

При написании программы не обошлось без ограничений:

- в качестве аппаратуры для компоновки на фасаде щита приняты арматура сигнальная (4 типа), выключатель кнопочный (2 типа), переключатель (2 типа);

- аппаратура компоуется согласно минимальным расстояниям между аппаратами и от края двери до аппарата, заданным РТМ 25.91–90;

- обозначение типового чертежа установки берется по данным РТМ 25-91–90;

- при превышении суммарной площади зоны аппаратов монтажной зоны двери конструктива выдается соответствующее сообщение и производится выход из программы;

- формирование листа документации и изображение конструктива осуществляются отдельно соответствующими пунктами меню БАЗА;

- в качестве конструктива принят щит шкафной малогабаритный.

Рассмотрим порядок работы с программой.

1. Загрузить AutoCAD с помощью кнопки «Пуск» (Программы\AutoCAD) или ярлыка на рабочем столе.

2. В диалоговом окне начала работы Startup выбрать третью слева кнопку Use a Template для загрузки шаблона Zag\_chit с приемлемыми настройками режимов рисования. Если в списке шаблонов не окажется требуемого, необходимо с помощью кнопки Browse указать место расположения файла шаблона, например: C:\mi\ Template\Zag\_chit.

3. Сформировать вид спереди можно с помощью падающего меню БАЗА\ЩИТСА. Назначение пунктов меню дано в табл. 3.19. Сначала следует вставить лист формата А4: меню БАЗА\ЩИТСА\Общие\А4\_л2 (первый лист соответствует перечню элементов щита). При этом требуется ответ на запрос «Укажите точку вставки листа:». Можно использовать ввод с клавиатуры, например «0,0». Далее идет запрос шифра документа «Шифр <03.49.000.05 – АТХ>:» и номера листа «Лист <2>:». На них можно ответить «пустым» вводом либо изменить значения по умолчанию на требуемые.

Таблица 3.19

Назначение пунктов меню ЩИТСА

Подменю	Пункт	Назначение
Общие	А4_л1	Вставляет лист формата А4: соответственно первый (большая основная надпись) и второй (основная надпись для листов продолжения). Запрашивается точка вставки («Укажите точку
	А4_л2	

Подменю	Пункт	Назначение
		вставки листа:»)), в ответ на что можно указать точку мышкой или ввести координаты с клавиатуры (например, «0,0»), и значения атрибутов (например, для второго листа выдаются запросы «Шифр <03.49.000.05 – АТХ>:» и «Лист <2>:»)
	Перечень_л1	Вставляет форму перечня элементов соответственно первого и последующего листов. Запросы при вставке аналогичны первым пунктам
	Перечень_л2	
	Надписи_л1	Вставляет форму листов с таблицей надписи соответственно первого и последующих листов. Запросы при вставке аналогичны первым пунктам
	Надписи_л2	
Аппаратура	Фасад: ЩШМ 1000×600; примечание; арматура; переключатель; выключатель; обозначение надписи	Вставляют блоки изображения фасада щита, аппаратуры, устанавливаемой на фасаде, и прямоугольника с цифровым обозначением надписи
	Внутри	Вызывает графическое меню блоков аппаратов, устанавливаемых внутри щита
	Перечень	Вызывает графическое меню блоков, необходимых при формировании перечня
	Надписи	Вызывает графическое меню блоков, необходимых при формировании таблицы надписей
Программы	Fasad	Вызывает программу компоновки аппаратуры на двери малогабаритного щита

4. Сформировать изображение фасада щита, используя то же меню БАЗА\ЩИТСА\Аппаратура\Фасад и, например, пункт ЩШМ1000×600. Появится изображение вида спереди.

5. Скомпоновать аппаратуру на фасаде щита, используя то же меню БАЗА\ЩИТСА\Программы\Фасад. Перед вызовом программы следует проверить, отключена ли объектная привязка (отжата кнопка OSNAP). После вызова программы последовательно поступают запросы о количестве соответствующих типов устанавливаемой аппаратуры. После этого формируется изображение вида спереди.

6. Добавить примечание, используя меню БАЗА\ЩИТСА\Аппаратура\Фасад\Примечание. После этого требуется ввести точку вставки текста и значение атрибута.

Аналогично реализуется компоновка внутри щита автоматики при наличии некоторых ограничений.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Какова классификация конструктивных устройств?
2. Каково назначение НКУ, щита автоматики?
3. Какова маска условной записи модификации щита автоматики?
4. Какова конструкция полногабаритного (малогабаритного) щита автоматики?
5. Перечислите исходные материалы для размещения аппаратуры в щите автоматики.
6. Каков порядок выбора щита автоматики и размещения в нем аппаратуры?
7. Перечислите принципы компоновки аппаратуры на двери (внутри) щита автоматики.
8. В каком случае выполняют мнемосхемы?
9. Каковы требования к оформлению мнемосхем?
10. Каково содержание задания на проектирование мнемосхемы?
11. Каков состав проектной документации на щит автоматики?
12. Каковы требования к оформлению изображения вида спереди щита автоматики; вида на внутренние плоскости; перечня элементов щита; таблицы надписей на табло и в рамках?
13. Какие пакеты САПР применимы для разработки документации на щиты автоматики? Каковы достоинства и недостатки таких пакетов?
14. Каковы принципы автоматизации компоновки аппаратуры в щите автоматики? Приведите пример программы, позволяющей скомпоновать аппаратуру на двери щита автоматики.

### 3.9. Проектирование низковольтных комплектных устройств (НКУ)

#### 3.9.1. Конструкция НКУ

Щиты НКУ изготавливают реечной или аналогичной ей конструкции на металлических перфоплитах. Основой реечного конструктива является металлическая С-рейка, в пазу которой свободно перемещается закладная гайка в виде скобы. Сами рейки крепятся к перфорированным вертикальным стойкам с шагом перфорации 50 мм (рис. 3.112). Аппараты крепятся к паре реек горизонтальными рядами. В тех случаях, когда установочные размеры не кратны 50 мм, их предварительно крепят на переходную пластину.

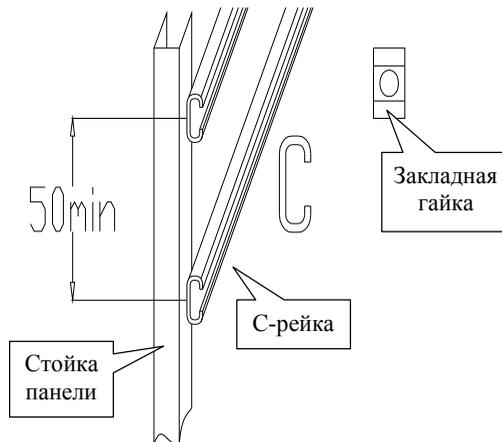


Рис. 3.112. Конструкция НКУ

#### 3.9.2. Принципы компоновки НКУ

Аппаратура устанавливается в НКУ согласно рекомендуемому уровню установки аппаратов в пределах монтажной зоны двери и монтажной зоны встраиваемых панелей (рис. 3.113). На двери – согласно минимальным расстояниям между аппаратами и от аппарата до края НКУ [51, прилож. 7], на панели – согласно монтажным зонам и способам установки.

Возможны 3 способа крепления аппарата на панели: на одной рейке, на двух рейках и на рейках посредством переходной пластины.

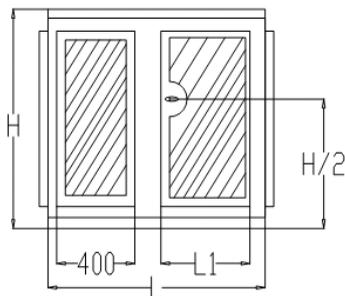


Рис. 3.113. Монтажная зона НКУ

Аппарат считается полностью помещившимся в НКУ, если в пределах полезной площади панели разместился не только сам аппарат, но и его зона (имеется место для его обслуживания). Размер зоны определяется габаритными размерами аппарата, а также дополнительными расстояниями сверху, снизу, слева и справа от аппарата, необходимыми для подсоединения к аппарату проводников, размещения маркировки на их концах, размещения горизонтальных пучков проводов на панели, а также для обслуживания аппаратов при эксплуатации. Зоны аппаратов приведены в практикуме [51, прилож. 7].

Полезная площадь панели (рис. 3.114) в общем случае определяется следующими размерами: нижний уровень – 200 мм, минимальное расстояние от левого и правого края НКУ до зон ближайших аппаратов – 50 мм при отсутствии вертикального ряда зажимов и 100 мм при его наличии.

Ящики применяются для установки аппаратов внутри них, а также в качестве пультов, то есть с аппаратурой ручного управления и сигнальной аппаратурой на двери. В ящики могут встраиваться малогабаритные блоки Б5030. Аппараты звуковой сигнализации, а также разъемы могут устанавливаться на боковой стенке ящика (рекомендуется использовать левую стенку). Полезная зона в ящике определяется его типоразмером [51, прилож. 7]. Минимальное расстояние от днища ящика до нижнего ряда зажимов равно 100 мм. Минимальная зона одного ряда зажимов равна 100 мм.

Особенностью шкафов НКУ является то, что блоки зажимов могут иметь только одно фиксированное размещение на панели (рис. 3.114). Позиционное обозначение блоков зажимов постоянно для каждого конкретного места и должно быть неизменным во всей технической документации на данную панель.

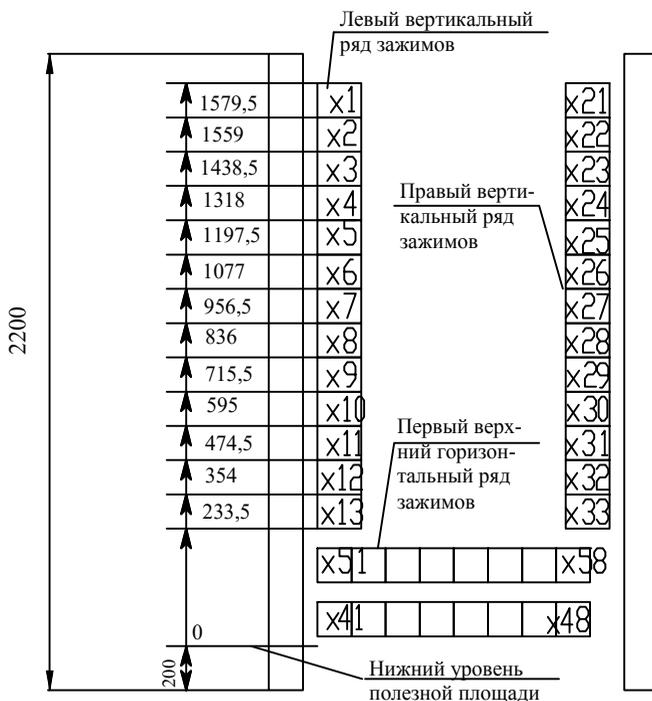


Рис. 3.114. Размещение рядов зажимов на панели

Порядок проектирования НКУ следующий:

1. Согласно принципиальной электрической схеме определить перечень аппаратуры, устанавливаемой вне конструктива (электродвигатели, конечные выключатели, датчики уровня и т. п.) и внутри конструктива, а также на двери НКУ (кнопки, переключатели, аппаратура световой сигнализации) и внутри на панели НКУ ( типовые блоки, автоматические выключатели, магнитные пускатели, реле, зажимы).

2. Определить исходные данные, указанные выше, для компоновки аппаратов на панели и двери.

3. Набросать эскиз компоновки и определить размер конструктива по большому габариту панели либо двери.

4. После выбора конструктива провести окончательную компоновку и оформить документацию на НКУ.

### 3.9.3. Основные требования к документации на НКУ

В общем случае на НКУ должна быть оформлена следующая документация: чертеж общего вида, схема электрическая соединений или схема электрическая принципиальная, таблица технических данных аппаратов и перечень надписей.

Чертеж общего вида в общем случае содержит вид спереди, вид сверху, при необходимости вид сбоку, на отдельных листах приводится общий вид панелей.

Вид спереди (рис. 3.115) обычно оформляют в масштабе 1:20. Здесь должны быть показаны:

- контур щита, панелей (панели) с установленной аппаратурой;
- дверь с установленной аппаратурой, расположение аппаратов, мнемознаков и линий, соединяющих их;
- установочные размеры аппаратов (что должно быть взято за базу, показано на рис. 3.115, 3.116), высота щита, длина щита и секций, ширина каждой панели;
- таблички для оперативных надписей и другие таблички;
- для типовых панелей, шкафов или ящиков – их тип в контуре изображения;
- для нетиповых – обозначение чертежа общего вида панели;
- номер панели;
- обозначение НКУ.

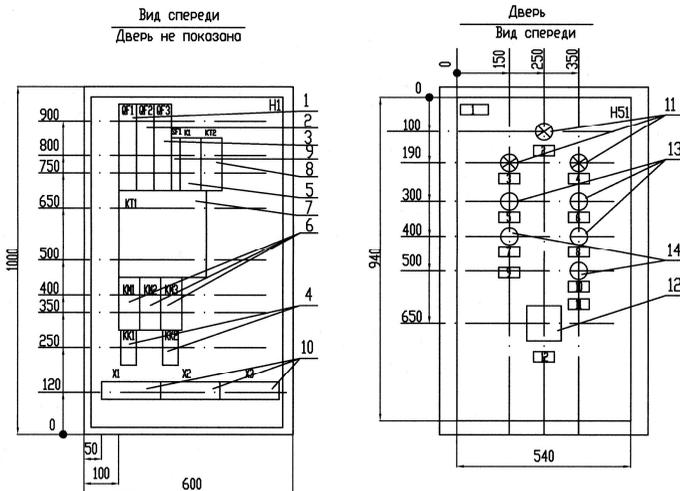


Рис. 3.115. Пример общего вида ящика

Вид сверху (рис. 3.116) обычно выполняют в масштабе 1:10. Он должен содержать контур щита, взаимное расположение панелей щита, глубину щита, сборные шины с указанием фазировки, тока, напряжения и тока короткого замыкания.

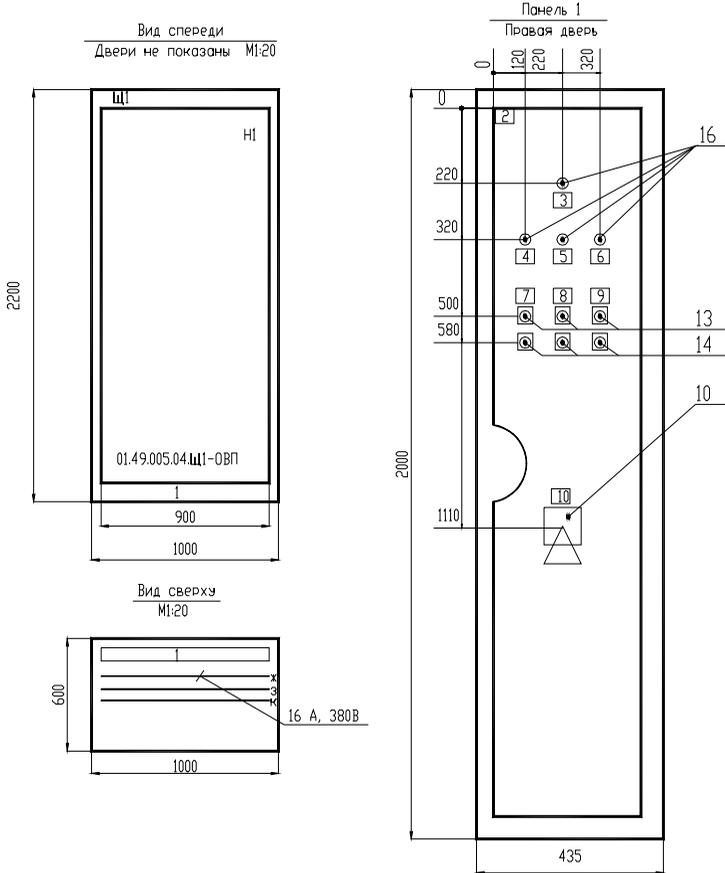


Рис. 3.116. Пример общего вида щита

Вид сбоку должен содержать поворотную и стационарную панели в контуре щита, размеры по глубине их размещения, для укороченной поворотной панели – высоту ее установки.

Общий вид панели (рис. 3.117) выполняют в масштабе 1:10. Он должен содержать:

- контур панели;

- блоки и отдельные аппараты по размерам зон с указанием номера привода (для типовых блоков) или позиционных обозначений и при необходимости табличек с оперативными надписями (для аппаратов);
- позиции;
- габаритные размеры панели;
- установочные размеры.

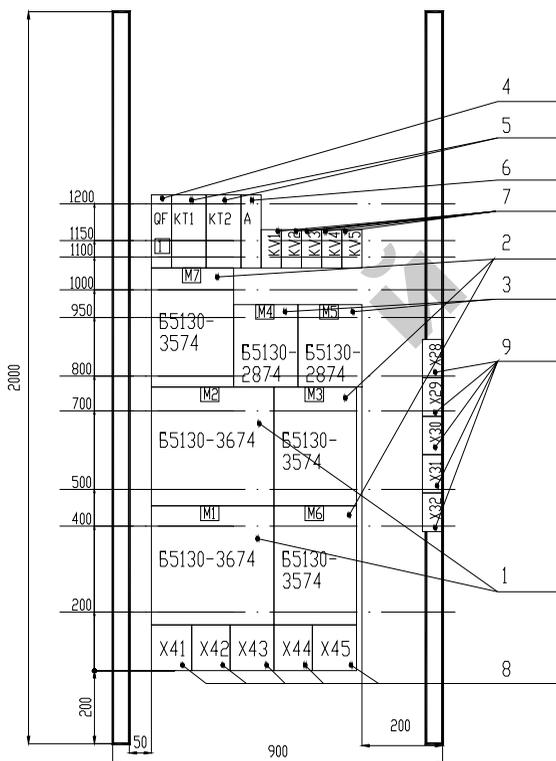


Рис. 3.117. Пример выполнения общего вида панели

Таблицу данных аппаратов (рис. 3.118) заполняют по разделам. В разделе «Документация» перечисляют документы. В раздел «Сборочные единицы» заносят электрооборудование в последовательности: типовые панели данного НКУ; нетиповые панели, для которых перечисляют сначала типовые блоки, а далее, после слова «Набор», – аппаратный состав данной панели в определенной последовательности.

7		6		7		70		65		10	
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.					
							<u>Документация</u>				
A3			02.49.005.12-35	Чертеж общего вида	1						
A3			02.49.005.12-33	Схема принципиальная	1						
A4			02.49.005.12-35	Перечень подписей	1						
							<u>Сборочные единицы</u>				
		1		Панель 1							
				Н1	1						
		1		Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20УЗ-А 380 В, 50 Гц, 16 А							
				121н ТУ 16-522.148-80	1	QF1					
		2		Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20УЗ-А 380 В, 50 Гц, 5 А							
				121н ТУ 16-522.148-80	1	QF2					
		3		Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20УЗ-А 380 В, 50 Гц, 8 А							
				121н ТУ16-522.148-80	1	QF3					
		4		Реле электропелловое токовое РТЛ-101004, I <sub>н</sub> =3,8-6,0 А							
				ТУ 16-523.549-82	2	КМ1...КМ3					
02.49.005.15-35											
Изм.	Кол.	Лист	Изд.	Подпись	Дата				Стадия	Лист	Листов
Разраб.									С	1	2
Руковод.						Щит управления - ЩП Общий вид			БГАТУ N 1530015		
Консульт.											
Зав. каф.											

Формат А4

Рис. 3.118. Фрагмент таблицы



Последовательность перечисления следующая: автоматические выключатели, контакторы, магнитные пускатели, реле, рубильники, переключатели, предохранители, командоаппараты, измерительные приборы, шунты, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, светосигнальные аппараты, выпрямителя, резисторы, конденсаторы, прочие аппараты, блоки зажимов, зажимы. Одинаковые аппараты указываются в наборе один раз. Аппараты одного типа, но с разными техническими характеристиками считаются разными.

10		10		30		24		60		8		8	
№	В.	Панель	Надпись	Поз. обозначение	Место надписи	Текст		Кол.	Вид цвета	Заголовок			
1		1			Табличка	Управление линией кормораздачи		1					
2					Табличка	Авария: корм отсутствует		1					
3					Табличка	Ограничитель вверх		1					
4					Табличка	Ограничитель вниз		1					
5					Табличка	Пуск		1					
6					Табличка	Пуск вверх		1					
7					Табличка	Стоп		1					
8					Табличка	Транспортер		1					
9					Табличка	Пуск вниз		1					
10					Табличка	Стоп		1					
11					Табличка	Ограничитель		1					
12					Табличка	Режим работы: А D P		1					
					На аппарате	QF1		1					
					На аппарате	QF2		1					
					На аппарате	QF3		1					
					На аппарате	SF1		1					
					На аппарате	K1		1					
					На аппарате	KT2		1					
					На аппарате	KT1		1					
					На аппарате	KM1		1					
					На аппарате	KM2		1					
					На аппарате	KM3		1					
02.49.005.15-35													
Изм. Кол-во. Инст. Изм. Подпись Дата													
Разработ.													
Руковод.													
Консульт.													
Зав.каб.													
								Страниц	Инст	Листов			
								С		1			
								БГАТУ N 1530015					
Формат А4													

Рис. 3.119. Перечень надписей НКУ

Графы «Формат» и «Обозначение» заполняют только для документации. В графе «Зона» указывают порядковые номера панелей, на которых установлено специфическое изделие. В графе «Поз.» проставляется номер позиции. Документам, нетиповым панелям и наборам позиции не присваивают. Номера позиций аппаратов и приборов, входящих в наборы, являются продолжением номеров позиций типовых панелей, а также типовых блоков этой же панели.

Аппаратам и приборам, входящим в типовые блоки, но требующим конкретизации данных по заказу, номер позиции не присваивается. В графе «Наименование» для типовых блоков, панелей, шкафов и ящиков указывают их наименование, тип и все данные по заказу. Одинаковые наименования допускается многократно не повторять. Для нетиповых панелей, шкафов и ящиков в отдельной строке записывается номер набора, количество одинаковых наборов – в конце данной строки, и в этой же графе раскрывается аппаратурный состав данного набора.

Перечень надписей (рис. 3.119) заполняется согласно нумерации надписей.

В открытых щитах первыми нумеруют надписи номеров и наименований механизмов при обзоре слева направо, далее – таблички с оперативными надписями попанельно сверху вниз и слева направо. В защищенных щитах – таблички панельной части щита, таблички номеров и наименований механизмов, таблички на дверях.

### ***3.9.4. Особенности разработки документации на НКУ в САПР***

Разработать документацию на НКУ позволяет САПР CADElectro. Принципы создания документации на НКУ изложены в п. 3.7.3. Скомпоновав аппаратуру в НКУ, остается дооформить чертеж в AutoCAD. Для этого нужно запустить CADElectro Energy, открыть проект и в нем – схему расположения (внутренний монтаж), а затем преобразовать текущий лист в формат DXF, используя команду **Проект\Экспорт**.

В AutoCAD используем шаблон Щит\_НКУ. Открыв переданный файл чертежа расположения (расширение \*.dxf) в AutoCAD, необходимо скопировать вид панели и двери в сохраненный рисунок на базе шаблона. Откорректируем масштаб отображения (обычно 1:5 или 1:10)

и компоновку аппаратов. При этом необходимо иметь в виду, что если размеры аппаратов соответствуют размерам монтажной зоны, то их изображения можно ставить рядом друг с другом (рис. 3.115).

Чтобы нанести на чертеж условные линии реек крепления, нужно переключить тип линии на штрихпунктирный, используя инструмент переключения типов линии панели свойств (рис. 3.120). Если в списке нет нужного типа линии, следует воспользоваться строкой списка *Other* для вызова диалогового окна Linetype Manager. В диалоговом окне нужно нажать на кнопку Load для загрузки необходимого типа линии, выделить его в списке и использовать кнопку Current для установки его в качестве текущего. В дальнейшем достаточно выбрать нужный тип через панель свойств.

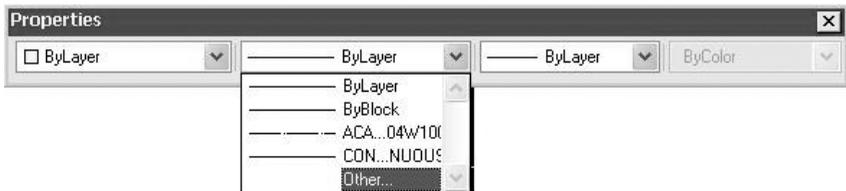


Рис. 3.120. Панель свойств примитивов

Затем следует нанести необходимые координирующие и габаритные размеры. Габаритные размеры формируются с помощью команды **Dimlinear**, вызываемой через меню Dimension\Linear (Размеры\Линейный). При этом указываются две точки габарита и местоположение размерной линии. Далее, в соответствии с выбранным масштабом, следует настроить масштаб размерного текста. Для этого используется модальное окно свойств, вызываемое командой **Properties (Свойства)**, либо инструментом  стандартной панели инструментов, либо сочетанием клавиш Ctrl+1. В окне необходимо развернуть закладку Primary Units (Основные единицы) (рис. 3.121) и установить масштаб (5 или 10) в строке Dim scale linear (Масштаб линейных размеров) и точность отображения размера в строке Precision (Точность) – выбрать из списка 0.

Координирующий размер по вертикали проставляется от базы (нижнего края полезной площади панели, либо нижнего края ящика, либо верхнего левого края двери) командой **Dimbaseline**, вызываемой через меню Dimension\Baseline (Размеры\Базовый). Также

требуется настройка стиля размера через модальное окно свойств. Настраивают масштаб и точность, как указано выше, а также на закладке Lines&Arrows (Линии и стрелки) снимают первую стрелку – строка Arrow 1 (Стрелка 1), установка None (Нет), выбранная из списка. Размерный текст перетаскивают в соответствующее положение (рис. 3.121).

Линии полук с позициями формируются командой **Line (Отрезок)**. Следует иметь в виду, что линии полук не должны пересекать размерные.

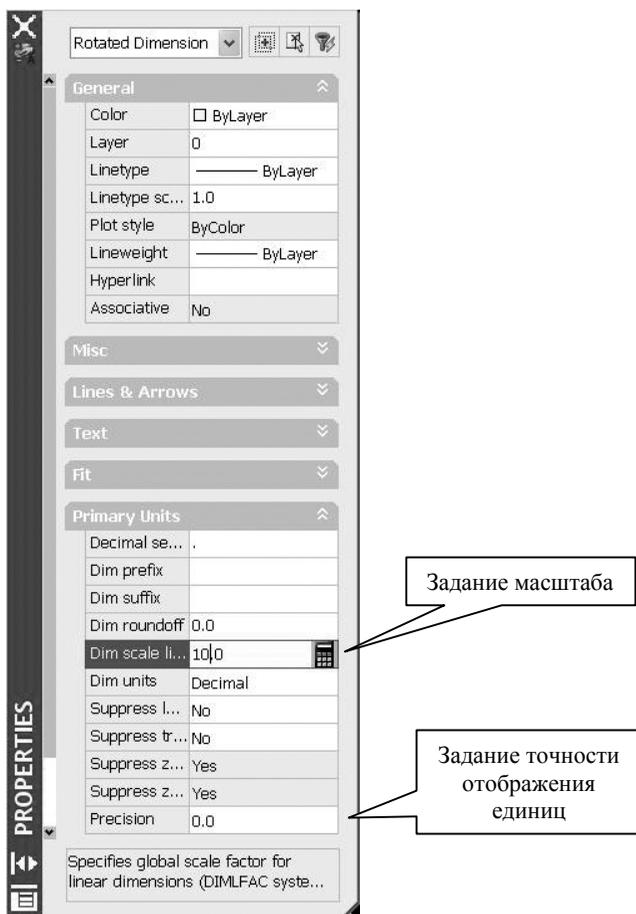


Рис. 3.121. Модальное окно свойств

Таблица данных аппаратов (пример показан на рис. 3.118) формируется на чертеже в AutoCAD путем копирования необходимых записей из перечня элементов к принципиальной схеме, открытого в CADElectro Energy.

Далее заполняется таблица надписей (пример показан на рис. 3.119).

CADElectro берет на себя все рутинные операции по оформлению чертежа, формированию общего вида НКУ, формированию изображений аппаратов по их габаритным размерам, созданию таблицы данных аппаратов при соответствующей адаптации и настройке, однако оставляет за пользователем компоновку аппаратуры и некоторые операции оформления общего вида.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Какова конструкция НКУ?
2. Каковы принципы компоновки НКУ?
3. Каковы особенности установки блоков зажимов в НКУ?
4. Каков порядок проектирования НКУ?
5. Каков состав проектной документации на НКУ?
6. Каковы требования к оформлению общего вида НКУ; таблицы данных аппаратов; таблицы надписей?
7. Каков порядок разработки документации на НКУ в CADElectro?

## **3.10. Чертежи расположения (планы, разрезы, фрагменты) оборудования и внешних проводок систем автоматизации**

### ***3.10.1. Содержание чертежей расположения***

***Чертежи расположения оборудования и проводок*** – это схемы, определяющие составные части изделия, а также жгутов, проводов, кабелей, трубопроводов и т. д.

Чертежи расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации технологических процессов обычно содержат планы и разрезы производственных помещений и наружных установок с размещением и координацией приборов и средств автоматизации, щитов, пультов и т. п., а также потоки электрических и трубных проводок.

Основанием для разработки чертежей расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации являются:

- архитектурно-строительные чертежи объекта;
- чертежи размещения технологического оборудования и основных технологических трубопроводов;

- схемы автоматизации;
- схемы или таблицы соединений внешних проводов;
- чертежи общих видов пультов, щитов и т. п.

Чертежи расположения в общем случае должны содержать:

- контуры зданий (сооружений) с расположением технологического оборудования и коммуникаций (строительную часть объекта, технологическое оборудование показывают упрощенно сплошной тонкой линией);

- координатные оси здания (сооружения) (в окружностях диаметром 8–12 мм горизонтальные – цифрами – слева направо, вертикальные – русскими буквами – сверху вниз, линии осей – тонкими штрихпунктирными линиями с длинными штрихами);

- ТСА;

- отметки чистых полов этажей и площадок, на которых устанавливают ТСА;

- классы взрыво- и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей и границы взрывоопасных зон в помещениях и наружных установках в соответствии с требованиями ПУЭ – при наличии на объекте взрыво- и пожароопасных зон. Пример – В–1а (Г2 винилацетат);

- потоки проводов, одиночные электрические и трубные проводки, несущие и опорные конструкции для их прокладки;

- проходы проводов через стены и перекрытия;

- спецификацию к чертежам расположения по форме 7 СТБ 2255–2012.

На чертежах расположения допускается не указывать:

- приборы (ртутные термометры, манометры и т. д.), расположенные на технологическом оборудовании и трубопроводах и не имеющие подключаемых к ним линий связи;

- защитные заземление и зануление систем автоматизации.

### ***3.10.2. Требования к чертежу расположения оборудования и внешних проводов систем автоматизации***

Планы расположения выполняют, как правило, в том же масштабе, что и планы с расположением технологического оборудования и основных трубопроводов. Над изображением планов и разрезов зданий и сооружений наносят надписи с указанием их местонахождения и масштаба («План на отм. 0,000» М 1:100).

План расположения ТСА и внешних проводов в помещениях контроля и управления, а также в помещениях датчиков рекомендуется выполнять на отдельных листах. Наименование и обозначение технологического оборудования указывают внутри его контура или на полке линии-выноски. Технические средства, а также потоки электрических и трубных проводов на чертежах расположения привязывают к координационным осям или конструкциям зданий и сооружений. Для потоков электрических и трубных проводов на разрезах указывают отметку низа или верха прокладки потока. Одиночные приборы допускается не привязывать.

Условные графические изображения приборов, электрооборудования и проводов на планах устанавливает ГОСТ 21.210–2014. Приведем лишь некоторые обозначения (табл. 3.20, 3.21, 3.22), остальные можно найти в ГОСТ 21.210–2014.

Таблица 3.20

Условные графические обозначения приборов и электрооборудования

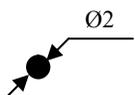
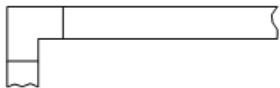
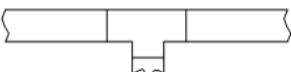
Наименование	Обозначение
Отборные устройства, первичные измерительные преобразователи (датчики), встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы	
Внештитовые приборы, исполнительные механизмы, электроаппаратура и другое оборудование, устанавливаемое вне щитов	

Таблица 3.21

Условные графические обозначения потоков проводов

Наименование	Обозначение
Поток на прямых участках	
Поток на поворотах	
Поток при разветвлении	

Наименование	Обозначение
Проводки уходят на более высокую отметку или приходят на более низкую	
Проводки уходят на более низкую отметку или приходят на более высокую	
Проводки пересекают отметку сверху вниз или снизу вверх и не имеют горизонтальных участков в пределах плана	
Проводки уходят на более высокую или более низкую отметку, охватываемую планом	
Одиночная проводка, уходящая на более высокую или низкую отметку	

Таблица 3.22

Условные графические обозначения потоков проводок в разрезах

Наименование	Обозначение
Короба при горизонтальной прокладке в стене	
Мосты, лотки при горизонтальной прокладке в стене	
Кабельные конструкции при установке в стене	
Проводка меняет направление на вертикальных и горизонтальных участках	

Рядом с условными графическими обозначениями приборов указывают их позиционные обозначения, принятые по спецификации оборудования.

Конструкциям узлов крепления проводок, а также несущим конструкциям для прокладки внешних проводок присваивают позиции по спецификации к чертежу расположения и указывают их на полках линий-выносок; номера кабелей, проводов и труб указывают в прямоугольниках под полками линий-выносок.

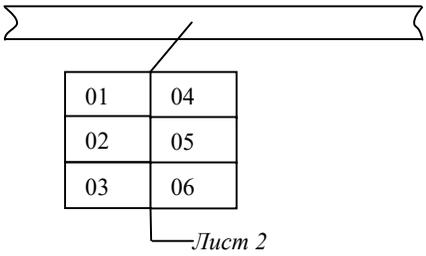
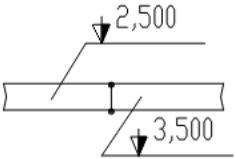
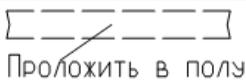
Нумерацию электрических и трубных проводок указывают:

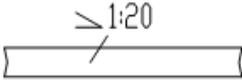
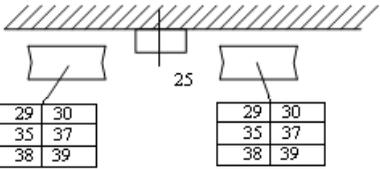
- у средств автоматизации, щитов и пультов, соединительных и протяжных коробок;
- у ответвления проводки от потока;
- при изменении количества кабелей, проводов и труб в потоке;
- при переходе в смежное помещение или на другой этаж.

Варианты координации потоков проводок приведены в табл. 3.23.

Таблица 3.23

Координация потоков проводок

Наименование	Обозначение
Координация по высоте прокладки	
Переход потока с одного листа чертежа на другой	
Изменение уровня прокладки в пределах данного плана	
Прокладка в полу	

Наименование	Обозначение
Прокладка с уклоном	
Прокладка потока с разрывом	

Фрагмент чертежа плана расположения оборудования и внешних проводок приведен на рис. 3.122.

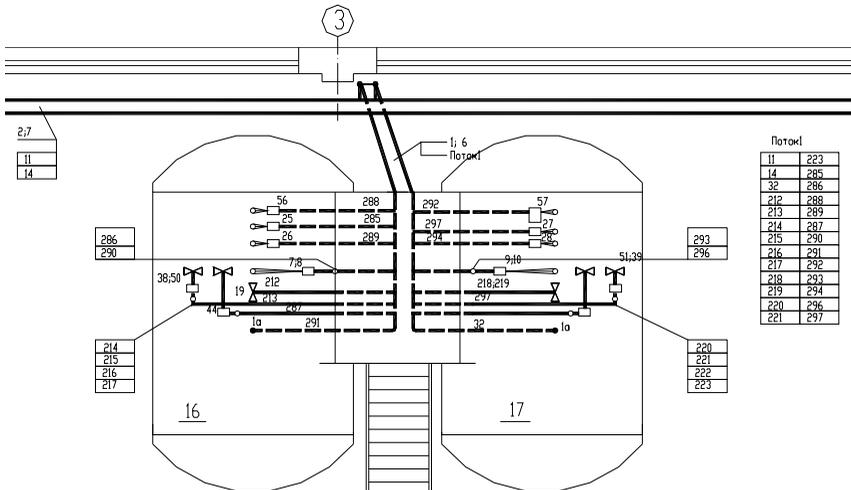


Рис. 3.122. Фрагмент чертежа плана расположения оборудования и внешних проводок

На данных чертежах, кроме того, приводят технические требования следующего содержания:

– ссылки на строительные, технологические и другие чертежи, в которых размещены элементы автоматизации, закладные конст-

рукции, тоннели, каналы, проемы и т. п., с указанием обозначений этих чертежей и организации-разработчика;

- указания о совместной прокладке электрических проводок;
- ссылки на схемы соединений внешних проводок, на основании которых необходимо вести монтаж систем автоматизации.

К чертежам прилагают спецификацию, в которую включают несущие и опорные конструкции, трубные блоки, конструкции проходов проводок через стены и перекрытия зданий и сооружений, конструкции узлов установки и крепления для прокладки проводок, монтажные изделия и материалы.

### ***3.10.3. Особенности разработки чертежей расположения оборудования и внешних проводок в САПР***

Чертежи расположения оборудования и внешних проводок относятся к документации с низкой степенью автоматизации, поскольку формализовать разработку данных схем весьма сложно. Для разработки данной документации можно использовать такие пакеты САПР, как AutoCAD с библиотекой типовых элементов чертежей, организованной в виде слайд-библиотеки, и настроенным шаблоном или модуль CADMech пакета CADElectro. Последний имеет действенные средства отображения в масштабе, оформления чертежа, простановки размеров и т. п. Можно использовать и другие графические пакеты, в которых поддерживается возможность ведения библиотеки типовых элементов и которые характеризуются простотой оформления чертежа.

#### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Что является основанием для разработки чертежей расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации?
2. Каково содержание чертежа расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации?
3. Что допускается не указывать на чертеже расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации?
4. Каковы требования к оформлению чертежа расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации?
5. Каковы особенности разработки чертежей расположения оборудования и внешних проводок в САПР?

### 3.11. Надежность систем автоматизации

#### 3.11.1. Понятия теории надежности

Усложнение задач и увеличение масштабов современных систем управления требуют от их разработчиков использовать в процессе проектирования теорию надежности – науку о методах обеспечения и сохранения надежности технических устройств при их проектировании, изготовлении и эксплуатации.

**Надежность** – свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого интервала времени или требуемой наработки. Надежность охватывает безотказность, долговечность, ремонтно-пригодность и сохраняемость.

При расчете надежности следует разделять технические средства на элементы, устройства и системы. Под *элементом* понимают любое покупное изделие, которое не подлежит ремонту и заменяется на исправное (резистор, диод, кнопка, реле и т. п.). Под *устройством* (управления) подразумевают совокупность определенным образом связанных между собой элементов, предназначенных для управления одной единицей технологического оборудования. Под *системой* (автоматического управления) с точки зрения теории надежности понимают совокупность связанных между собой устройств управления, обеспечивающих работу всего технологического процесса. В тех случаях, когда с точки зрения надежности безразлично, идет ли речь об элементе, устройстве или системе, будем использовать термин «*изделие*».

#### 3.11.2. Показатели надежности

Каждое изделие с точки зрения надежности должно быть охарактеризовано совокупностью показателей. Так, показателями надежности для элементов являются:

- интенсивность отказов – это вероятность отказа неремонтируемого изделия (элемента) в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(\Delta t)}{N(t)\Delta t}, \quad (75)$$

где  $\Delta N(\Delta t)$  – число отказавших элементов за время  $\Delta t$ ;

$N(t)$  – число элементов, оставшихся работоспособными к началу интервала времени  $\Delta t$ ;

$\Delta t$  – рассматриваемый интервал времени (чем он меньше, тем формула точнее).

Значения интенсивности отказов для ряда элементов устройств управления приведены в практикуме [51, прилож. 5];

- средняя наработка до отказа

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\lambda(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{cp}_i}}{N}, \quad (76)$$

где  $T_{\text{cp}_i}$  – средняя наработка до отказа среднего  $i$ -го элемента;

$N$  – число испытуемых элементов (чем больше  $N$ , тем формула точнее);

• вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникнет отказа элемента:

$$P(\tau) = e^{-\int_0^{\tau} \lambda(t) dt}, \quad (77)$$

где  $\tau$  – заданный интервал времени  $\Delta t$ .

Для случая, когда  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ , справедлив экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{cp}}}}. \quad (78)$$

Показатель, противоположный вероятности безотказной работы, называется вероятностью отказа:

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau). \quad (79)$$

Средняя наработка до отказа связана с вероятностью безотказной работы соотношением

$$T_{\text{cp}} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (80)$$

К числу показателей надежности элемента следует отнести его ресурс, а также срок службы и хранения. Эти показатели будут характеризовать такие свойства надежности, как долговечность и сохраняемость.

Отказом устройства управления принято считать такое случайное событие, при наступлении которого выходной сигнал, формируемый устройством, не будет соответствовать заданному и устройство не будет восстановлено за допустимое время восстановления  $T_{\text{доп}}$ .

Кроме показателей, которые характеризуют надежность элемента как невосстанавливаемого изделия, для оценки надежности устройства управления необходимы дополнительные показатели:

- вероятность восстановления за допустимое время восстановления

$$P_{\text{в}}(T_{\text{доп}}) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_{\text{в}}}}, \quad (81)$$

где  $T_{\text{в}}$  – среднее время восстановления устройства;

- вероятность безотказной работы устройства управления

$$P_{\text{с}}(\tau) = P_{\text{б/в}}(\tau) + [1 - P_{\text{б/в}}(\tau)]P_{\text{в}}(T_{\text{доп}}), \quad (82)$$

где  $P_{\text{б/в}}(\tau)$  – вероятность безотказной работы за интервал времени  $\tau$  без учета возможности восстановления;

$[1 - P_{\text{б/в}}(\tau)]$  – вероятность отказа в интервале времени  $\tau$ .

- коэффициент готовности, характеризующий долю времени работы устройства по отношению ко времени работы и восстановления:

$$k_{\text{г}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}}. \quad (83)$$

Таким образом, для восстанавливаемых устройств управления могут быть выбраны следующие показатели надежности:

- вероятность безотказной работы  $P(\tau)$ ;
- вероятность безотказной работы с учетом восстановления  $P_{\text{с}}(\tau)$ ;
- средняя наработка до первого отказа  $T_{\text{ср}}$ , или наработка на отказ;
- коэффициент готовности  $k_{\text{г}}$ ;
- ресурс, срок службы и хранения.

Выбор показателей надежности зависит от доминирующего фактора при определении последствий отказа системы.

### 3.11.3. Методы обеспечения и пути повышения надежности

При проектировании САУ разработчик обязан принять все зависящие от него меры по обеспечению надежности разрабатываемых систем (пользуются тем же набором показателей, что и для отдельных устройств управления) и в случае необходимости принять специальные меры по обеспечению надежности. К специальным методам обеспечения надежности относится, например, **резервирование** – введение в схему избыточных элементов, которые могут продолжать выполнять функции основных элементов в случае отказа последних.

Резервирование, в свою очередь, подразделяется на постоянное резервирование и резервирование замещением. **Постоянное резервирование** может быть последовательно-параллельным (рис. 3.123), параллельно-последовательным (рис. 3.124) и способом голосования (рис. 3.125). В случае *последовательно-параллельного резервирования* отказ произойдет в случае, если хотя бы один элемент в каждой из параллельных цепей откажет. В случае *параллельно-последовательного резервирования* отказ устройства наступит только в случае отказа всех  $M$  элементов хотя бы одной из последовательно соединенных между собой параллельных цепей. В случае *резервирования способом голосования* схема работоспособна в том случае, если большинство элементов работоспособны.

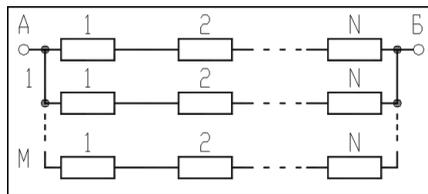


Рис. 3.123. Структурная схема последовательно-параллельного резервирования

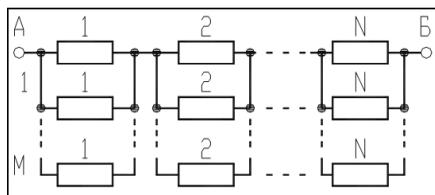


Рис. 3.124. Структурная схема параллельно-последовательного резервирования

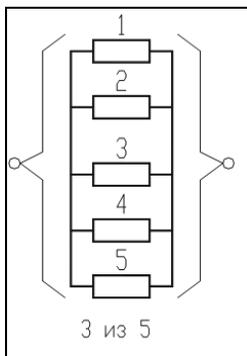


Рис. 3.125. Структурная схема резервирования способом голосования

**Резервирование замещением** подразделяется на резервирование общее (рис. 3.126), раздельное (рис. 3.127) и способом скольжения (рис. 3.128). Для *общего резервирования* отказ устройства наступит тогда, когда откажет основная и резервная цепи. Для *раздельного* отказ системы произойдет в случае отказа любого основного и всех резервных изделий, подключенных к нему параллельно. Для *резервирования способом скольжения* отказ произойдет тогда, когда число основных отказавших изделий превысит число резервных изделий, исправных к моменту отказа основных.

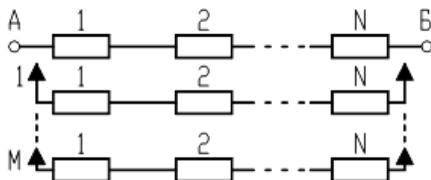


Рис. 3.126. Структурная схема общего резервирования замещением

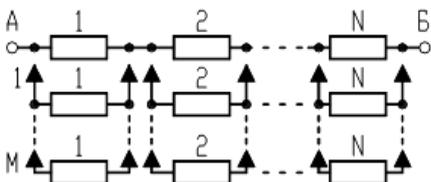


Рис. 3.127. Структурная схема раздельного резервирования замещением

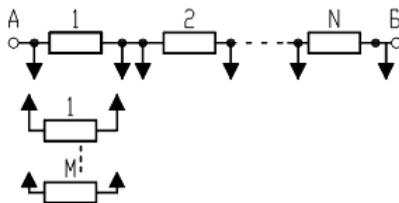


Рис. 3.128. Структурная схема резервирования замещением способом скольжения

Замещение также может быть нагруженное, облегченное и ненагруженное (схемно не различаются). *Нагруженное* – основные и резервные изделия находятся под одинаковой рабочей нагрузкой. *Облегченное* – резервные изделия до момента отказа основных находятся под более слабыми нагрузками, чем основные. *Ненагруженное* – резервные изделия до момента отказа основных практически не могут отказать.

### 3.11.4. Расчет показателей надежности с учетом структуры системы автоматизации

Расчеты надежности устройств управления при проектировании носят оценочный характер из-за невысокой точности исходных данных и из-за неполного соответствия математической модели, используемой для расчета надежности, фактическим процессам, определяющим надежность устройства.

Основными расчетными формулами при оценке надежности являются следующие.

Для основного (последовательного) соединения в структурной схеме надежности (ССН):

$$P_c(\tau) = P_1(\tau) \cdot P_2(\tau) \cdot \dots \cdot P_n(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau); \quad (84)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P_c(\tau) dt = \frac{\prod T_{cp_i}}{\sum T_{cp_i}}, \quad (85)$$

где  $P_i(\tau)$  – вероятность безотказной работы элемента (блока) за время  $\tau$ :

$$P_i(\tau) = e^{-\lambda_i \tau}. \quad (86)$$

Для параллельного соединения в ССН:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i);$$

$$T_{cp} = \sum_{1 \leq i \leq m} \frac{1}{\lambda_i} - \sum_{1 \leq i < j} \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j} + \sum_{1 \leq i < j < k \leq m} \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j + \lambda_k} - \dots - (-1)^m \sum_{1 \leq i \leq m} \frac{1}{\lambda_i}. \quad (87)$$

Когда все изделия одинаковы, расчетные формулы упрощаются:

$$P_c = 1 - (1 - P)^m;$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m} \right). \quad (88)$$

Для последовательно-параллельного резервирования:

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i). \quad (89)$$

При равнонадежных основных резервных соединениях:

$$P_c = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 \tau})^{m+1};$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}, \quad (90)$$

где  $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  – интенсивность отказов основного соединения.

Для параллельно-последовательного резервирования:

$$P_c = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - P_i)^{m_i+1}]. \quad (91)$$

При равнонадежных основных элементах и одинаковом числе резервных элементов:

$$P_c = [1 - (1 - e^{-\lambda_0 \tau})^{m+1}]^n;$$

$$T_{cp} = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v_i(v_i+1) \cdot \dots \cdot (v_i+n-1)};$$

$$v_i = \frac{i+1}{m+1}. \quad (92)$$

Для нагруженного резервирования замещением при экспоненциальном законе надежности:

$$P_c = e^{-\lambda_0 \tau} \sum_{i=0}^m \frac{\lambda_0 \tau}{i!}; \quad (93)$$
$$T_{cp} = T_{cp0} (m + 1).$$

В зависимости от этапов проектирования расчеты надежности делятся на прикидочные (ориентировочные), выполняемые в процессе разработки вариантов схем, и окончательные, выполняемые после завершения проектирования. Кроме того, методы расчета зависят от способов обеспечения требуемой надежности системы. Если при проектировании не были применены специальные методы обеспечения надежности и к системам не предъявлялись определенные требования по надежности, то можно ограничиться прикидочным расчетом. В остальных случаях необходимо проводить окончательные расчеты надежности.

**Прикидочный расчет надежности** позволяет сравнивать между собой варианты разрабатываемых схем и давать ориентировочную оценку показателям надежности.

Исходные данные:

- номенклатура типов элементов, используемых в схемах;
- число элементов каждого типа;
- номинальные значения  $\lambda$ -характеристик элементов;
- время работы или число циклов срабатывания элементов (ориентировочное).

Прикидочный расчет предполагает примерно следующее:

- все элементы соединены в ССН последовательно;
- при разработке схемы специальные методы обеспечения надежности не использованы;
- электрические нагрузки элементов номинальные;
- система работает при нормальных климатических и механических нагрузках;
- $\lambda$ -характеристики элементов на протяжении всего рассматриваемого интервала времени постоянны, то есть  $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$ ;
- время работы и число циклов срабатывания элементов одинаковы.

Отсюда расчетные формулы показателей надежности следующие:

- интенсивность отказов системы

$$\Lambda = \sum_{j=1}^k n_j \lambda_j, \quad (94)$$

где  $\lambda_j$  – интенсивность отказов  $j$ -го элемента;

$n_j$  – число элементов  $j$ -го типа;

$k$  – число элементов в схеме;

- вероятность безотказной работы системы

$$P(\tau) = e^{-\Lambda\tau}, \quad (95)$$

где  $\tau$  – время работы системы;

- наработка до первого отказа

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\Lambda}. \quad (96)$$

### Порядок прикидочного расчета:

- подсчитывается интенсивность отказов для каждого типа элементов ( $n_j \lambda_j$ );

- суммируется интенсивность отказов для каждого устройства управления отдельно;

- подсчитывается наработка до первого отказа;

- определяется время работы элементов;

- определяется вероятность безотказной работы;

- проводится анализ полученных данных и принимаются соответствующие меры для обеспечения равной надежности отдельных устройств системы или для достижения требуемого уровня надежности.

Если прикидочный расчет надежности покажет, что полученные значения показателей надежности достаточно высоки, то при последующих этапах проектирования можно не применять дополнительных мер и в дальнейшем надежность не рассчитывать, потому что прикидочный расчет всегда дает заведомо более низкую величину показателя надежности, чем окончательный.

После составления электрических схем и подсчета коэффициентов электрических нагрузок для каждого элемента схемы проводится **окончательный расчет надежности**.

Исходные данные:

- электрические схемы, разработанные с учетом прикидочного расчета надежности;
- коэффициенты электрических нагрузок;
- климатические условия и механические нагрузки;
- время работы или число циклов срабатывания элементов;
- интенсивность отказов элементов, таблицы и графики поправочных коэффициентов к ним;
- данные по резервированию оборудования;
- требования к надежности систем управления.

### **Порядок расчета:**

1. Составляется временная модель работы системы. Одновременно с построением временной модели уточняется назначение системы, и, если система многофункциональная, ее разбивают на подсистемы или устройства одноцелевого назначения. В этом случае для каждого устройства строится своя временная модель работы.

2. На основании технического задания и временной модели работы системы уточняется понятие отказа и номенклатура показателей надежности.

3. Составляется структурная схема надежности системы – блочная структурная схема надежности. В такой структурной схеме в виде отдельных прямоугольников (блоков структурной схемы) изображают отдельные устройства или функциональные узлы.

4. Составляются структурные схемы надежности для каждого блока блочной структурной схемы. Часть элементов, отказ которых не влияет на отказ блоков, или блоки, не оказывающие влияния на отказ системы, в структурную схему надежности входить не должны.

5. На каждый блок составляется и заполняется табл. 3.24.

В общем случае величина  $\lambda$ -характеристик элементов зависит от электрических режимов работы, определяемых коэффициентами нагрузок, температуры и влажности окружающей среды, от механических воздействий, а для отдельных элементов зависит также от воздействия давления окружающей среды, тумана и др. и может быть определена путем введения поправочных коэффициентов:

$$\lambda_{ip} = \lambda_{i0} a_1 a_2 \dots a_n, \quad (97)$$

где  $\lambda_{i0}$  – номинальное значение  $\lambda$ -характеристики элемента;  
 $a_1, a_2, \dots, a_n$  – поправочные коэффициенты.

Таблица 3.24

Таблица расчета надежности

Обозначение элемента на схеме	Тип элемента	Число элементов $n_i$	$\lambda_{i0} \cdot 10^5$ , 1/ч	Поправочные коэффициенты				
				$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Окончание таблицы 3.24

$\lambda_{ip} \cdot 10^5$ , 1/ч	$n_i \lambda_{ip} \cdot 10^5$ , 1/ч	Время работы $\tau_p$	Время хранения $\tau_{xp}$	Число циклов срабатывания $f$	$n_i(\lambda_p \tau_p +$ $\lambda_{xp} \tau_{xp}) \cdot 10^5$
10	11	12	13	14	15

Коэффициент  $a_1$  учитывает зависимость  $\lambda$ -характеристики элемента от температуры и коэффициента электрической нагрузки (для некоторых элементов приведены на графиках – рис. 3.129–3.130).

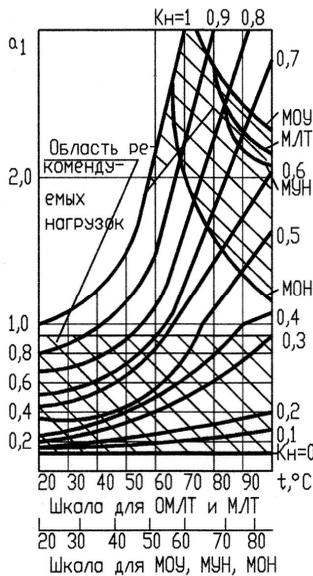


Рис. 3.129. Зависимость  $a_1$  от температуры  $t$  и коэффициента электрической нагрузки  $K_n$  для резисторов типов ОВС, МЛТ, ОМЛТ и др.

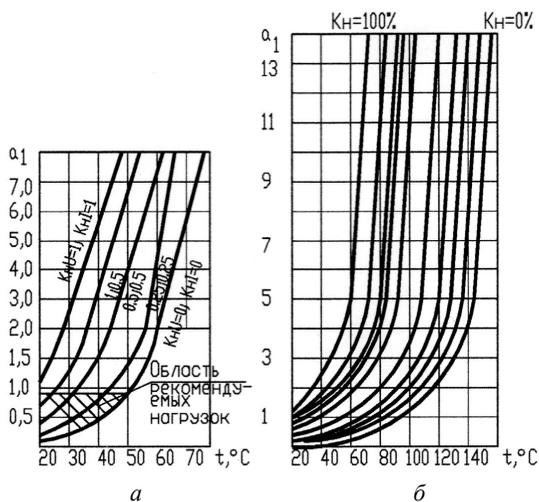


Рис. 3.130. Зависимость  $a_1$  от температуры  $t$  и коэффициента электрической нагрузки  $K_H$ :  
 а – для германиевых диодов; б – для реле

Коэффициенты  $a_2$  и  $a_3$  – коэффициенты, определяемые соответственно вибрациями и механическими ударами (для лабораторных условий  $a_2 = a_3 = 1$ ; для стационарных (полевых) условий  $a_2 = 1,04$  и  $a_3 = 1,03$ ). Коэффициенты  $a_4$  и  $a_5$  учитывают влажность и давление окружающей среды (табл. 3.25 и 3.26).

Таблица 3.25

Коэффициент  $a_4$

Относительная влажность, %	Температура, °C	$a_4$
60–70	20–40	1,0
90–98	20–25	2,0
90–98	30–40	2,5

Таблица 3.26

Коэффициент  $a_5$

Высота, км	$a_5$	Высота, км	$a_5$
0–1	1,0	8–10	1,25
1–2	1,05	10–15	1,3
2–3	1,1	15–20	1,35
3–5	1,14	20–25	1,38
5–6	1,16	25–30	1,4
6–8	1,2	30–40	1,45

После заполнения табл. 3.24 рассчитывают показатели надежности по формулам, соответствующим составленным структурным схемам надежности и временной модели работы системы.

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Раскройте сущность основных терминов теории надежности.
2. Перечислите показатели надежности элементов и приведите расчетные формулы.
3. Перечислите показатели надежности устройств управления и приведите расчетные формулы.
4. От чего зависит подбор показателей, которыми можно охарактеризовать надежность САУ?
5. Охарактеризуйте способы обеспечения надежности устройства управления.
6. Какова методика проведения прикидочного расчета надежности?
7. Какова методика проведения окончательного расчета надежности?

### **3.12. Техничко-экономические расчеты при разработке проекта автоматизации**

#### ***3.12.1. Последовательность технико-экономического обоснования***

Экономическая оценка и обоснование принятого технического решения является обязательным этапом технологии проектирования систем автоматизации. Поэтому инженер по автоматизации должен представлять источники экономической эффективности автоматизации и уметь выполнять технико-экономическое обоснование.

Технико-экономическое обоснование проекта выполняется на стадии разработки архитектурного проекта и затем уточняется на стадии строительного проекта. На первой стадии технико-экономическое обоснование доказывает целесообразность принятого укрупненно технического решения (составляются ведомости). На второй стадии уточняются расчеты экономической эффективности и составляется спецификация на проектируемое оборудование с целью его приобретения.

Последовательность технико-экономического обоснования состоит в следующем:

- исходя из цели проектирования системы автоматизации определяют, из каких составляющих складывается экономический эффект автоматизации (табл. 3.27);

## Составляющие эффективности автоматизации

Составляющая	Характеристика	Показатели
Трудовой эффект	Обусловлен сокращением прямых затрат живого труда по уходу за скотом или птицей или на вспомогательных процессах на ферме благодаря использованию на соответствующих трудовых операциях машин вместо мускульных усилий человека	Трудовые затраты. Зарплата. Экономия труда. Приведенные расчетные затраты. Годовой экономический эффект. Срок окупаемости
Энергетический эффект	Обусловлен сокращением расхода топлива и электроэнергии, улучшением графика работы электрических сетей и энергетического оборудования, сокращением потерь тепла	Затраты на энергоносители. Экономия годовых эксплуатационных издержек. Приведенные расчетные затраты. Годовой экономический эффект. Срок окупаемости
Структурный эффект	За счет изменения устройства оборудования достигается сокращение регулирующих и запасных емкостей, металлоемкости и стоимости оборудования, сокращаются потери производственной площади на устройство служебных проходов, увеличивается плотность поголовья скота или птицы в расчете на квадратный метр пола помещения или кубический метр его объема. Увеличивается концентрация размещения построек на территории фермы, сокращаются инженерные коммуникации	Капитальные затраты. Приведенные расчетные затраты. Годовой экономический эффект

Составляющая	Характеристика	Показатели
Технологический эффект	Улучшение микроклимата увеличивает продуктивность молочных коров, крупного рогатого скота и свиней на откорме, яичной и мясной птицы, автоматизация раздачи кормов сокращает его потери при потреблении животными и транспортировке, регулируемый световой день повышает продуктивность несушек и улучшает сортность яиц	Прибыль от реализации продукции. Годовой экономический эффект. Срок окупаемости

- оформляют спецификации на проектируемое оборудование, измерительные приборы и ТСА;
- определяют составляющие экономической эффективности, которые обуславливают выбор показателей технико-экономической эффективности;
- обеспечивают технико-экономический расчет, выбор методики которого обусловлен выводами в предыдущих шагах [20, 21].

### **3.12.2. Требования к спецификациям**

В состав спецификаций, выполняемых на стадии строительного проекта, входят спецификация оборудования и спецификация щитов и пультов [67]. Обе спецификации выполняются по форме, приведенной в ГОСТ 21.110–2013 (рис. 3.131). Спецификации предназначены для чтения проектной документации, составления на их основе заказной документации, организации изготовления щитовой продукции и подготовки производства работ по монтажу ТСА.

Согласно ГОСТ 21.110–2013 спецификация оборудования состоит из разделов:

- 1) оборудование и материалы, поставляемые заказчиком;
- 2) оборудование, поставляемое подрядчиком;
- 3) оборудование, имеющееся на предприятии и используемое при расширении, реконструкции или техническом перевооружении.



Раздел «Оборудование и материалы, поставляемые заказчиком» делится на подразделы: приборы и средства автоматизации; агрегатные комплексы и средства; щиты и пульты; электроаппаратура; трубопроводная арматура; кабели и провода; узлы и конструкция; материалы и монтажные изделия. Подраздел «Щиты и пульты» составляется при применении серийно выпускаемых промышленностью щитов и пультов. В подраздел «Электроаппаратура» включают электроаппаратуру, не поставляемую комплектно со щитами и пультами.

В раздел «Оборудование, поставляемое подрядчиком» включают оборудование и изделия, поставляемые генеральными и субподрядными строительными-монтажными организациями, разделяя на подразделы: серийные изделия; изделия индивидуального изготовления и элементы блочного монтажа.

В графе «Поз.» указывают позиции приборов и средств автоматизации согласно схемам автоматизации. В графе «Наименование и техническая характеристика» приводят наименование оборудования, изделий и материалов, их технические характеристики в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и другой технической документации на записываемое в спецификацию оборудование и изделия. В графе «Тип, марка, обозначение документа, опросного листа» – тип, марку оборудования, изделия, обозначение стандарта, ТУ или другого документа, а также обозначение опросного листа, если порядок заказа предусматривает их составление. В графе «Код продукции» – код продукции по классификатору страны – разработчика рабочей документации. В графе «Поставщик» – наименование изготовителя или поставщика оборудования. В графе «Ед. измерения» – обозначение единицы измерения. В графе «Кол.» указывают количество оборудования, изделий, материалов. В графе «Масса 1 ед., кг» приводят массу в килограммах. Допускается приводить массу в тоннах, но с указанием единицы измерения. Для оборудования, имеющего массу менее 25 кг, графу не заполняют. В графе «Примечание» приводят дополнительные сведения.

Спецификация щитов и пультов состоит из разделов:

- 1) щиты (и пульты);
- 2) аппаратура (и приборы), поставляемые комплектно со щитами (и пультами).

### ***Вопросы и задания для самоконтроля***

1. Каков порядок заполнения спецификации оборудования и спецификации щитов?
2. Какова методика расчета проектируемого варианта автоматизации по сравнению с базовым неавтоматизированным вариантом?
3. Какова методика расчета проектируемого варианта автоматизации по сравнению с базовым автоматизированным вариантом?
4. Какова методика расчета проектируемого варианта автоматизации, экономическая эффективность которого достигается за счет повышения надежности?

## Список литературы

1. Гаспарский, В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок / В. Гаспарский ; пер. с польск. – М. : Мир, 1978. – 172 с.

2. Политехнический словарь / редкол.: А. Ю. Ишлинский [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.

3. ГОСТ 2.001–2013. ЕСКД. Общие положения. – Взамен ГОСТ 2.001–93 ; введ. 2016-09-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 5 с.

4. ГОСТ 21.001–2013. Межгосударственный стандарт. СПДС. Общие положения. – Взамен ГОСТ 21.001–93 ; введ. 2015-12-03. – Минск : Госстандарт, 2013. – 6 с.

5. ГОСТ Р 15.000–2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. – Взамен ГОСТ Р 15.000–94 ; введ. 2017-07-01. – М. : Стандартиформ, 2016. – 15 с.

6. ГОСТ Р 50571.1–2009 (МЭК 364-1-72, МЭК 364-2-70). Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения. – Взамен ГОСТ Р 50571.1–93 ; введ. 2010-06-30. – М. : Стандартиформ, 2010. – 51 с.

7. Хилл, П. Наука и искусство проектирования. Методы проектирования, научное обоснование решений / П. Хилл. – М. : Мир, 1973. – 263 с.

8. Джонс, Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс ; пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М. : Мир, 1986. – 326 с.

9. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.

10. Сидоренко, Ю. А. Теория автоматического управления : учеб. пособие / Ю. А. Сидоренко. – Минск : БГАТУ, 2006. – 123 с.

11. ГОСТ 21.408–2013. СПДС. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – Взамен ГОСТ 21.408–93 ; введ. 2016-03-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 37 с.

12. ГОСТ 2.701–2008. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Взамен ГОСТ 2.701–84 ; введ. 2010-07-15. – Минск : Госстандарт, 2009. – 13 с.

13. ТКП 45-1.02-295–2014 (02250). Строительство. Проектная документация. Состав и содержание. – Введ. 2014-03-27. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2014. – 45 с.

14. СТБ 2255–2012. СПДС. Основные требования к документации строительного проекта. – Введ. 2012-03-12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 38 с.

15. ГОСТ 2.105–95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – Взамен ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.906–71 ; введ. 1995-08-08. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 27 с.

16. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учеб.-метод. пособие / В. В. Гурин [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с.

17. ТКП 45-1.02-104–2008 (02250). Проектная документация на ремонт, модернизацию и реконструкцию жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок разработки и согласования. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2009. – 15 с.

18. Заенчик, В. М. Основы творческо-конструкторской деятельности. Методы и организация : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Заенчик, А. А. Карачев, В. Е. Шмелев. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

19. Андреев, В. И. Педагогика : учеб. курс для творч. саморазвития / В. И. Андреев. – Казань : Центр инновац. технологий, 2000. – 197 с.

20. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации технологических процессов / Ф. Я. Изаков [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1988. – 183 с.

21. Экономическое обоснование дипломных проектов : методич. указания для студентов специальности 1-74 06 05 / сост. В. В. Ширшова, И. Л. Гургенидзе. – Минск : БГАТУ, 2005. – 115 с.

22. ГОСТ 2.702–2011. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. – Взамен ГОСТ 2.702–75 ; введ. 2013-02-26. – Минск : Госстандарт, 2012. – 22 с.

23. Новиков, А. CADElectro 3.15. Руководство пользователя / А. Новиков. – Минск : Техникон, 2003. – 216 с.

24. Автоматизация проектирования [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.technikon.by>. – Дата обращения: 06.09.2016.

25. САПР CADElectro [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cad-electro.ru>. – Дата обращения: 06.09.2016.

26. Полещук, Н. Н. AutoCAD 2007 / Н. Н. Полещук. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 1120 с.

27. Полещук, Н.Н. Visual LISP и секреты адаптации AutoCAD / Н. Н. Полещук. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 576 с.

28. ГОСТ 2.780–96. ЕСКД. Обозначения условные графические. Кондиционеры рабочей среды, емкости гидравлические и пневматические. – Введ. 01.01.1998. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.

29. ГОСТ 2.782–96. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины гидравлические и пневматические. – Введ. 01.01.1998. – М. : Изд-во стандартов, 1995. – 12 с.

30. ГОСТ 2.788–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты выпарные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

31. ГОСТ 2.789–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты теплообменные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

32. ГОСТ 2.790–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты колонные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

33. ГОСТ 2.791–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Отстойники и фильтры. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

34. ГОСТ 2.792–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты сушильные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

35. ГОСТ 2.793–79. ЕСКД. Обозначения условные графические. Элементы и устройства машин и аппаратов химических производств. Общие обозначения. – Введ. 01.01.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 7 с.

36. ГОСТ 2.794–79. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства питающие и дозирующие. – Введ. 01.01.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 4 с.

37. ГОСТ 2.795–80. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Центрифуги. – Введ. 01.01.1982. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.

38. ГОСТ 2.303–68. ЕСКД. Линии. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 6 с.

39. ГОСТ 2.305–2008. ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения. – Взамен ГОСТ 2.305–68 ; введ. 01.01.2010. – М. : Стандартиформ, 2009. – 23 с.

40. ГОСТ 2.306–68. ЕСКД. Обозначения графических материалов и правила нанесения их на чертежах. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 6 с.

41. ГОСТ 2.784–96. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы трубопроводов. – Введ. 01.01.1998. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.

42. ГОСТ 14202–69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1968. – 15 с.

43. ГОСТ 2.785–70. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Арматура трубопроводная. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1969. – 5 с.

44. ГОСТ 21.208–2013. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Взамен ГОСТ 21.404–85 ; введ. 2016-03-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 27 с.

45. ГОСТ 2.722–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 14 с.

46. ГОСТ 2.732–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники света. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 7 с.

47. ГОСТ 2.741–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы акустические. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 9 с.

48. ГОСТ 2.710–81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – Взамен ГОСТ 2.701–75 ; введ. 1981-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 14 с.

49. ТР 2007/003/ВУ. Технический регламент Республики Беларусь. Единицы измерений, допущенных к применению на территории Республики Беларусь. – Введ. 01.01.2010. – Минск : Госстандарт, 2007. – 31 с.

50. ТКП 385–2012 (02230). Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4–10 кВ

сельскохозяйственного назначения. – Введ. 19.04.2012. – Минск : Минскэнерго, 2009. – 102 с.

51. Якубовская, Е. С. Проектирование и САПР систем автоматизации : практикум / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2008. – 204 с.

52. Нестеров, А. Л. Проектирование АСУТП : методическое пособие. Книга 2. – СПб. : Издательство ДЕАН, 2009. – 944 с.

53. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – М. : Главгосэнергонадзор России, 1998. – 607 с.

54. ГОСТ 21.613–2014. СПДС. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования. – Взамен ГОСТ 21.613–88 ; введ. 20.10.2014. – М. : Стандартинформ, 2015. – 25 с.

55. Проектирование электроустановок : учебно-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию / сост. Е. И. Лицкевич, П. В. Кардашов. – Минск : БГАТУ, 2008. – 54 с.

56. Реле времени программируемое циклическое PCZ-521, PCZ-522 : паспорт. – Минск: Евроавтоматика ФиФ, 2006. – 8 с.

57.  $\alpha$  универсальный контроллер : руководство пользователя. – MITSUBISHI, 2000. – 33 с.

58. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2015. – 376 с.

59. Якубовская, Е. С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства : практикум / Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2008. – 321 с.

60. Мартыненко, И. И. Проектирование систем автоматики / И. И. Мартыненко, В. Ф. Лысенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1990. – 243 с.

61. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с. – (Библиотека профессионала).

62. Сидоренко, Ю. А. Теория автоматического управления : практикум для студентов вузов, обучающихся по специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство) / Ю. А. Сидоренко, Е. Е. Мякинник ; БГАТУ, кафедра АСУП. – Минск, 2012. – 130 с.

63. ГОСТ 2.755–87. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – Введ. 01.01.1988. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 20 с.

64. Проектирование систем автоматизации технологических процессов : справочное пособие / А. С. Клюев [и др.] ; под ред. А. С. Клюева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

65. САПР систем автоматики: методич. указания к лабораторным работам по дисциплине «Разработка проектно-конструкторской документации систем автоматики». Лабораторная работа № 5 / сост. Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2002. – 62 с.

66. Разработка щитов параллели ГМА : методич. руководство к курсовому и дипломному проектированию / сост.: Е. С. Якубовская, С. Н. Фурсенко. – Минск : БГАТУ, 1999. – 90 с.

67. ГОСТ 21.110–2013. СПДС. Спецификация оборудования, изделий и материалов. – Взамен ГОСТ 21.110–95 ; введ. 2015-03-13. – Минск : Госстандарт, 2013. – 6 с.

## Словарь основных понятий

***AutoLISP*** – встроенный язык программирования графического редактора AutoCAD, который позволяет оперировать переменными различных типов и передавать их значения командам редактора при вводе данных.

***Dialog Control Language (DCL)*** – специальный язык для создания диалоговых окон графического редактора AutoCAD.

***Автоматизация*** – область науки и техники, связанная с применением технических средств, математических методов, систем контроля и управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, продуктов или информации.

***Адаптация*** – процесс изменения свойств системы, позволяющий ей достигнуть определенного, часто оптимального или, по крайней мере, удовлетворительного функционирования при начальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях.

***Алгоритм*** – это предписание, которое определяет содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомый результат.

***Атрибут*** – текстовая переменная («ячейка»), в которую при вставке блока можно записать некоторую строку.

***База данных*** – большой информационный массив.

***База данных аппаратов Imbase*** – модуль САПР, который позволяет назначать типы аппаратам проекта и поэтому связывает все четыре модуля системы, содержит более 5000 записей электроаппаратуры и материалов, внесенных из промышленного каталога «Информэлектро» и каталогов иностранных фирм, может служить справочником и пополняться пользователем.

***Безотказность*** – свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов.

***Блок*** – составной поименованный примитив графического редактора, представляющий собой элемент графической базы данных и сохраненный в формате dwg на диске в папке, определенной в системе.

***Вес линии*** – это ширина, с которой линия будет выводиться на внешнее устройство.

**Визуализация управления технологическим процессом** – это управление через активный интерфейс, представленный на мониторе компьютера или панели оператора.

**Графическая зона** – часть воображаемой экранной плоскости чертежа, предназначенная для выполнения построений.

**Графический редактор** – это программа, отображающая на экране графическую информацию и выполняющая команды создания, изменения, просмотра чертежа и вывода его на плоттер или на принтер.

**Дискретные, или логические, системы автоматизации** – это системы, у которых входные и выходные сигналы могут принимать два возможных значения.

**Долговечность** – свойство технического объекта сохранять (при условии проведения технического обслуживания и ремонтов) работоспособное состояние в течение определенного времени или вплоть до выполнения определенного объема работы. Долговечность характеризуется техническим ресурсом либо сроком службы.

**Задача** – сложный вопрос, проблема, требующая исследования и разрешения.

**Измерительный преобразователь** (датчик) – это средство измерения, преобразующее измеряемую физическую величину (перемещение, давление, температуру, электрическое напряжение и т. д.) в сигнал (обычно электрический) для передачи, обработки или регистрации.

**Инженер по автоматизации** – специалист, обладающий компетентностью в области проектирования и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств.

**Инженерное проектирование** – это процесс научной разработки на определенном знаковом (техническом) языке описания прообраза объекта, необходимого для создания еще не существующего предмета проектирования и отвечающего функциональным, техническим, экологическим, экономическим, эргономическим и другим требованиям. Проектирование осуществляется путем преобразования первичного описания предмета, тщательного и всестороннего исследования, выработки концептуального решения на основе технической информации, неоднократного моделирования, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), неоднократного сравнения с целями проектирования,

устранения некорректности первичного описания и приведения к детальному решению в условиях высокой ответственности, нередко ограниченности во времени при минимальных затратах (со стороны производителя и потребителя) и максимальной эффективности выполнения предписанных функций в конкретных условиях включенности в окружающую среду.

**Интерфейс** – это средства взаимодействия пользователя с пакетом.

**Исполнительный механизм** – это устройство в системе автоматического регулирования и управления, непосредственно осуществляющее механическое перемещение или поворот регулирующего органа объекта управления.

**Каркас** – жесткий, несущий, объемный или плоский металлический остов, предназначенный для установки на нем панелей, стенок, дверей и т. д.

**Командная строка** – элемент интерфейса графического редактора, расположенный над строкой состояния, обеспечивающий диалог пользователя с редактором с помощью команд посредством выдачи запросов и сообщений.

**Курсорное меню** – это меню, содержащее наиболее употребляемые пользователем команды, которое вызывается щелчком правой кнопкой мыши по элементу рабочего стола графического редактора.

**Ключевое слово** – это параметр команды, который изменяет способ ее действия.

**Лимиты** – это границы чертежа, внутри которых производятся все построения.

**Метод** – способ достижения какой-либо цели, решения конкретной задачи.

**Методы проектирования** – способы выработки проектного решения, например анализ, моделирование, оптимизация и т. д.

**Мнемосхема** – графическое изображение технологического процесса.

**Надежность** – комплексное свойство технического объекта (прибора, устройства, машины, системы), состоящее в его способности выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики (при определенных условиях эксплуатации) в установленных пределах.

**Надежность питания** – бесперебойность электроснабжения электроприемников систем автоматизации.

**Наработка** – продолжительность работы изделия, измеряемая в часах, циклах и др.

**Наружные электропроводки** – электропроводки, проложенные по наружным стенам зданий и сооружений.

**Объект управления** – устройство или совокупность устройств (и биологических объектов), которое непосредственно осуществляет технологический процесс, нуждающийся в оказании специально организованных воздействий извне для выполнения его алгоритма.

**ОРТО** – это режим рисования, позволяющий производить построение либо перенос, копирование и т. д. примитивов параллельно осям координат.

**Отказ** – событие, заключающееся в нарушении работоспособности.

**Открытые электропроводки** – электропроводки, проложенные по поверхности стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений.

**Параметр** – величина, выражающая свойство системы, ее части или влияющей на систему среды.

**Панель инструментов** – элемент интерфейса графического редактора, содержащий инструменты (кнопки), обеспечивающие вызов команд на исполнение.

**Питающая сеть** – сеть от источников питания до щитов и сборок питания.

**Принцип** – основное исходное положение теории.

**Принципиальная (полная) схема** – это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы установки или изделия.

**Проект автоматизации технологического процесса** – совокупность технической документации, необходимой и достаточной для реализации оптимального варианта автоматизации технологического процесса.

**«Пустой» ввод** – это нажатие на клавишу «Ввод» без набора запрашиваемого в командной строке значения параметра.

**Рамка** – режим выбора примитивов в графическом редакторе, состоящий в указании левой нижней и затем правой верхней точек рамки выбора, при котором выбираются объекты, полностью охваченные рамкой выбора.

**Распределительная сеть** – сеть от щитов и сборок питания до электроприборов.

**Регулятор автоматический** – это устройство (или комплекс устройств) в системе автоматического регулирования, которое вырабатывает воздействия на объект в соответствии с требуемым законом регулирования.

**Редактор принципиальных схем CADElectro** – приложение, которое позволяет создавать модели принципиальных электрических схем, передавать данные в другие проектные задачи, а в последней версии – автоматически получать монтажные документы в графической форме после их формирования в табличном виде в редакторе таблиц соединений.

**Редактор сборочных чертежей CADMech** – приложение, которое позволяет формировать общие виды щитов управления и автоматики, сборочные чертежи и планы расположения, позволяет передавать данные в AVS для формирования таблицы данных аппаратов, перечня элементов щита и т. д.

**Редактор таблиц соединений PTC** – приложение, которое позволяет редактировать монтажные документы, сформированные автоматически по данным модели принципиальной электрической схемы, и передавать данные в AVS и CADElectro для формирования монтажных документов в графической форме.

**Редактор текстовых документов AVS** – приложение, предназначенное для получения в автоматическом режиме или вручную перечней элементов, спецификаций, таблиц данных аппаратов, таблиц соединений и подключения, ведомостей и подобных документов и передачи их на печать или в чертёж.

**Режимы рисования** – установки графического редактора, обеспечивающие наиболее удобную работу с ним.

**Ремонтпригодность** – свойство изделия, заключающееся в его приспособлении к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

**Ресурс** – наработка изделия до предельного состояния.

**Секущая рамка** – режим выбора примитивов в графическом редакторе, состоящий в указании правой верхней и затем левой нижней точек рамки выбора, при котором выбираются объекты, которые хотя бы пересеклись рамкой выбора.

**Сетка** – это режим рисования, отображающий в зоне лимитов сетку из точек с настраиваемым шагом.

**Синтез систем автоматического управления** – раздел автоматики, рассматривающий методы автоматического (автоматизированного) проектирования различных систем управления с заданными свойствами при ограниченных исходных данных.

**Система автоматизации** – совокупность объекта управления и измерительной, преобразующей, передающей и исполнительной аппаратуры, в которой получение, преобразование и передача информации, формирование управляющих команд и их использование для воздействия на управляемый процесс осуществляются частично автоматически, а частично – с участием людей-операторов.

**Система автоматизированного проектирования (САПР)** – человекo-машинная система управления процессом проектирования, представляющая собой автоматизированную систему управления технологическим процессом создания технической документации, необходимой для изготовления проектируемого объекта.

**Система автоматического регулирования (САР)** – совокупность регулятора и объекта управления.

**Система автоматического управления (САУ)** – комплекс устройств, обеспечивающих изменение ряда координат объекта управления с целью установления желаемого режима работы объекта.

**Система электропитания средств автоматизации** – своего рода небольшая система электроснабжения, электроприемниками которой являются различные приборы, аппараты, регулирующие устройства, исполнительные механизмы.

**Скрытые электропроводки** – электропроводки, проложенные в конструктивных элементах зданий и сооружений.

**Слайд** – мгновенная фотография экрана графического редактора AutoCAD.

**Слои** – подобие прозрачных калек, из которых может состоять чертеж.

**Сохраняемость** – свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортировки, установленного в технической документации.

**Стадии проектирования** – этапы разработки проекта.

**Статив** – это стойка (с объемным каркасом) с установленными на унифицированных монтажных конструкциях аппаратурой, установочными изделиями и проводкой.

**Стойка** – объемный или плоский каркас на опорной раме.

**Строка падающих меню** – верхняя строка графического редактора, содержащая меню с вложенными строками, вызывающими на исполнение команды.

**Строка состояния** – строка, расположенная под командной строкой (самая нижняя) и содержащая координаты курсора и кнопки включения/выключения режимов черчения. В строке состояния также выводятся сообщения.

**Структура** – это совокупность частей автоматизированной системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, а также пути передачи воздействия между ними.

**Структурная схема** – схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи.

**Структурная схема надежности (ССН)** – это графическое изображение элементов и связей между ними, показывающая воздействие каждого элемента на все устройство в целом.

**СУБД** – система управления информационными массивами.

**Схема автоматизации** – основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления технологическим процессом и регулирования его параметров, оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

**Схема подключения** – это схема, показывающая внешние подключения.

**Схема соединений** – это схема, показывающая соединения составных частей изделия и определяющая провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода.

**Схема соединений внешних проводок** – это комбинированная схема, на которой показаны электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам (если это не затрудняет чтение схемы).

**Таблица соединений** – это документ, отражающий соединения между аппаратами, приборами и элементами внутри конструктив-

ного устройства и определяющий провода и другие изделия, которыми осуществляют эти соединения.

**Тип линии** – шаблон (последовательность чередующихся линейных сегментов, пробелов, точек), по которому отрисовываются линии в графическом редакторе.

**Техническое задание** – исходный документ для проектирования, содержащий информацию о разработчике, цель проектирования, описание предмета проектирования, основные требования, описание предполагаемого результата и т. д.

**Технология инженерного проектирования** – это научно обоснованная совокупность методов, действий и операций, применяемых на определенном этапе разработки проекта, гарантирующая достижение значимого результата.

**Типовой проект** – это проект действующего предприятия, имеющий опытную проверку эффективности решения.

**Файлы меню** – текстовые файлы, содержащие командные строки и макроопределения, описывающие интерфейс графического редактора.

**Цель** – предмет стремления, то, что надо (или желательно) осуществить.

**Шаблон** – это прототип рисунка, содержащий начальные построения и установки режимов рисования, обеспечивающие быстрый старт в формировании определенного чертежа.

**Шаг** – это режим привязки к точкам сетки с определенным настраиваемым шагом или угловой привязкой.

**Щит автоматики** – конструктивное устройство, предназначенное для размещения средств контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линий связи между ними и т. п.

**Электропроводка** – совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями.

**Элемент схемы** – составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющая самостоятельное функциональное назначение (прибор, магнитный пускатель, трансформатор, ключ управления, резистор и т. д.).

## Список сокращений

АУУ – автоматическое устройство управления  
ЕСКД – единая система конструкторской документации  
ЛК – левая кнопка (мыши)  
НКУ – низковольтное комплектное устройство  
ОУ – объект управления  
ПК – правая кнопка (мыши)  
ПО – панель оператора  
ПТЛ – поточные технологические линии  
РКС – релейно-контактная схема  
РТС – редактор таблиц соединений  
САПР – система автоматизированного проектирования  
САР – система автоматического регулирования  
САУ – система автоматического управления  
СПДС – система проектной документации в строительстве  
СРПП – система разработки и постановки продукции на производство  
ТП – технологический процесс  
ТСА – технические средства автоматизации  
УГО – условное графическое обозначение

Учебное издание

**Якубовская** Елена Степановна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *А. Г. Сеньков*  
Редактор *Д. А. Значёнок*  
Корректор *Д. А. Значёнок*  
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*  
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 03.09.2018. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 20,92. Уч.-изд. л. 16,36. Тираж 50 экз. Заказ 53.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.