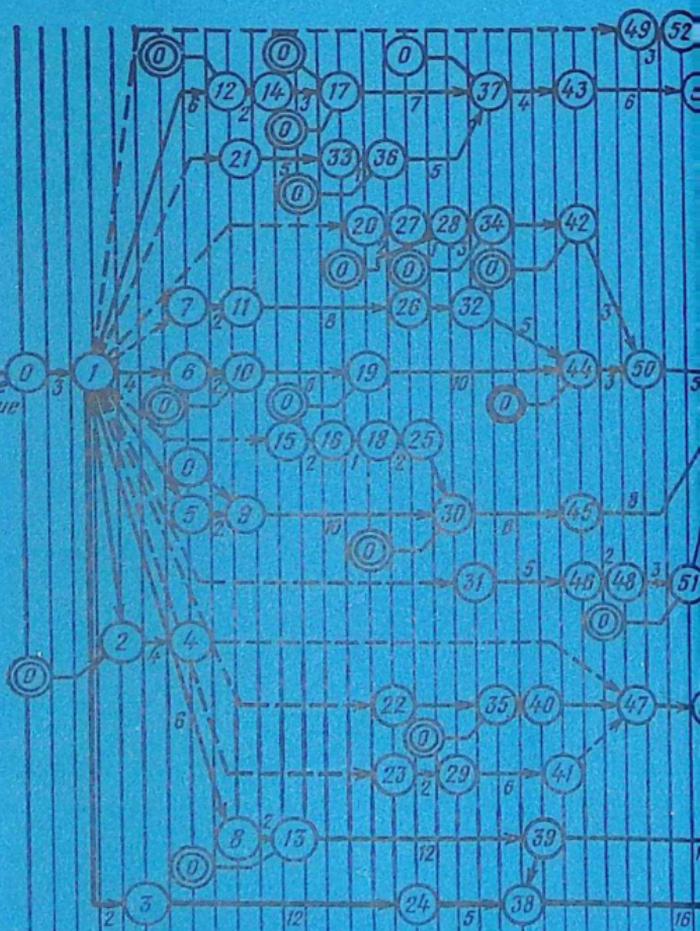




И. И. МАРТЫНОВ

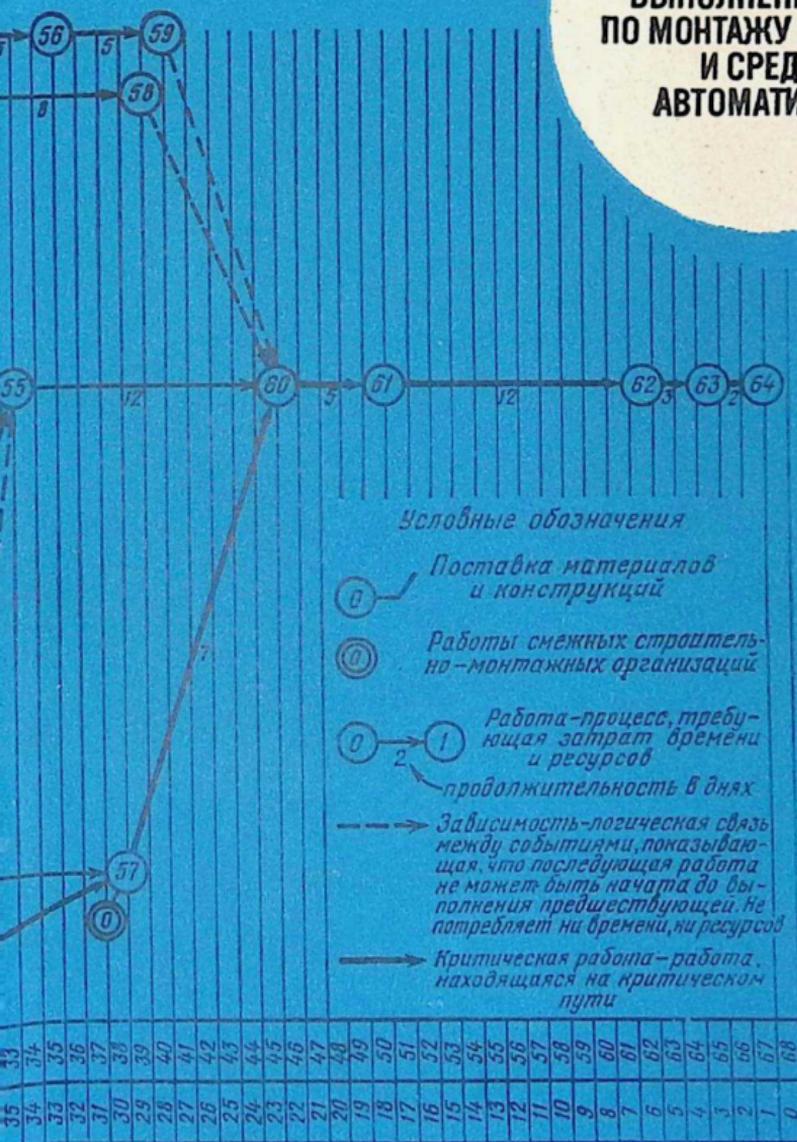
ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МОНТАЖ  
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
СИСТЕМ  
АВТОМАТИКИ

Получение  
проектной  
документации, изучение  
и составление  
ППР



Порядковые рабочие дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Обратный счет рабочих дней	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38

**Рис 39**  
**СЕТЕВОЙ ГРАФИК**  
**ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ**  
**ПО МОНТАЖУ ПРИБОРОВ**  
**И СРЕДСТВ**  
**АВТОМАТИЗАЦИИ**

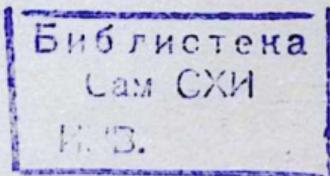


631,3  
М-294

И. И. МАРТЫНЕНКО

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальности 1515 «Автоматизация сельскохозяйственного производства»



МОСКВА «КОЛОС» 1981

ББК 40.7

М29

УДК 631.3—52(075.8)

Рецензенты: кафедра «Автоматизация сельскохозяйственного производства» МИИСП (зав. кафедрой профессор *И. Ф. Бородин*, доцент кафедры *А. К. Николаев*); кафедра «Автоматизация сельскохозяйственного производства» Ленинградского СХИ (зав. кафедрой профессор *В. С. Зарицкий*, доцент кафедры *Н. Б. Докукина*).

**Мартыненко И. И.**

М 29 Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации. — М.: Колос, 1981.—304 с., ил.—(Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

В пособии изложены вопросы проектирования систем автоматизации: их классификация, схемы автоматизации и последовательность разработки проектов. Дано описание методов и технических средств монтажа и наладки средств автоматизации, а также эксплуатации систем автоматизации. Освещены структура и задачи службы КИПиА предприятий. В пособии включены материалы по курсовому и дипломному проектированию, приведена методика выполнения лабораторных и практических занятий по курсу.

М  $\frac{40205-294}{035(01)-81}$  60—81. 3802040100

ББК 40.7

631.3

© Издательство «Колос», 1981

## ВВЕДЕНИЕ

В решениях XXVI съезда КПСС предусматривается новый значительный подъем сельскохозяйственного производства в одиннадцатой пятилетке (1981...1985 гг.) и до 1990 г., причем наряду с увеличением производства зерна, овощей, картофеля, сахарной свеклы и других продуктов растениеводства на первый план выдвигается задача более быстрого развития животноводства. Намечается увеличить поголовье животных, поднять продуктивность скота и птицы, последовательно переводить животноводство на промышленную основу и превратить его в современную высокоэффективную отрасль.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981...1985 годы и на период до 1990 года» намечается повысить энерговооруженность труда в сельском хозяйстве в 1,5 раза.

В 1979 г. было опубликовано постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства». Этим постановлением намечено осуществить постепенный переход от автоматизации отдельных производственных процессов и операций к полной автоматизации цехов и предприятий в сельском хозяйстве.

Чтобы решить поставленные задачи, необходимо продолжить техническое перевооружение сельского хозяйства на основе комплексной механизации, электрификации и автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Вопросы комплексной механизации и автоматизации процессов производства имеют большое народнохозяйственное значение. В статье 21 Конституции СССР гово-

рится о том, что государство заботится об улучшении условий труда, о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производства. А в статье 22 сказано, что в СССР последовательно претворяется в жизнь программа превращения сельскохозяйственного труда в разновидность индустриального.

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве тесно связан с широким применением автоматизации производства. Современные научно-технические преобразования в технологии сельскохозяйственного производства приводят к тому, что информационных возможностей даже квалифицированных специалистов недостаточно для того, чтобы при помощи традиционных методов эффективно управлять сложными технологическими процессами, в частности, на животноводческих комплексах, птицефабриках, в тепличных комбинатах. По данным ВИЭСХ, на современных животноводческих комплексах и птицефабриках энерговооруженность каждого работника в 70...100 раз выше, чем на обычных фермах. Мощность только электрических установок, приходящаяся на одного работающего на животноводческих комплексах и птицефабриках, превышает 200 кВт. Очевидно, что управлять такой мощностью с минимальным расходом энергии невозможно без использования средств и систем автоматизации. Опыт автоматизации производства в ряде отраслей народного хозяйства не всегда применим в сельском хозяйстве и не может сюда переноситься механически. Объясняется это рядом принципиальных особенностей сельскохозяйственного производства.

Основные особенности сельскохозяйственного производства с точки зрения автоматизации заключаются в следующем.

Во-первых, оно имеет циклический (прерывистый) характер, связанный с естественными периодами функционирования и развития сельскохозяйственных животных, птицы, растений (суточный, сезонный, годовой и т. д.). Между тем известно, что для автоматизации более пригодными являются непрерывные процессы, и в промышленности стремятся всякий прерывистый технологический процесс при автоматизации перестроить в непрерывный. В сельском хозяйстве основные технологические процессы производства сельскохозяйственной

продукции неразрывно связаны с биологическими процессами, и перестроить их на непрерывные не всегда удается.

Во-вторых, поскольку основные технологические процессы сельскохозяйственного производства тесно связаны с биологическими процессами, то прервать (остановить) процесс даже временно нельзя, так как сбой с естественного (биологического) ритма приводят не только к невыполнению производственной программы (как на промышленном предприятии), но и к порче живых объектов (животных, птицы, растений), к снижению их продуктивности, а иногда и к гибели.

В-третьих, увеличение выхода сельскохозяйственной продукции, как правило, нельзя получить за счет уменьшения времени цикла технологических процессов. Этого можно добиться главным образом за счет увеличения числа и улучшения качественного состава (породного, сортового) основных средств производства (животных, птицы, растений), а также за счет улучшения условий содержания животных и лучшего возделывания растений.

В связи с указанными особенностями по-особому должна оцениваться ожидаемая эффективность автоматизации сельскохозяйственных процессов. Если в промышленном производстве эффективность автоматизации оценивается прежде всего повышением производительности труда, улучшением качества продукции и иногда повышением безопасности работы обслуживающего персонала, то, например, в животноводстве и птицеводстве наряду с этим при оценке автоматизации немаловажным критерием является улучшение зоотехнических условий содержания животных (птицы), что также способствует повышению их продуктивности.

Кроме того, при автоматизации животноводства (птицеводства) необходимо принимать во внимание последствия всякого рода отклонений от заданной технологии и условий содержания животных (птицы). Например, несвоевременное доение коров ведет к существенному снижению удоев не только в данный момент, но и при дальнейшем использовании животных. Нарушение заданного режима включения и отключения дополнительного (технологического) освещения на птицеферме приводит к уменьшению на длительный период яйценоскости кур-несушек и т. д. В связи с этим надежность функ-

дионирования автоматических систем в сельском хозяйстве должна играть первостепенную роль. Это же можно сказать и о растениеводстве, особенно в защищенном грунте.

Указанные особенности в значительной мере осложняют работу по созданию автоматических систем для животноводства, птицеводства и растениеводства. Вместе с тем животные, птица и растения мало меняются из поколения в поколение, и это позволяет создавать технологическое оборудование и автоматические системы длительного использования. Только смена технологии содержания или износ оборудования приводят к необходимости его замены.

В этом отношении промышленное производство менее консервативно, более динамично, так как изготавливаемые изделия непрерывно должны изменяться из-за влияния технического прогресса, требований быстро меняющейся моды и других факторов. Это обстоятельство приводит к частой переналадке автоматического оборудования, его реконструкции и даже к частичной или полной замене.

Появление в сельском хозяйстве производств промышленного типа (птицефабрик, животноводческих комплексов) с высоким уровнем механизации и автоматизации процессов повлекло за собой изменение всей системы проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации оборудования и средств автоматики. В проектных организациях появляются отделы и группы специалистов по автоматизации производства (так называемые КИПовцы). В системе Госкомсельхозтехники созданы специальные организации в виде монтажных трестов, пусконаладочных управлений и т. п., а на животноводческих комплексах, птицефабриках и тепличных комбинатах — эксплуатационные службы, в том числе служба КИПиА, на которую возлагается обязанность организации нормального функционирования приборов, средств автоматики и систем автоматизации.

В настоящее время все монтажные работы на комплексах промышленного типа и 80% объема монтажных работ на фермах колхозов и совхозов ведут специализированные тресты системы Госкомсельхозтехники [47, 48].

Важным фактором исправной работы систем автоматизации является хорошо налаженное техническое об-

служивание. Поэтому на крупных комплексах промышленного типа и птицефабриках создается специальная служба по эксплуатации — КИПиА.

Созданию каждой автоматической системы управления и регулирования должно предшествовать всестороннее изучение процесса и объекта автоматизации. При этом необходимо исследовать статические и динамические характеристики автоматизируемых процессов, рабочих машин, установок и т. п., изучить свойства сельскохозяйственных материалов и продуктов как объектов контроля и измерения, выбрать или разработать измерительные элементы или датчики состояния (качества) сельскохозяйственных материалов и продуктов, сформулировать предварительные соображения о выборе вида автоматической системы и путях ее реализации.

Во многих случаях автоматизацию технологических процессов следует осуществлять поэтапно (постадийно). При этом обычно различают такие стадии.

1. Автоматизация контроля, сигнализации и защиты машин и установок от аварийных режимов.

2. Автоматизация регулирования загрузочных режимов машин и отдельных рабочих органов.

3. Автоматизация управления и регулирования (режимов работы, направления движения, положения в пространстве и т. п.).

4. Создание систем автоматического централизованного контроля и управления.

5. Создание автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и автоматизированных систем управления производством (АСУП).

Автоматические системы разрабатываются в НИИ, проектных и проектно-технологических организациях. При этом роль проектантов велика. Несмотря на дополнительные затраты на системы и средства автоматизации, в целом капитальные вложения в сооружение автоматизируемого объекта при правильном проектировании оказываются часто меньше, чем капитальные вложения на аналогичный неавтоматизируемый объект.

Подсчитано, что затраты на средства и системы автоматики при комплексной автоматизации сельскохозяйственного производства составляют около 10% от затрат на технологическое оборудование. Однако, уменьшая расходы на строительство служебных и других вспомогательных помещений, более рационально размещая

оборудование и т. п. (то есть за счет эффекта отсутствия человека), удается уменьшить расходы на строительство на 5...12% (по данным УНИИМЭСХ). За счет этого снижаются общие капитальные вложения в автоматизированное производство.

В этой связи следует подчеркнуть, что создание автоматических систем должно осуществляться в тесной увязке с разработкой технологии, технологического оборудования и строительной части объекта. Автоматизация, приспособленная к действующему производству, не может дать и не дает того эффекта, который она обеспечивает при ее правильном проектировании.

Из сказанного видно, что перед молодыми специалистами стоят большие задачи по разработке, внедрению, освоению и эксплуатации систем автоматизации в сельскохозяйственном производстве.

В курсе «Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматики» изучаются рациональные приемы и методы проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации систем и средств автоматизации. При этом курс разбивается, по существу, на три части: проектирование, монтаж и наладка, эксплуатация средств и систем автоматизации. Около половины его объема отводится на проектирование, а остальное — на монтаж, наладку и эксплуатацию. Вопросам проектирования большое внимание уделяется потому, что независимо от места работы инженер-электромеханик по автоматизации сельскохозяйственного производства должен уметь свободно читать проекты и уметь их осуществлять.

При написании учебного пособия использован опыт преподавания курса в Украинской сельскохозяйственной академии.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам профессорам И. Ф. Бородину и В. С. Зарицкому и доцентам Н. Б. Докукиной и А. К. Николаеву за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества пособия.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 1.1. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

К основным проектным нормативным документам относятся прежде всего **строительные нормы и правила (СНиП)**, которые устанавливают основные требования по вопросам проектирования и строительства городов и населенных пунктов, предприятий, зданий, сооружений, конструкций и инженерного оборудования, а также определяют их сметную стоимость.

Главными задачами СНиП является установление на основе достижений науки и техники единых требований к проектированию и строительству, предусматривающих снижение затрат на строительство, повышение его качества и сокращение сроков выполнения работ, применение наиболее рациональных решений в строительстве, экономное использование материальных ресурсов, повышение уровня индустриализации и производительности труда и быта, охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

Строительные нормы и правила (СНиП) состоят из четырех частей.

I. Общие положения.

II. Нормы проектирования.

III. Правила производства и приемки работ.

IV. Сметные нормы и правила (с приложением сборников сметных норм).

Каждая часть подразделяется на отдельные главы, которые издаются самостоятельно (приложение 1).

*Часть I СНиП «Общие положения» устанавливает*

систему нормативных документов, строительную терминологию, классификацию зданий и сооружений, правила назначения допусков в строительстве и другие общие правила и нормы.

Из первой части инженеры-электромеханики должны знать главы 1 и 3: глава 1. Система нормативных документов (условное обозначение СНиП I—1—74); глава 3. Классификация зданий и сооружений (условное обозначение СНиП I—3—75).

Шифр СНиП расшифровывается так: номер части обозначается римскими цифрами, номер главы — арабскими, а две последние цифры соответствуют году утверждения данной главы.

Главы первой части СНиП издаются форматом 203×260 мм и имеют на обложке красную вертикальную полосу.

*Часть II СНиП «Нормы проектирования»* содержит требования по общим вопросам проектирования (включая вопросы климатологии, строительной теплотехники и другие), оснований и фундаментов, строительных конструкций, инженерного оборудования и внешних сетей, зданий и сооружений различного назначения, включая сельскохозяйственные, а также требования к планировке и застройке городов, поселков и сельских населенных пунктов и т. п.

В настоящее время вторая часть СНиП насчитывает около 100 глав. Из них для специалистов по автоматизации сельскохозяйственного производства наиболее важными являются главы из разделов «Сельскохозяйственные предприятия, здания и сооружения» и «Складские здания и сооружения». Например, СНиП II—97—76 «Генеральные планы сельскохозяйственных предприятий»; СНиП II—100—75 «Теплицы и парники»; СНиП II—99—77 «Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и сооружения»; СНиП II—104—76 «Складские здания и сооружения общего назначения»; СНиП II—105—74 «Холодильники» и др.

Главы II части СНиП также издаются форматом 203×260 мм и имеют на обложке синюю вертикальную полосу.

*Часть III СНиП «Правила производства и приемки работ»* содержит требования по общим вопросам организации строительства, приемки в эксплуатацию предприятий, зданий и сооружений после окончания строи-

тельства; по осуществлению и приемке работ при возведении сооружений разного назначения, по монтажу инженерного и технологического оборудования зданий, сооружений и внешних сетей.

Третья часть СНиП содержит около 40 глав. Чаще всего специалистам по электрификации и автоматизации приходится обращаться к главам 1, 3, 33, 34 (приложение 1).

Главы III части СНиП издаются форматом 128××200 мм и имеют на обложке зеленую вертикальную полосу.

*Часть IV СНиП «Сметные нормы и правила»* содержит указания по разработке элементарных и укрупненных сметных норм на строительные работы, монтаж оборудования, по определению сметной стоимости эксплуатации строительных машин, строительства и др.

Четвертая часть СНиП содержит 16 глав, каждая из которых может оказаться необходимой в зависимости от вида и содержания проектных работ.

Главы IV части СНиП издаются форматом 203××260 мм и имеют на обложке вертикальную полосу коричневого цвета. Эта часть СНиП имеет приложения в виде сборников укрупненных сметных норм на здания и сооружения, на монтаж оборудования и др.

**Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий (ОНТП) и нормы технологического проектирования объектов сельского хозяйства (НТП-СХ)** устанавливают строительные и планировочные нормы, рекомендуемые строительные и конструкционные материалы, нормы освещенности, отопления и вентиляции, противопожарные и санитарные нормы и т. п. (приложение 1).

**Инструкции и указания по строительному проектированию** определяют правила и нормы по проектированию и устройству конкретных инженерных средств, установок и сооружений: электроосвещения, силового электрооборудования, автоматизации, заземлений, молниезащиты, электропроводок, трубопроводов и т. п.

Инструкциям и указаниям присваивается шифр, состоящий из букв СН (строительные нормы), порядкового номера регистрации в Госстрое СССР и двух цифр в конце шифра, означающих год утверждения данного нормативного документа.

Некоторые строительные нормы, к которым прихо-

дится обращаться при проектировании электроустановок и систем автоматизации, приведены в приложении 1.

Кроме общесоюзных инструкций и указаний, имеются ведомственные и республиканские нормативные документы.

В шифре ведомственных нормативных документов приводится сокращенное буквенное обозначение ВСН, регистрационный номер, год утверждения документа, а также сокращенное название организации, утвердившей данный документ, например:

ВСН 281—76

Минприбор

Инструкция по проектированию автоматизированных производственных процессов.

Республиканские нормативные документы в шифре имеют буквенное обозначение РСН, регистрационный номер, год утверждения и сокращенное наименование организации, утвердившей документ. Например, РСН 68—69

Госстрой БССР

Из документов, регламентирующих проектирование, монтаж и наладку устройств и систем автоматизации, следует упомянуть еще государственные стандарты (ГОСТ). Таких стандартов насчитывается свыше сотни. Наиболее часто применяемые при проектировании приведены в приложении 1.

Кроме указанной нормативной документации, при проектировании используется большое число вспомогательной литературы и документации: справочники, рекомендации по проектированию разных объектов, методики, руководства, прейскуранты на строительство объектов, ценники на монтаж оборудования, в частности ценник № 11 на монтаж приборов и средств автоматизации. Одним из важных нормативных документов являются Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

## **1.2. СОСТАВ ПРОЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Капитальное строительство, а также реконструкция любого производственного объекта начинается с проектирования. Техническая часть проекта содержит до шести разделов таких названий:

1. Технология производства.
2. Автоматизация технологических процессов.

3. Электроснабжение и электрооборудование.
4. Энергетические установки по обеспечению сжатым воздухом, ацетиленом, кислородом, газом и др.
5. Тепловые сети.
6. Мероприятия по охране водоемов, почвы и атмосферного воздуха от загрязнения сточными водами и промышленными выбросами.

Вопросы проектирования систем автоматизации регламентируются в основном следующими двумя нормативными документами:

1. Инструкцией по разработке проектов и смет для промышленного строительства (СН 202—76), утвержденной Госстроем СССР.

2. Инструкцией по проектированию автоматизированных производственных процессов ВСН 281—76, утвержденной Министерством приборостроения, средств автоматизации и систем управления.

В соответствии с СН 202—76 проектирование систем автоматизации технологических процессов выполняется в две стадии: технический проект и рабочие чертежи. Последние разрабатываются на основе технического проекта после его утверждения.

**Задание на проектирование** — это документ, утвержденный в установленном порядке, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки проекта, и содержащий предварительную оценку экономической эффективности разрабатываемой системы.

**Технический проект** — это техническая документация, утвержденная в установленном порядке, содержащая общесистемные проектные решения, а также оценку экономической эффективности разрабатываемой системы и перечень мероприятий по подготовке объекта к внедрению.

**Рабочие чертежи**, которые иногда называют рабочим проектом — техническая документация, утвержденная в установленном порядке, содержащая уточненные и детализированные общесистемные проектные решения, а также уточненную оценку экономической эффективности системы и уточненный перечень мероприятий по подготовке объекта к внедрению.

Проектировать автоматизацию несложных объектов допускается в одну стадию (технорабочий проект).

Это делается с разрешения инстанции, утверждающей задание на проектирование.

Задание на проектирование систем автоматизации технологических процессов составляет заказчик или генеральный проектировщик с участием специализированной организации, которой поручается разработка проекта.

Задание на проектирование должно содержать следующие данные:

- наименование предприятия и задачу проекта;
  - основание для проектирования;
  - перечень производств, цехов, агрегатов, установок, подлежащих автоматизации, с указанием особых условий при их наличии (например, класс взрыво- и пожароопасности помещений, наличие агрессивной, сырой, запыленной окружающей среды и т. п.);
  - стадийность проектирования;
  - требования к разработке вариантов проекта автоматизации;
  - планируемый уровень капитальных затрат на автоматизацию, проектирование примерных затрат на проведение научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) с указанием источника финансирования;
  - сроки строительства и очередность ввода в действие производственных подразделений предприятия;
  - наименование организаций — участников разработки составных частей проекта предприятия и систем автоматизации, генеральной проектной организации, научно-исследовательской организации по системам автоматизации, предприятия-изготовителя щитов, пультов, нестандартного оборудования и др.;
  - предложения по централизации управления технологическими процессами и структуре управления объектов, по объему и уровню автоматизации;
  - предложения по размещению центральных и местных пунктов управления, щитов, пультов (диспетчерских, цеховых, агрегатных и др.).
- Для выполнения проектов систем автоматизации необходимо представлять следующие **исходные данные и материалы**:
- технологические схемы с характеристиками оборудования, с трубопроводными коммуникациями и указанием действительных внутренних диаметров, толщины стенок и материала труб;
  - перечень контролируемых и регулируемых параметров;

ров, дистанционно управляемого силового электрооборудования и т. п. с необходимыми требованиями, характеристиками и величинами;

чертежи (планы и разрезы) производственных помещений с расположением технологического оборудования и трубопроводов с указанием рекомендуемых мест установки щитов и пультов;

чертежи технологического оборудования, на котором предусматривается установка приборов, средств автоматизации и перечень приборов, поставляемых комплектно с оборудованием, чертежи комплектно поставляемых щитов, станций управления и т. п.;

строительные чертежи помещений для установки щитов, пультов и других технических средств и систем автоматизации;

схемы электроснабжения переменным и постоянным током с указанием мощности и напряжений для питания технических средств и систем автоматизации, а также схемы контура заземления электрооборудования;

схемы управления электроприводами исполнительных механизмов, типы пусковой аппаратуры и станций управления;

схемы водоснабжения с указанием диаметров труб, расхода, давления, температуры воды;

схемы воздухообеспечения с указанием давления, температуры, влажности и запыленности воздуха, наличие устройств очистки и осушки воздуха;

данные, необходимые для расчета регулирующих органов, сужающих устройств и для заполнения опросных листов;

требования к надежности систем и средств автоматизации;

техническую документацию по типовым проектам и проектным решениям.

Состав и объем проектных материалов по автоматизации технологических процессов производства зависят от стадии проектирования, а также от того, насколько изученным является автоматизируемый объект. Так, при проектировании автоматизации новых, мало изученных производств и объектов со сложными технологическими процессами и т. д. требуется дополнительная проработка отдельных вопросов и в необходимых случаях — проведение научно-исследовательской работы, которая долж-

на предшествовать выполнению проекта. Среди вопросов, подлежащих дополнительному изучению, можно назвать следующие:

уточнение условий функционирования системы и объема информации, необходимой для оптимального управления;

изучение (исследование) характеристик оборудования и агрегатов как объектов автоматизации;

определение законов и критериев управления объектом (построение математической модели системы управления);

техничко-экономическое обоснование целесообразного уровня автоматизации объекта и постановка задачи автоматизации;

предварительная разработка сложных схем системы автоматизации.

Результаты проведенных предпроектных работ оформляются в виде технического отчета и прикладываются к техническому заданию на проектирование.

При проектировании автоматизации несложных объектов состав проекта может быть сокращен за счет совмещения отдельных материалов и менее детальной проработки ряда вопросов проекта.

В состав технического проекта при двухстадийном проектировании входят:

1. Схемы взаимосвязей между пунктами контроля и управления объектом (выполняются при проектировании сложных систем с централизованным управлением).

2. Функциональные (функционально-технологические) схемы автоматизации.

3. Чертежи расположения щитов и пультов на объекте.

4. Заявочные ведомости на приборы и регуляторы, электроаппаратуру, щиты и пульты, кабели, провода, трубы и т. п.

5. Перечень новых, не изготавливаемых промышленностью приборов и средств автоматизации, и технические задания на их разработку.

6. Сметы на оборудование и монтаж (сметы, составленные к техническому (технорабочему) проекту, необходимо до утверждения проекта согласовать с подрядными строительными-монтажными организациями, которые должны принять сметы до начала строительного-монтажных работ).

7. Пояснительная записка с технико-экономическими расчетами.

8. Задание на обеспечение установок, подлежащих автоматизации, источниками питания (электроэнергией, водой, сжатым воздухом и т.п.).

9. Задания на щитовые помещения и основные строительные сооружения (туннели, каналы, эстакады для прокладки кабельных и трубных проводок и др.).

Для определения полной стоимости оборудования и монтажа и для обоснования сметы на строительство при согласовании со строительно-монтажной организацией дополнительно на стадии технического проекта следует разработать следующие материалы:

принципиальные электрические, гидравлические и пневматические схемы регулирования, управления и сигнализации в упрощенном изображении;

общие виды щитов с компоновкой приборов и аппаратуры без их координации;

схемы внешних электрических и трубных проводок без маркировки проводов и разводки жил;

чертежи электрических и трубных проводок в упрощенном виде.

В состав рабочих чертежей (рабочего проекта) при двухстадийном проектировании и в состав технорабочего проекта при одностадийном проектировании входят:

1. Схемы взаимосвязи между пунктами контроля и управления.

2. Функциональные схемы автоматизации.

3. Принципиальные электрические, гидравлические и пневматические схемы автоматического управления, регулирования, сигнализации и блокировки.

4. Принципиальные электрические схемы питания.

5. Общие виды щитов и пультов (если их не разрабатывали на стадии технического проекта).

6. Монтажные схемы щитов и пультов.

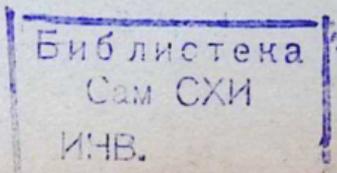
7. Схемы внешних электрических и трубных проводок с маркировкой проводов и разводкой жил.

8. Монтажные чертежи электрических и трубных проводок (чертежи трасс).

9. Чертежи установки аппаратуры, вспомогательных устройств, щитов и пультов.

10. Чертежи нетиповых элементов, конструкций и нестандартного оборудования.

11. Пояснительная записка.



12. Сводная таблица исходных данных и результатов расчетов систем регулирования и регулирующих дроссельных органов.

13. Спецификации оборудования (приборов, регуляторов, электроаппаратуры, исполнительных органов, щитов, пультов и вспомогательного оборудования).

14. Спецификации монтажных изделий и материалов (трубы, трубопроводная арматура, металлы, соединительные коробки и пр.).

15. Спецификации нестандартизированного оборудования.

16. Сметы стоимости оборудования и монтажа.

17. Задания на конструкции и сооружения для установки щитов и пультов.

18. Задания на размещение отборных и приемных устройств, регулирующих и запорных органов, устанавливаемых на технологическом оборудовании.

19. Перечень СТП (стандартов предприятий), использованных в проекте (примененные в проекте СТП и чертежи типовых конструкций, узлов и деталей в составе рабочих чертежей не входят).

По требованию заказчика в проекте могут быть разработаны журналы электрических и трубных проводок. При проектировании сложных пневматических и гидравлических систем автоматизации допускается разработка в составе рабочих чертежей принципиальных пневматических и гидравлических схем питания.

Разработка проектной документации в требуемом объеме позволяет заказать все оборудование и все монтажные материалы, выдать задания заводам на изготовление щитов и пультов, изготовить в монтажно-строительных мастерских и цехах нестандартные конструкции для установки оборудования, а также осуществить монтаж промышленными методами.

После разработки (а иногда и в процессе разработки) проекта автоматизации его приходится согласовывать между отделами проектной организации, между проектными организациями, разрабатывающими составные части проекта строительства или реконструкции объекта. Каждому проекту присваивается порядковый номер по инвентарной книге проектной организации (например, проект 1220). Графический и текстовый материал получает соответствующий шифр, который позволяет легко ориентироваться в проектной документации.

### **1.3. СОДЕРЖАНИЕ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В текстовую часть проекта входит пояснительная записка; заявочные ведомости; заказные спецификации; опросные листы для заказа приборов и средств автоматизации; задания на разработку новых средств автоматизации; задания на обеспечение системы автоматизации электроэнергией, сжатым воздухом и гидравлической энергией; задание на проектирование щитовых помещений, кабельных сооружений, проемов и закладных устройств в производственных помещениях; задание на размещение элементов автоматизации на технологическом оборудовании и трубопроводах и др.

В состав текстовой части проектов включают также результаты технико-экономических расчетов и сметы.

Пояснительные записки входят в состав технического проекта, рабочих чертежей и технорабочего проекта.

*Пояснительная записка к техническому проекту* содержит следующие основные разделы:

1. Общая часть, где помещен перечень материалов и документов, на основании которых разработан технический проект (договор, план, приказ, техническое задание с исходными данными, протоколы согласований и др.).

2. Характеристика объекта автоматизации. В этом разделе дают краткое описание технологического процесса и основные характеристики проектируемого объекта. Приводимых здесь данных и сведений должно быть достаточно для определения особенностей самого объекта, контролируемых и регулируемых сред с точки зрения подготовленности объекта к автоматизации. Если необходимо, то анализируют технологический процесс и основное технологическое оборудование для обоснования принятого уровня автоматизации.

3. Основные решения по автоматизации технологических процессов. В этом разделе описывают и обосновывают принятые проектные решения по системам контроля, автоматического управления и регулирования, производственной сигнализации и дистанционного управления. Здесь же дают пояснения по принятой структуре управления технологическими процессами с указанием

ее иерархического построения, мест расположения щитов разного назначения, постов контроля и управления, их взаимосвязи.

Все описания подкрепляют ссылками на соответствующие чертежи. В этом же разделе приводят сведения об использовании передового отечественного и зарубежного опыта автоматизации аналогичного производства.

4. Материально-технические средства автоматизации, где приводят обоснование выбора приборов и средств автоматизации с учетом условий эксплуатации, метрологических данных, быстродействия (инерционности), надежности, экономичности, возможности создания эффективной службы эксплуатации и ремонта средств автоматизации. Если необходимо, то обосновывают разработку новых приборов и средств автоматизации, перечень которых составляют по определенной форме. Здесь же обосновывают виды и типы примененных щитов и пультов, излагают требования к нестандартному оборудованию, необходимому для автоматизации объекта.

5. Обеспечение энергоресурсами и выполнение требований, связанных с системой автоматического управления. Этот раздел должен содержать сведения по обеспечению систем автоматизации источниками питания электроэнергией, сжатым воздухом и т. п., а также перечень заданий на строительные, сантехнические и другие работы, вызванные автоматизацией объекта.

6. Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и экспериментальные работы. Здесь перечисляют работы, которые необходимо провести в связи с разработкой новых систем автоматизации технологических процессов и в соответствии с принятыми проектными решениями. Перечень этих работ составляют по установленной форме [26].

7. Указания по подготовке к реализации проекта. В этом разделе показано, в каком порядке следует комплектовать объект запроектированными приборами, средствами автоматизации, щитами и пультами, а также необходимыми материалами.

8. Техничко-экономическое обоснование и сметная стоимость капитальных затрат, в котором приводят данные по технико-экономической эффективности, экономической целесообразности капиталовложений на автоматизацию, о сроках окупаемости затрат и т. п.

В приложениях к пояснительной записке помещают

копии технического задания, протоколов согласования и других документов, которые явились основанием для разработки проекта.

• *Пояснительная записка к рабочим чертежам* состоит из следующих основных разделов:

1. Общая часть.
2. Характеристика объекта автоматизации.
3. Решения по автоматизации производственных процессов.
4. Задания на дополнительные проектные и другие работы, связанные с автоматизацией.
5. Краткие пояснения к монтажным чертежам.
6. Указания по реализации проекта.
7. Приложения.

Все разделы пояснительной записки к рабочим чертежам, кроме пояснений к монтажным чертежам, составляют аналогично соответствующим разделам пояснительной записки к техническому проекту, но с учетом дополнений и изменений, появившихся при обсуждении и согласовании технического проекта.

Дополнительно излагают результаты проведенных научно-исследовательских и экспериментальных работ и как они использованы при разработке рабочих чертежей. Приводят также исходные данные и результаты расчетов устройств и систем автоматизации, не поставляемых промышленностью.

В разделе «Краткие пояснения к монтажным чертежам» помещают материалы, поясняющие разработанные рабочие чертежи. Эти пояснения состоят в расшифровке особенностей прокладки проводов, установки щитов, пультов, приборов и средств автоматизации, вызванных спецификой проектируемого объекта или же требованиями заводов-изготовителей, выпускающих специальные приборы и средства автоматизации. Пояснения могут касаться вопросов внедрения передовых методов монтажных работ, применения специальных монтажных материалов, инструментов и изделий.

*Пояснительная записка к технорабочему проекту* (при одностадийном проектировании) в общем случае должна состоять из следующих разделов:

1. Общая часть.
2. Характеристика объекта автоматизации.
3. Решения по автоматизации технологических процессов.

4. Материально-технические средства автоматизации.  
5. Обеспечение энергоресурсами и выполнение требований, связанных с системой автоматического управления.

6. Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и экспериментальные работы.

7. Краткие пояснения к монтажным чертежам.

8. Техничко-экономическое обоснование.

9. Сметы.

10. Указания по реализации проекта.

В конце записки помещаются приложения.

Содержание разделов пояснительной записки должно быть аналогичным содержанию пояснительных записок к проектам при двухстадийном проектировании.

*Заявочные ведомости на приборы, оборудование и монтажные материалы* оформляют на стадии «Технический проект». Их составляют по установленной форме [26]. В ведомостях, представляющих собой укрупненный перечень потребного оборудования и материалов для автоматизации объекта, указывают основные технические характеристики и стоимости потребных приборов, оборудования и материалов. Эти сведения должны быть достаточными для определения сметной стоимости оборудования и монтажа установки.

*Заказные спецификации* являются более детальным документом по характеристикам и затратам на приборы, оборудование и материалы. Их разрабатывают на стадии рабочих чертежей или технорабочего проекта. Приводимые данные должны быть достаточными не только для определения сметной стоимости, но и для оформления заказов на оборудование и материалы. Заказные спецификации составляют по установленной форме [26] на основании данных, приводимых в каталогах, номенклатурных справочниках, прейскурантах и других официальных документах.

Заявочные ведомости и заказные спецификации составляют на приборы и средства автоматизации, электрооборудование систем автоматизации, щиты и пульты, трубопроводную арматуру, основные монтажные материалы и конструкции, а также на нестандартное оборудование, необходимое для осуществления проекта автоматизации объекта. Чтобы удобно было пользоваться, эти документы составляют по группам технических средств и материалов.

*Опросные листы* являются специальными дополнительными документами к заказной спецификации приборов и средств автоматизации [26]. В них приводятся дополнительные сведения и требования для заказа и изготовления соответствующих приборов и средств автоматизации. Листы составляют по унифицированным для всех заводов-изготовителей формам (УОЛ-1—74... УОЛ-5 — 74).

*Техническое задание на разработку новых средств автоматизации* составляют в виде тематической карточки по установленной форме [26]. В ней указывают организацию-заказчик и организацию-разработчик, наименование темы, цель и назначение разработки, аналогичные изделия, выпускаемые в нашей стране и за рубежом, технико-экономическое обоснование разработки, расчетную стоимость изделия, сроки окончания работ, чем должна заканчиваться разработка и др.

*Задания на проектирование систем и сооружений*, обеспечивающих нормальный монтаж, наладку и эксплуатацию систем автоматизации, формулируют смежным проектным отделам и организациям. Задания должны содержать достаточно полные сведения для полноценного проектирования и выполнения соответствующих систем и сооружений.

Например, задание на обеспечение системы автоматизации электроэнергией должно включать в себя следующие данные:

1. Род тока.
2. Частоту, Гц.
3. Напряжение, В.
4. Допустимые отклонения напряжения и частоты.
5. Потребляемую мощность, кВт.
6. Число вводов.
7. Мощность на каждом вводе.
8. Место установки потребителей электроэнергии (план объекта с размещением электроприемников).
9. Дополнительные требования к схеме питающей сети, к резервированию питания (например, питание от независимых источников), к способам прокладки питающих кабелей, их маркам и т. п.

*В задании на проектирование щитовых помещений* должны быть указаны:

1. Потребные площади.
2. Высота помещения.

3. Размеры дверных проемов и проходов к помещениям.
4. Нагрузки на перекрытия.
5. Требования к естественной освещенности.
6. Условия размещения в производственных помещениях средств автоматизации.
7. Требования к строительным конструкциям с точки зрения недопущения больших шумов, вибраций, влияния магнитных полей и т. п.
8. Схема планировки помещений.
9. План помещений с фундаментами, предназначенными для установки щитов, пультов, вычислительных управляющих машин и т. п.
10. Рекомендации по окраске помещений и настилу полов.

#### **1.4. СХЕМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОЕКТАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В проектах автоматизации технологических процессов наиболее распространены следующие типы схем в зависимости от основного назначения: структурные; функциональные; принципиальные; схемы соединений (монтажные); схемы подключений (схемы внешних соединений).

В зависимости от видов элементов и связей, применяемых в схемах, принципиальные схемы подразделяются на: электрические, пневматические, гидравлические, комбинированные.

Эту классификацию, а также определения разных схем устанавливает ГОСТ 2.701—76 «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению».

**Структурные схемы управления** определяют основные функциональные части системы управления, их назначение и взаимные связи. После определения системных элементов определяют системы контроля технологическими процессами данных элементов. Структурные схемы определяют взаимные связи между элементами управления (агрегативными, исполнительными и т. п.), оперативными группами технологического оборудования. Структурные схемы определяют сущность управления объектом.

Структурные схемы в виде прямоугольников и оvals обозначают основные подразделения автома-

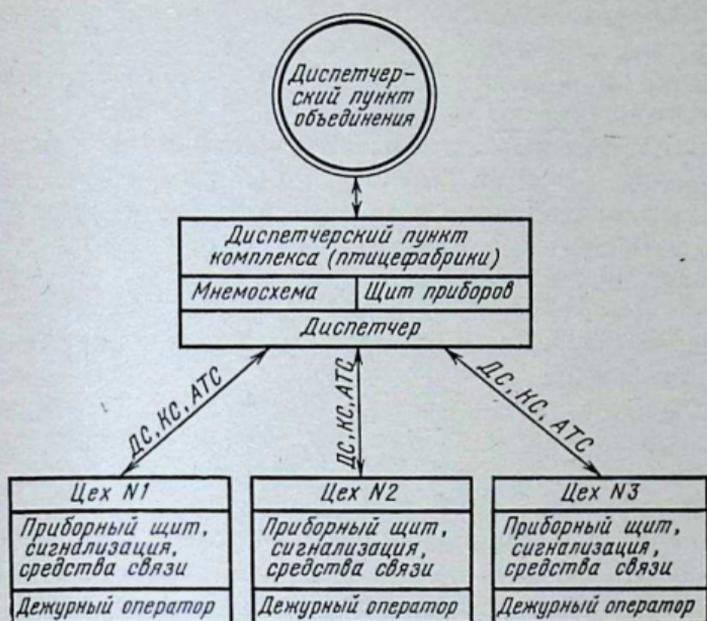


Рис. 1. Структурная схема управления на животноводческом комплексе (птицефабрике).

тизируемого объекта (цехи, участки, агрегаты, поточные линии и т. п.) с указанием их наименования, местные щиты и пульты управления и контроля, центральные диспетчерские пункты управления и контроля, основные узлы систем управления (датчики, исполнительные устройства, подсистемы контроля, сигнализации и т. п.), вычислительные комплексы и линии связи между отдельными элементами системы управления с указанием (стрелкой) направления передачи информации или воздействий. Иногда линии связи помечаются большими буквами русского алфавита, обозначающими вид связи, например, К — контроль, С — сигнализация, ДУ — дистанционное управление, ДС — диспетчерская связь, АТС — автоматическая телефонная связь, ТУ, ТИ, ТС — соответственно телеуправление, измерение, сигнализация и т. п. (пример структурной схемы управления приведен на рисунке 1).

Структурные схемы разрабатывают на стадии «Технический проект» при двухстадийном проектировании. Они являются принципиальной основой для проектирования систем и схем автоматизации данного объекта.

Для простых объектов допускается не разрабатывать структурные схемы управления, но в этом случае в пояснительной записке необходимо давать соответствующее пояснение структуры управления.

**Функциональные схемы автоматизации** являются техническим документом, разъясняющим определенные процессы, протекающие в системе, определяющим структуру и уровень автоматизации технологического процесса (оснащение приборами и средствами автоматизации, организация пунктов контроля, защиты и управления, оснащение средствами сбора, обработки и передачи информации и т. п.).

На функциональной схеме могут быть изображены автоматическая система в целом, управляющие устройства системы или отдельные функциональные блоки.

Функциональные схемы автоматизации связаны непосредственно с технологией производства и технологическим оборудованием и, как правило, показываются на схеме размещения технологического оборудования (технологической схеме).

Технологическое оборудование на функциональных схемах должно соответствовать своей действительной конфигурации, но изображаться упрощенно (без соблюдения масштаба, без изображения второстепенных конструктивных деталей и других подробностей). Кроме технологического оборудования, на функциональных схемах изображают технологические трубопроводы (воды пара, воздуха, азота, кислорода, аммиака, кислоты, щелочи, масла, вакуум-проводы и т. п.). Изображение технологического оборудования и трубопроводов должно показывать их взаимное расположение, взаимосвязи между ними и взаимодействие с приборами и средствами автоматизации.

При однолинейном изображении трубопроводов вид передаваемой среды (вода, пар, воздух и т. п.) обозначают цифрами в соответствии с ГОСТ 3464—63 (табл. 1). При наличии в трубопроводах нескольких сред одного наименования к цифровому обозначению часто добавляют букву. Например, пар обозначают цифрой 2, пар насыщенный — 2н, а пар перегретый — 2п и т. п.

Трубопроводы иногда изображают в две линии. В этом случае промежуток между линиями закрашивают в цвета по ГОСТ 3464—63 (табл. 1).

До 1979 г. приборы и средства автоматизации на

Таблица 1. Условные обозначения трубопроводов для жидкостей и газов (ГОСТ 3464—63)

Содержимое трубопроводов	Условное обозначение на схемах	Цвет на мнемосхемах
Жидкость или газ, преобладающие в данном проекте	—	Красный, черный
Вода,	—1 —1 —	Зеленый
Пар	—2 —2 —	Розовый
Воздух	—3 —3 —	Голубой
Азот	—4 —4 —	Темно-желтый
Кислород	—5 —5 —	Синий
Аммиак	—11 —11 —	Серый
Кислота (окислитель)	—12 —12 —	Оливковый
Щелочь	—13 —13 —	Серо-коричневый
Масло	—14 —14 —	Коричневый
Жидкое горючее	—15 —15 —	Желтый
Противопожарный трубопровод	—26 —26 —	Красный
Трубопровод под разрезением	—27 —27 —	Светло-серый

функциональных схемах изображали по ГОСТ 3925—59. В настоящее время входит в силу отраслевой стандарт Министерства монтажных и специальных строительных работ СССР ОСТ 36-27—77 «Приборы и средства автоматизации». Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов». Система условных обозначений, изложенная в этом стандарте, основана на рекомендациях по стандартизации Совета Экономической Взаимопомощи РС 4388—74 и аналогична системам условных обозначений, применяемым во многих странах мира как социалистических, так и капиталистических (США, Англия, Япония).

Согласно ОСТ 36-27—77, применяют три группы обозначений (приложение 3): окружностью обозначаются первичные измерительные преобразователи (датчики) и приборы, в том числе измерительные, регулирующие, контролируемые и сигнализирующие; квадратом — исполнительные механизмы и в виде двух треугольников, сложенных вершинами, — регулирующие органы.

По виду измеряемой величины и функциональному назначению приборы различают при помощи системы буквенных обозначений, вписываемых внутри условного обозначения прибора. Для этого используют прописные

№ Таблица 2. Буквенные обозначения на функциональных схемах автоматизации (ОСТ 36-27-77)

Обозначение	Измеряемая величина			Функ ции, выполняемые прибором		
	основное значение первой буквы	дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы		отображение информации	формирование выходного сигнала	дополнительное значение
A	—	—	—	Сигнализация <sup>1</sup>	—	—
B	—	—	—	—	—	—
C	—	—	—	—	Регулирование, управление	—
D	Плотность	—	Разность, перепад <sup>6</sup>	—	—	—
E	Любая электрическая величина <sup>2</sup>	—	—	—	—	—
F	Расход	—	Соотношение, доля <sup>6</sup> , дробь	—	—	—
G	Размер, положение, перемещение	—	—	—	—	—
H	Ручное воздействие	—	—	—	—	Верхний предел измеряемой величины

I	—	—	Автоматическое переключение, обегание	Показание	—	—
J	—	—	—	—	—	—
K	Время, временная про- грамма	—	—	—	—	—
L	Уровень	—	—	—	—	Нижний предел измеряемой величины
M	Влажность	—	—	—	—	—
N	—	—	—	—	—	—
O	—	—	—	—	—	—
P	Давление, вакуум	—	—	—	—	—
Q	Величина, характеризую- щая качество, состав, концентрацию и т. п. <sup>2</sup>	—	Интегрирование, суммирование по времени <sup>6</sup>	—	—	—
R	Радиоактивность <sup>3</sup>	—	—	Регистрация	—	—
S	Скорость, частота	—	—	—	—	Включение, отклю- чение, переключе- ние <sup>1</sup>
T	Температура	—	—	—	—	—
				Дистанционная пе- редача информа- ции	—	—

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	отображение информации	формирование выходного сигнала	дополнительное значение
U	Несколько разнородных измеряемых величин <sup>1</sup>	—	—	—	—
V	Вязкость	—	—	—	—
W	Масса	—	—	—	—
X	Нерекомендуемая резервная буква <sup>2</sup>	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—
Z	—	—	—	—	—

Примечания. 1. Букву A применяют для обозначения функции «Сигнализация» независимо от того, вынесена ли сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используют лампы, встроены в сам прибор.

Сигнализируемые предельные значения измеряемых величин следует конкретизировать добавлением букв H и L. Эти буквы наносят вне графического обозначения справа от него.

Букву S используют для обозначения контактного устройства прибора, применяемого только для включения, отключения, блокировки и т. д.

При использовании контактного устройства прибора для включения и одновременно для сигнализации следует применять в обозначении обе буквы: S и A.

Буквой S не следует обозначать функцию регулирования (в том числе позиционного).

2. Для конкретизации измеряемой величины около изображения прибора необходимо указывать наименование или символ измеряемой величины, например, напряжение, сила тока, pH и т. д.

3. Если необходимо, то около изображения прибора допускается несколько разнородных величин. Подробная расшифровка измеряемой величины должна быть приведена около прибора или на поле чертежа.

4. Букву U можно использовать для обозначения прибора, измеряющего несколько разнородных величин. Подробная расшифровка обозначения величины, не предусмотренной данным стандартом, можно использовать резервные буквы. При этом многократно применяемые величины следует обозначать одной и той же буквой. Для одноразового или редкого применения можно использовать букву X. Буквенные резервные обозначения должны быть расшифрованы на чертеже. Не допускается в одной и той же документации использовать одну и ту же резервную букву для обозначения разных величин.

6. Для обозначения дополнительных значений D, F, Q допускается применять строчные буквы d, f, q.

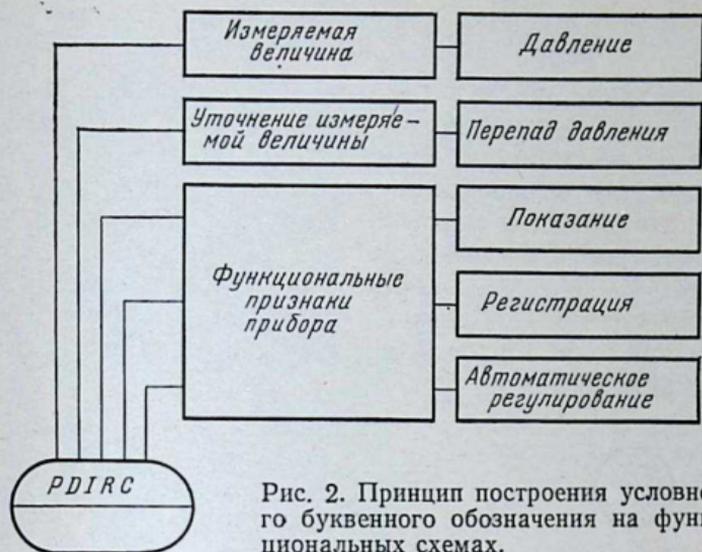


Рис. 2. Принцип построения условного буквенного обозначения на функциональных схемах.

буквы латинского алфавита (табл. 2). Причем эти буквы применяют как для обозначения измеряемой величины (температура  $T$ , давление  $P$ , масса  $W$ , влажность  $M$ , уровень  $L$ , расход  $F$ , радиоактивность  $R$ , частота  $S$  и т. д.), так и для обозначения функционального признака прибора (сигнализация  $A$ , регулирование  $C$ , показание  $J$ , нижний предел измеряемой величины  $L$ , включение, отключение, переключение  $S$ , регистрация  $R$  и т. д.). Значение буквенного символа зависит от места его расположения в буквенном обозначении.

Буквенное обозначение приборов автоматизации строится в соответствии со схемой (рис. 2).

Первая буква во всех обозначениях означает измеряемую величину. Иногда и вторая буква относится к измеряемой величине как уточняющая или дополняющая характер измерения (соотношение, суммирование, интегрирование и т. п.).

Следующие буквы означают функциональный признак прибора. Причем устанавливается такая последовательность расположения этих букв  $JRCSA$  (показание — регистрация — регулирование или управление — включение, отключение, переключение — сигнализация). Допускается указывать только те функциональные признаки, которые используют в данной схеме автоматики. Например, приборы давления, показывающие и самопишущие,

можно обозначать только как самопишущие ( $PR$  вместо  $PJR$ ).

Кроме указанных в таблице 2 буквенных условных обозначений, применяют дополнительные условные буквенные обозначения  $E, T, K, Y$ . При этом букву  $E$  используют для обозначения первичного преобразования (чувствительных элементов), букву  $T$  — для обозначения промежуточного преобразования, дистанционной передачи, букву  $K$  — для обозначения приборов, имеющих станцию управления, а букву  $Y$  — при построении условных обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств.

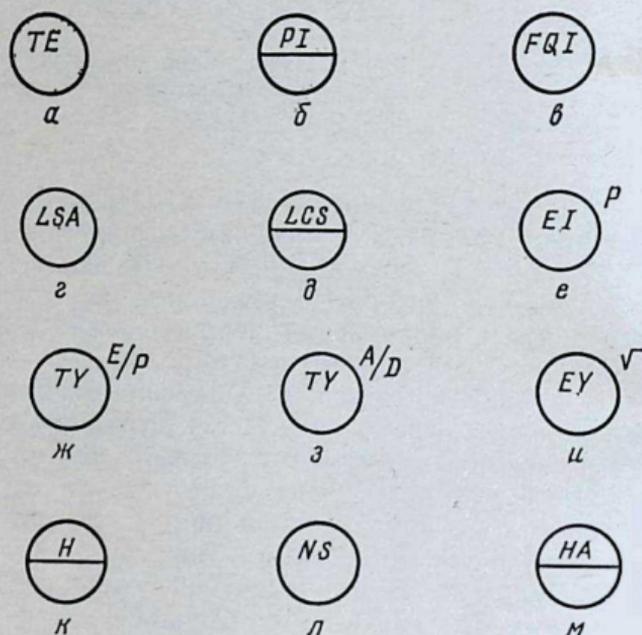


Рис. 3. Примеры условных обозначений на функциональных схемах

$a$  — первичный измерительный преобразователь для измерения температуры установленный по месту (например, термометр сопротивления);  $б$  — прибор для измерения давления показывающий, установленный на щите (например, манометр);  $в$  — прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту (например, расходомер);  $г$  — прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту;  $д$  — прибор для измерения уровня бесконтактный регулирующий с контактным устройством, установленный на щите;  $е$  — прибор для измерения электрической мощности показывающий, установленный по месту;  $ж$  — электрический преобразователь температуры;  $з$  — преобразователь аналогового сигнала в дискретный при измерении температуры;  $и$  — вычислительное устройство, выполняющее операцию извлечения квадратного корня (например, при измерении расхода);  $к$  — аппаратура для ручного дистанционного управления на щите;  $л$  — пусковая аппаратура для управления электродвигателем;  $м$  — аппаратура для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации.

Порядок построения условных буквенных обозначений с применением дополнительных букв следующий: на первом месте ставят букву, означающую измеряемую величину; на втором — дополнительные буквы: *E*, *T*, *K*, *У*. Например, *TE* — первичный измерительный преобразователь температуры, *PT* — бесшкальный прибор давления с дистанционной передачей показаний и т. п.

Примеры условных обозначений приборов и средств автоматизации на функциональных схемах показаны на рисунках 3, 4. На рисунке 5 в качестве примера приведена функциональная схема автоматизации отопительно-вентиляционного оборудования овощехранилища.

При построении условных обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств применяют дополнительные буквенные обозначения, расшифровывающие вид преобразования или операции, выполняемой вычислительным устройством. Род энергии сигнала обозначается буквами: *E* — электрический, *P* — пневматический, *G* — гидравлический. Виды форм сигнала: *A* — аналоговый, *D* — дискретный. Эти буквы наносят вне пределов графического обозначения прибора, справа от него (рис. 3, *ж*).

Для обозначения операций, выполняемых вычислительными устройствами, применяют математические знаки суммирования, умножения, деления, извлечения корня, возведения в степень, дифференцирования, интегрирования и другие, помещаемые справа от графического обозначения прибора (рис. 3, *и*).

Принципиальные электрические схемы автоматизации являются проектным документом, определяющим полный состав электрических элементов и связей между ни-

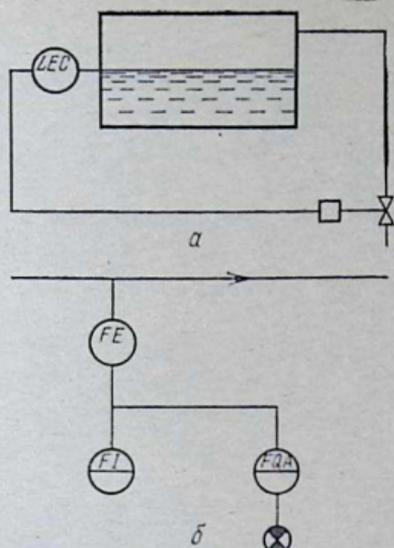


Рис. 4. Примеры построения функциональных схем автоматизации:

*a* — схема автоматического регулирования уровня воды в водонапорном баке; *b* — схема измерения расхода с преобразователем, установленным на трубопроводе, с показывающим прибором на щите и с интегрирующим и сигнализирующим прибором на щите.

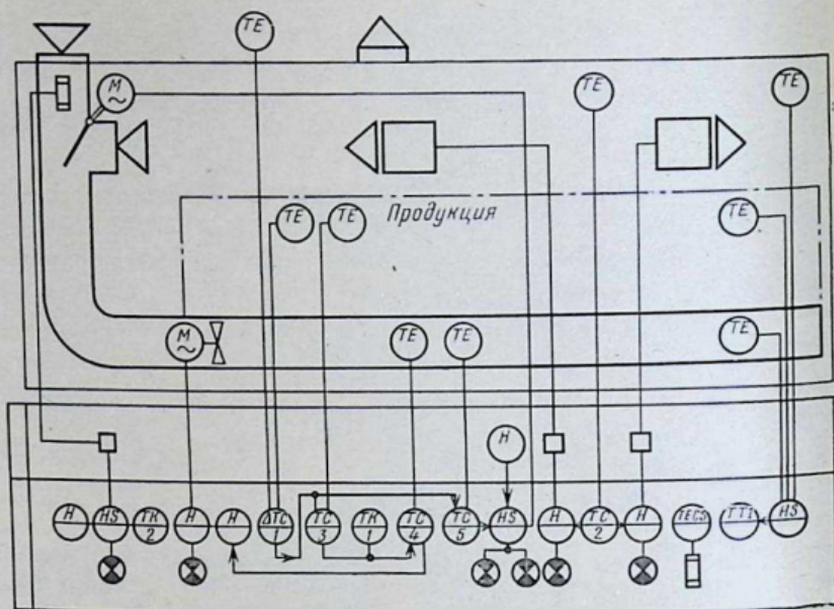


Рис. 5. Функциональная схема автоматизации отопительно-вентиляционного оборудования овощехранилища.

ми, а также дающим детальное представление о принципах работы схемы.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки других чертежей и документов проекта, для составления заказных спецификаций, а также при наладке и эксплуатации автоматических систем. Эти схемы разрабатывают в соответствии с техническим заданием и на основании принятых и запроектированных в функциональных схемах решений.

Принципиальные схемы должны содержать элементарные схемы контроля, управления, регулирования, блокировок, защит и сигнализации с таблицами пояснений; диаграммы замыкания контактов ключей, приборов и аппаратов; контакты, занятые в других схемах; перечень аппаратуры; общие замечания к схемам. Схемы главных (силовых) цепей можно не показывать, но необходимо делать ссылки на чертежи, на которых они показаны.

Текстовый материал на принципиальных электрических схемах приводится кратким, четко сформулированным и исключая возможность различных толкова-

ний. Для сложных схем допускается приводить краткие пояснения работы схемы (или ее узла), изображенной на чертеже.

Лист со схемами рекомендуется заполнять следующим образом. В левой части листа целесообразно располагать основную схему, затем графический материал, поясняющий действие схемы (циклограммы, диаграммы замыкания контактов и т. п.), а в правой части — текстовой материал.

Принципиальные электрические схемы необходимо изображать в соответствии с требованиями ГОСТ 2.702—75 «ЕСКД. Правила выполнения электрических схем».

При выполнении принципиальных схем рекомендуется пользоваться строчным методом. При этом условные графические обозначения элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно один за другим по прямой, а отдельные цепи — рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки.

Условные графические обозначения элементов на принципиальных электрических схемах изображаются по ГОСТу (приложение 2).

Все аппараты (реле, контакты, кнопки и ключи управления, автоматические выключатели, переключатели цепей и т. п.) на электрических схемах следует изображать, как правило, в отключенном положении, то есть при отсутствии напряжения во всех цепях схемы и отсутствии внешних механических воздействий на аппараты. В соответствии с этим правилом контакты электрических аппаратов при невозбужденном аппарате и отсутствии внешнего механического воздействия изображаются как замыкающие (з) — разомкнутые и размыкающие (р) — замкнутые. Аппараты, не имеющие отключенного положения (путевые и конечные выключатели и т. п.), показывают на схеме в одном из положений, принимаемом за исходное.

Для обозначения положения контактов многопозиционных аппаратов и устройств ключей и переключателей управления, программных реле и др. часто используют специальные диаграммы, которые указывают состояние контактов при различных положениях подвижной части аппаратов.

Контакты реле, контакторов, кнопочных переключателей изображают таким образом, чтобы сила, необходи-

мая для срабатывания, действовала на подвижный контакт сверху вниз при горизонтальном изображении цепей схемы и слева направо при вертикальном изображении.

Толщина линий электрической связи между элементами схемы допускается в пределах 0,2...0,6 мм, а рекомендуется — 0,3...0,4 мм.

Все аппараты и элементы при разработке схемы должны получать схемное или позиционное обозначение (маркировку), причем обозначение, присвоенное какому-либо аппарату, сохраняется для всех его элементов, например катушек контактов и т. п.

Система маркировок должна не только устанавливать принадлежность отдельных элементов к тому или иному аппарату или прибору, но и различать однотипную аппаратуру, имеющуюся в данной схеме, например, несколько контакторов, реле, ключей управления и т. п.

Принципиальные электрические схемы разрабатывают обычно в такой последовательности:

1. На основании функциональной схемы автоматизации составляют технические требования к принципиальной электрической схеме.

2. Применительно к этим требованиям определяют условия и устанавливают последовательность действия элементов схемы.

3. Каждое из заданных условий действия схемы изображают в виде тех или иных элементарных цепей, отвечающих данному условию действия.

4. Элементарные цепи объединяют в общую схему.

5. Выбирают аппаратуру, рассчитывают ее электрические параметры и выбирают отдельные элементы схемы (сопротивления обмоток реле и резисторов, емкость конденсаторов, значение нагрузки контактов, токи срабатывания защитных устройств и т. п.).

6. Рассматривают возможные варианты решения и принимают окончательную схему применительно к имеющейся аппаратуре.

7. Схему корректируют в соответствии с возможностями принятой аппаратуры.

8. Проверяют схему с точки зрения возможности возникновения ложных цепей или ее неправильной работы при повреждениях элементарных цепей или контактов.

При разработке сложных электрических схем, помимо проектной проработки и выполнения расчетов, проводят всестороннюю экспериментальную проверку и отладку разработанной схемы на макете или на опытной установке. Экспериментальная проверка особенно необходима в тех случаях, когда схему составляют на новых элементах, например на бесконтактных логических элементах, на интегральных микросхемах и т. п.

Необходимо отметить, что процесс разработки принципиальных электрических схем в значительной мере зависит от опыта и интуиции разработчика. Опыт позволяет находить для данного конкретного случая типовые, стандартные решения, а интуиция — находить новые. Поскольку стандартных решений может быть несколько, возникают различные варианты выполнения одной схемы автоматического управления, регулирования, контроля и сигнализации. После всестороннего анализа и оценки выбирают оптимальный вариант.

Наряду с «интуитивным» методом разработки принципиальных схем в последние годы начинают применять аналитические методы синтеза автоматических систем, основанные на применении алгебры логики. Эти методы применимы для схем как на релейно-контактных, так и на бесконтактных логических элементах, а также на интегральных микромодулях [21, 66].

При разработке принципиальных электрических схем аппараты и элементы обозначают буквенно-цифровыми символами. Буквенные обозначения составляют, как правило, из букв русского алфавита (из первых и характерных букв наименований аппаратов). При этом первые буквы наименований записывают в обозначении прописными буквами, а характерные буквы — строчными, например: *КУ* — ключ управления; *Др* — дроссель; *Сс* — сельсин. Исключения составляют электроизмерительные приборы, а также резисторы и конденсаторы, для обозначения которых применяют буквы латинского и греческого алфавита, например: *С* — конденсатор; *R* — резистор; *L* — катушка индуктивности; *D* — логические элементы; *A* — амперметр; *V* — вольтметр;  $\varphi$  — фазометр и т. п.

Если необходимо, то обозначения приборов и аппаратов иногда дополняют буквами, характеризующими функциональное назначение данного аппарата, например: *Кн* — кнопка (общее обозначение); *КнП* — кнопка

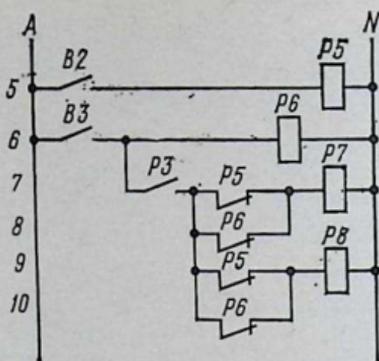


Рис. 6. Фрагмент принципиальной электрической схемы.

числу знаков (цифр, букв) в обозначении любого аппарата электрической схемы.

Обозначение аппаратов и их элементов на принципиальных электрических схемах проставляют, как правило, следующим образом:

при горизонтальном изображении электрических цепей — над графическим изображением аппаратов и их элементов;

при вертикальном изображении цепей — справа от графических изображений аппаратов и их элементов;

для вращающихся машин (электродвигателей, генераторов и др.) — внутри их графических обозначений.

Пример изображения принципиальной электрической схемы автоматизации показан на рисунке 6.

Чтобы облегчить понимание принципиальных электрических схем, их иногда разбивают на функциональные участки и сбоку делают надписи, поясняющие функциональное назначение цепи или указывающие, к какой системе управления технологическим оборудованием принадлежит цепь (рис. 7).

В схемах, кроме позиционных обозначений элементов, применяют буквенно-цифровую маркировку электрических цепей. Ее выполняют в соответствии с ГОСТ 2.709-72 «ЕСКД. Система маркировки цепей в электрических схемах» (рис. 8).

Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле, приборов, машин, резисторами, конденсаторами и другими элементами цепи, должны иметь разную маркировку.

«Пуск»;  $P$  — реле (общее обозначение);  $PВ$  — реле времени;  $PП$  — реле промежуточное;  $PД$  — реле давления и т. д.

При наличии в схеме нескольких аппаратов с одинаковыми буквенными обозначениями после букв ставят порядковый номер аппарата, например  $P1$ ,  $P2$ ,  $P3$  и т. д.

Во всех случаях следует стремиться к минимальному

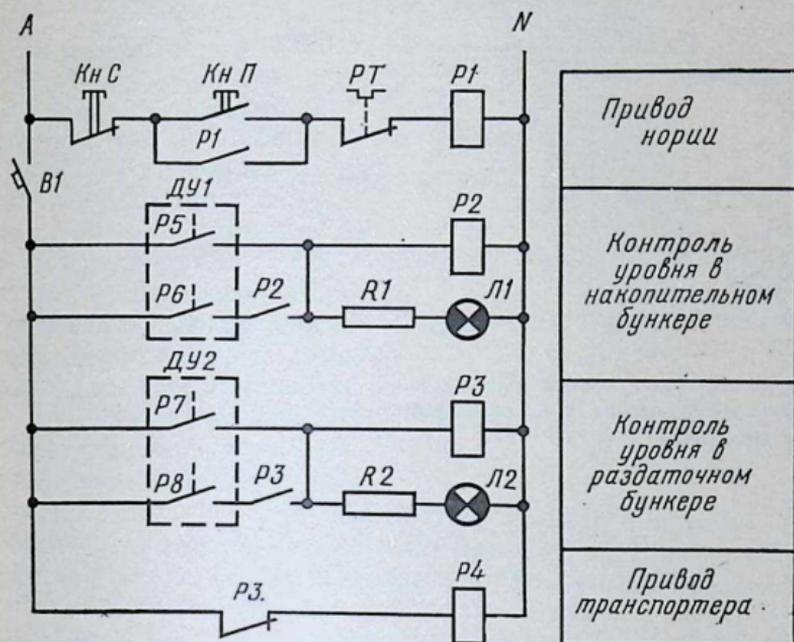


Рис 7. Принципиальная электрическая схема транспортирования и дозирования концентрированных кормов на ферме КРС.

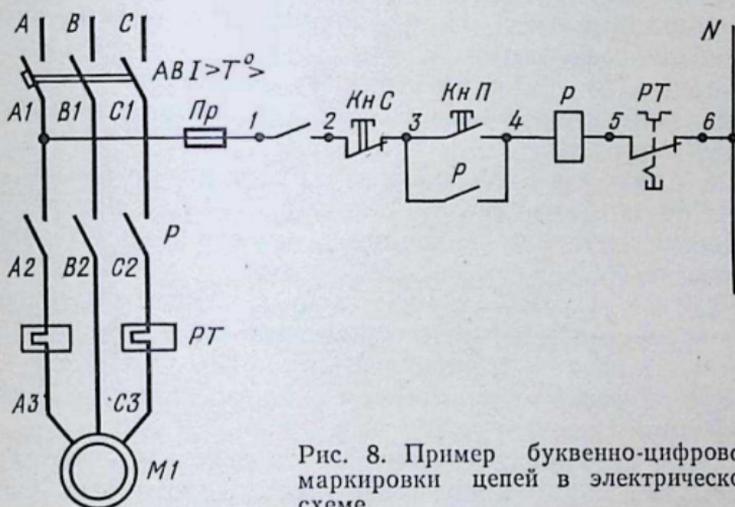


Рис. 8. Пример буквенно-цифровой маркировки цепей в электрической схеме.

УП5311С23								
№ секции	№ конт.		-45°		0°		+45°	
	л	п	л	п	л	п	л	п
I	1	2					⊗	⊗
II	3	4	⊗	⊗				
Выбор режима работы			Дистанционное ручное управление		Выключение		Автоматическое	

Рис. 9. Пример изображения диаграммы замыкания контактов универсального переключателя.

Последовательность маркировки должна начинаться от источника питания и идти к потребителю, а входящие участвующие элементы при маркировке нумеруются сверху вниз в направлении направо.

В зависимости от функционального назначения разные цепи электрической схемы обозначают определенными цифрами и буквами (табл. 3).

Логические элементы на принципиальных схемах изображают по ГОСТ 2.743—72.

На рисунке 9 показан пример изображения диаграммы замыкания контактов универсального переключателя.

Данные об элементах схем, изображенных на рисунке, должны быть занесены в перечень элементов. Этот перечень оформляют в виде таблицы (рис. 10).

Принципиальные схемы, кроме самостоятельных, имеют практического значения (для наладки, проверки, регулировки автоматических устройств и систем), следовательно, являются основанием для разработки другой технической документации, в частности схем соединений (монтажных схем) чертежей щитов, пультов, станций управления и т. п.

**Принципиальные гидравлические и пневматические схемы автоматизации.** К этим схемам относятся схемы автоматического управления, регулирования, блокировки, защиты и сигнализации, выполненные на элементах гидравлики и пневмоавтоматики.

На принципиальных схемах изображают все гидравлические (пневматические) элементы или устройства, входящие в систему (изделие), и все гидравлические (пневматические) связи между ними.

На схемах как условные графические обозначения элементов, так и буквенные позиционные обозначения приводят в соответствии с требованиями ГОСТ 2.704—72 «ЕСКД. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем».

**Схемы соединений (монтажные схемы)** — это схемы, на которых изображают соединения составных частей

Таблица 3. Рекомендуемые группы чисел для маркировки электрических цепей

Наименование цепей	Группа чисел	
	основная	резервная
Цепи управления, регулирования, измерения	1...399	1001...1399, 2001...2399 и т. д.
Цепи сигнализации	400...799	1400...1799, 2400...2799 и т. д.
Цепи питания	800...999	1800...1999, 2800...2999 и т. д.

автоматизированной установки или изделия, а также показывают провода, кабели, жгуты или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения.

Схемами соединений (монтажными) пользуются при выполнении монтажных и наладочных работ на объекте, а также в процессе эксплуатации. Они необходимы и при разработке других проектных и конструкторских документов, в первую очередь чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов.

Применяют три основных способа составления электрических схем соединения: *графический, адресный и табличный*.

*Графический способ* заключается в том, что на схеме соединений условными линиями показывают всю соединительную проводку как одиночную, так и объединяемую в пакеты и жгуты. Маркировка на схеме соединения должна соответствовать маркировке на принципиальной

185			
Позиц. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
R1	МЛТ-0,5-300 кОм ± 5% ГОСТ 7113-66	1	
R5, R6	ОМЛТ-0,5-910 кОм ± 10% ГОСТ 7113-66	2	

Рис. 10. Форма таблицы для перечня элементов.

электрической схеме, на основании которой разрабатывают схему соединений. Графический способ составления схем соединений применяют для щитов и пультов управления с простой коммутацией, относительно мало насыщенных аппаратурой и приборами.

Схемы трубных проводок выполняют только графическим способом. Если на одном щите или пульте прокладывают трубы из разного материала (стальные, медные, пластмассовые), то и условные обозначения применяют различные (сплошные линии, штриховые, штриховые с двумя точками и т. д.).

*Адресный способ изображения схем соединений*, который иногда называют еще «встречным», состоит в том, что линии связи между отдельными элементами и аппаратами, установленными на щите или пульте, не изображают. Вместо этого 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 (рис. 11). Такое начертание схемы не загромождает чертеж линиями связи и легко читается.

При составлении схемы соединений адресным способом на чертеже необходимо соблюдать взаимное расположение элементов, приборов и аппаратов, принятое на чертеже общего вида этих конструкций. При наличии приборов и аппаратов на нескольких элементах конструкции (крышке, дверях, боковых стенках) выполняется развертка этих элементов в одну плоскость с соблюдением их взаимного расположения, пропорции и изображения установленных на них приборов и аппаратов.

В настоящее время адресный способ выполнения схем соединений является основным и наиболее распространенным.

*Табличный способ* характеризуется тем, что вместо схем соединений составляют монтажную таблицу, в нее по определенной форме записывают номера каждой электрической цепи и последовательно перечисляют условные буквенно-цифровые обозначения всех приборов, аппаратов и их контактов, к которым эти цепи присоединяются. Маркировка всех цепей, приборов, аппаратов и их контактов должна полностью соответствовать обозначениям, присвоенным им на принципиальных электрических схемах. Например, запись  $K3/1-C2/3-P4/2$  означает, что зажим 1 прибора  $K3$  должен быть соединен с зажи-

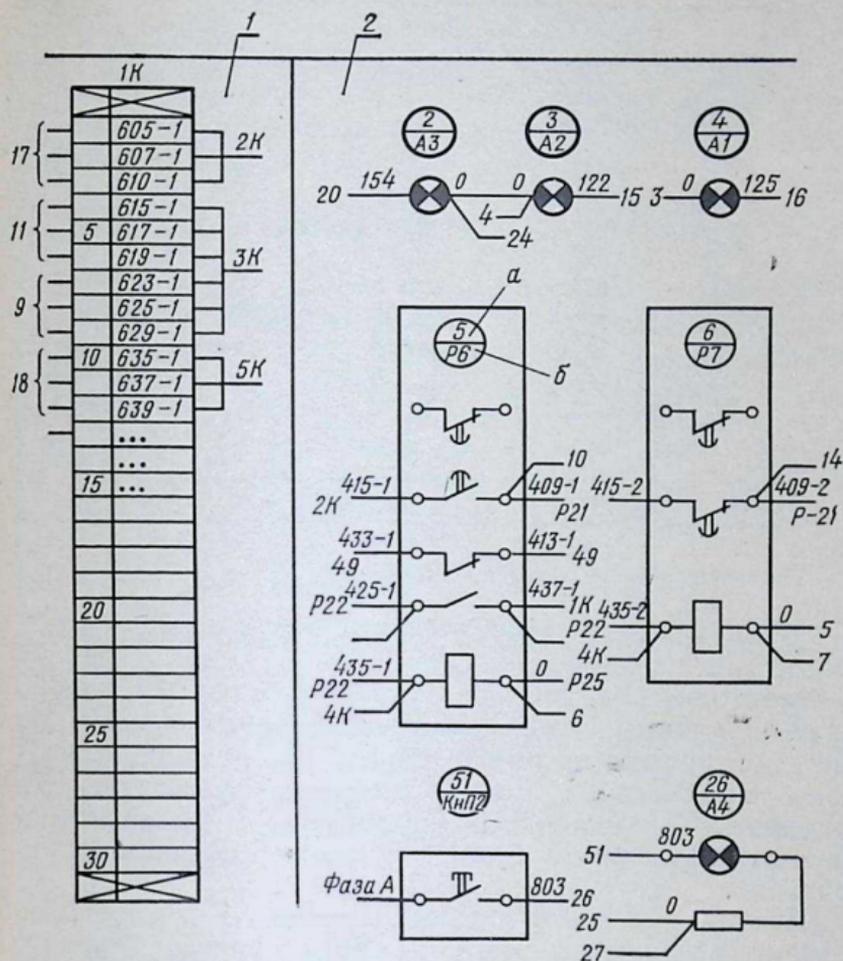


Рис. 11. Пример изображения схемы соединений:

1 — левая боковая стенка щита; 2 — дверь щита (вид со стороны монтажа);  
 а — порядковый номер элемента схемы; б — позиционное обозначение элемента на принципиальной схеме.

мом 3 сборки С2, который, в свою очередь, соединяется с зажимом 2 аппарата Р4.

**Схемами подключений** называют схемы, показывающие внешние подключения аппаратов, установок, щитов, пультов и т. д.

Схемы подключений используют при монтаже проводов, при помощи которых установка, прибор, аппарат подключаются к источникам питания, щитам, пультам и т. п.

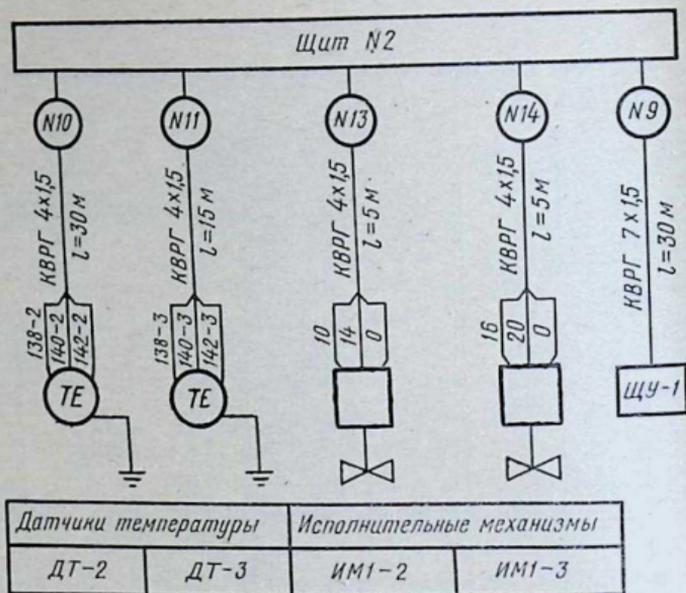


Рис. 12. Пример изображения схемы подключений.

Электрические связи на схемах подключений изображают сплошными линиями. Для сокращения числа линий многопроводные линии одного назначения изображают одной линией, и лишь в местах присоединения к приборам, исполнительным механизмам и аппаратам провода разделяют, чтобы показать их маркировку (рис. 12).

Щафы, пульты, отдельные приборы и аппараты на схемах подключений условно обозначают прямоугольниками, а электродвигатели — кружками. Внутри условно-графического обозначения делают необходимые надписи.

На проводках указывают номер проводки, марку, сечение и длину проводов и кабелей. Провода, жгуты и кабели изображают линиями толщиной 0,4...1,0 мм.

Схемы подключений выполняют без соблюдения масштаба в удобном для пользования виде.

### 1.5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Разработке систем автоматического управления (САУ) должно предшествовать тщательное изучение (исследование) объекта управления. Только на основе

хорошего знания свойств объекта, его статических и динамических характеристик можно разработать САУ, в полной мере удовлетворяющую целям и задачам управления. Характеристики объекта можно получить аналитическим и экспериментальными (активными и пассивным) методами.

### 1.5.1. Аналитический метод

Известно, что управляющие воздействия на объект осуществляются путем подачи в объект энергии или вещества. Поэтому для аналитического получения характеристик объекта составляют уравнения баланса процессов в объекте на основе принципов сохранения массы, сохранения энергии и сохранения количества движения.

Например, для объекта, нуждающегося в регулировании температуры, составляют уравнение теплового баланса

$$\Sigma Q = 0 \text{ или } Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0, \quad (1)$$

где  $Q_1, Q_2$  — количество теплоты, подведенной к объекту управления;  $Q_3, Q_4$  — количество теплоты, отведенной от объекта управления.

Составляющие уравнения баланса должны быть выражены через параметры, которые необходимо регулировать, например, через температуру.

Так, если  $Q_1$  — количество теплоты, поступающей в объект с сырьем, то

$$Q_1 = m_c \theta_c c_c, \quad (2)$$

где  $m_c, \theta_c, c_c$  — соответственно расход, температура и теплоемкость сырья.

Таким же образом можно преобразовать остальные члены балансового уравнения. В результате будет получено уравнение взаимосвязи между параметрами объекта в установившемся (равновесном) состоянии. Такое уравнение обычно называют математической моделью статики объекта.

Для того чтобы получить уравнение динамики объекта (дифференциальное уравнение или систему дифференциальных уравнений), проводят следующие операции. Переменным параметрам уравнения баланса дают малые приращения ( $\Delta Q$ ). Затем из полученного уравнения вычитают исходное и результат делят на приращение

времени  $\Delta t$ , где  $\Delta t \rightarrow 0$ . Найденное отношение будет представлять собой динамическую характеристику (математическую модель динамики) объекта.

Достоинством аналитического метода является возможность получения характеристик объекта управления на стадии проектирования. Однако при аналитическом исследовании бывает сложно получить коэффициенты уравнения и трудно учесть конкретные особенности данного технологического объекта, такие, например, как неодинаковую теплопроводность ограждений в разных направлениях, наличие зазоров, пустот и т. п. Поэтому аналитический метод является приближенным, и его используют преимущественно для получения характеристик наиболее простых объектов и процессов управления.

Применение аналитического метода рассмотрим на примере исследования характеристик птичника как объекта автоматического регулирования температуры воздуха.

Уравнение теплового баланса для воздуха птичника имеет вид

$$Q_1 - Q_2 + Q_3 - Q_4 = 0, \quad (3)$$

где  $Q_1$  — тепловой поток, поступающий в птичник со свежим воздухом;  $Q_2$  — тепловой поток, уходящий с воздухом (через вентиляцию);  $Q_3$  — тепловой поток, выделяемый птицей;  $Q_4$  — потери теплоты через ограждения.

Следует отметить, что в данном случае потоки  $Q_1$  и  $Q_2$  — управляющие воздействия, а  $Q_3$  и  $Q_4$  — возмущающие воздействия на объект.

Регулируемой величиной является температура воздуха  $\theta$ . Задача исследования состоит в установлении зависимости изменения температуры от изменения входных величин (управляющих и возмущающих).

В рассматриваемом случае основным физическим законом, связывающим изменение температуры в объекте с изменением управляющих и возмущающих воздействий, является закон сохранения энергии, который можно записать для объекта в следующем виде:

$$cm \frac{d\theta}{dt} = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (4)$$

где  $m$  — масса вещества в объеме;  $c$  — теплоемкость вещества;  $\theta$  —

температура вещества;  $Q_i$  — тепловые потоки, воздействующие на вещество.

Необходимо отметить, что птичник состоит из двух физических тел: воздуха и ограждения, теплофизические свойства которых резко отличаются один от другого. Тогда теплообмен между воздухом внутри помещения и наружным запишется следующей системой уравнений в отклонениях:

$$\left. \begin{aligned} c_{\text{в}} m_{\text{в}} \frac{d\Delta\theta_{\text{в}}}{dt} &= \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - \Delta Q_4 \\ c_{\text{ог}} m_{\text{ог}} \frac{d\Delta Q_{\text{ог}}}{dt} &= \Delta Q_4 - \Delta Q_5 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $c_{\text{в}}$ ,  $c_{\text{ог}}$  — удельные теплоемкости воздуха и ограждения;  $m_{\text{в}}$ ,  $m_{\text{ог}}$  — массы воздуха и ограждения;  $\Delta\theta_{\text{в}}$ ,  $\Delta\theta_{\text{ог}}$  — отклонения температур воздуха и ограждений от расчетных в установившемся режиме;  $\Delta Q_1$ ,  $\Delta Q_2$ ,  $\Delta Q_4$ ,  $\Delta Q_5$  — отклонения от расчетных значений тепловых потоков соответственно с поступающим в птичник воздухом, уходящим через вентиляцию, от воздуха внутри помещения к ограждению и от ограждения к наружному воздуху.

Следует заметить, что, поскольку тепловыделение птицы принято постоянным, составляющая тепловых потоков  $\Delta Q_3 = 0$ , и поэтому в систему уравнений она не вошла.

Система уравнения (5) описывает исследуемый объект с некоторой идеализацией. При составлении уравнений приняты такие основные допущения:

птичник рассматривается как линейный объект с сосредоточенными параметрами;

плотность воздуха не зависит от температуры и давления внутри помещения;

время перемещения воздуха внутри птичника не учитывается;

тепловыделение птицы принято постоянным.

Оценка влияния принятых допущений на результаты анализа показывает, что возникающие ошибки не выйдут за пределы допустимых при инженерных расчетах теплоэнергетических процессов.

Для вывода уравнения динамики объекта необходимо в систему уравнений (5) вместо тепловых потоков подставить их значения, выраженные через удельные теплоемкости, массы, перепады температур, площади поверхностей теплопередачи и коэффициент теплообмена:

$$\left. \begin{aligned}
 c_B m_B \frac{d\Delta\theta_B}{dt} &= c_B \Delta m_{п.в} (\theta_{п.в} - \theta_B) - c_B \Delta m_B (\theta_B - \\
 &\quad - \theta_{нар}) - F_{ог} \alpha_{вн} (\Delta\theta_B - \Delta\theta_{ог}) \\
 c_{ог} m_{ог} \frac{d\Delta\theta_{ог}}{dt} &= F_{ог} \alpha_{вн} (\Delta\theta_B - \Delta\theta_{ог}) - \\
 &\quad - F_{ог} \alpha_{нар} (\Delta\theta_{ог} - \Delta\theta_{нар}),
 \end{aligned} \right\} (6)$$

где  $c_B, c_{ог}$  — удельные теплоемкости воздуха и ограждения, кДж/(кг·°C);  $m_B, m_{ог}$  — масса воздуха внутри помещения и масса ограждения, кг;  $\Delta m_{п.в}, \Delta m_B$  — приращение массы подаваемого и внутреннего воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $F_{ог}$  — площадь ограждения, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{вн}, \alpha_{нар}$  — коэффициенты теплообмена на внутренних и наружных поверхностях ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\Delta Q_{нар}, \Delta Q_B, \Delta Q_{ог}$  — приращение температуры наружного и внутреннего воздуха и ограждения, °C;  $\theta_{п.в}, \theta_B, \theta_{нар}$  — температуры соответственно подаваемого, внутреннего и наружного воздуха (при подаче воздуха через нагревательную или охлаждающую установку температура подаваемого воздуха  $\theta_{п.в}$  отличается от температуры наружного воздуха  $\theta_{нар}$ ).

Учитывая, что  $\Delta m_B = \Delta m_{п.в}$ , можно несколько упростить первое уравнение системы (6):

$$c_B m_B \frac{d\Delta\theta_B}{dt} = c_B \Delta m_B (\theta_{п.в} - 2\theta_B + \theta_{нар}) - F_{ог} \alpha_{вн} (\Delta\theta_B - \Delta\theta_{ог}), \quad (7)$$

из которого

$$\Delta\theta_{ог} = \frac{c_B m_B}{F_{ог} \alpha_{вн}} \frac{d\Delta\theta_B}{dt} + \theta_B - \frac{c_B m_B (\theta_{п.в} - 2\theta_B + \theta_{нар})}{F_{ог} \alpha_{вн}}. \quad (8)$$

Значение  $\Delta\theta_{ог}$  подставим во второе уравнение системы (6) и после преобразований получим

$$\begin{aligned}
 &\frac{c_{ог} m_{ог} c_B m_B}{F_{ог}^2 \alpha_{вн} \alpha_{нар}} \frac{d^2 \Delta\theta_B}{dt^2} + \frac{c_{ог} m_{ог} \alpha_{вн} + c_B m_B (\alpha_{вн} + \alpha_{нар})}{F_{ог} \alpha_{вн}} \times \\
 &\times \frac{d\Delta\theta_B}{dt} + \Delta\theta_B = \frac{c_B (\alpha_{вн} + \alpha_{нар}) (\theta_{п.в} - 2\theta_B + \theta_{нар})}{F_{ог} \alpha_{вн} \alpha_{нар}} \times \\
 &\times \left[ \frac{c_{ог} m_{ог}}{F_{ог} (\alpha_{вн} + \alpha_{нар})} \frac{d\Delta m_B}{dt} + \Delta m_B \right] + \Delta_{нар} \theta_p. \quad (9)
 \end{aligned}$$

В канонической форме уравнение динамики птичника имеет вид

$$T_0^2 \frac{d^2 \Delta\theta_B}{dt^2} + T_1 \frac{d\Delta\theta_B}{dt} + \Delta\theta_B = k \left( T \frac{d\Delta m_B}{dt} + \Delta m_B \right) + \Delta\theta_{нар}, \quad (10)$$

$$\text{где } T_0^2 = \frac{c_{ог} c_B m_{ог} m_B}{F_{ог}^2 \alpha_{вн} \alpha_{нар}};$$

$$T_1 = \frac{c_{ог} m_{ог} \alpha_{вн} + c_{в} m_{в} \alpha_{вн} + c_{в} m_{в} \alpha_{нар}}{F_0 \alpha_{вн} \alpha_{нар}} ;$$

$$T = \frac{c_{ог} m_{ог}}{F_{ог}(\alpha_{вн} - \alpha_{нар})} ;$$

$$k = \frac{c_{в} (\alpha_{вн} + \alpha_{нар})(\theta_{п.в} - 2\theta_{в} + \theta_{нар})}{F_{ог} \alpha_{вн} \alpha_{нар}} .$$

Передаточная функция птичника по управляющему воздействию

$$W(p) = \frac{\Delta\theta_{в}(p)}{\Delta m_{в}(p)} = \frac{k(Tp + 1)}{T_0^2 p^2 + T_1 p + 1} . \quad (11)$$

Для получения числового значения передаточной функции необходимо знать числовые значения входящих в уравнение (11).

В качестве примера принимаем:  
 $\rho_{ог} = 1,205 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_{в} = 1,005 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{с)}$   
 $\rho_{ог} = 1700 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_{ог} = 0,88 \text{ кДж/(кг}$   
 $= 2000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{с}^{\circ}\text{C)}$ ;  $F_{огр} = 1000 \text{ м}^2$ ;  $\theta_{п.в}$   
 $\theta_{нар} = +10^{\circ} \text{C}$ .

После подстановки числовых значений в уравнение (11) получим  $T_0^2 = 224 \text{ с}^2$ ;  $T_1 = 401 \text{ с}$ ;  $T = k = 0,03^{\circ} \text{C} \cdot \text{с/кг}$ .

Тогда числовое значение передаточной функции объекта

$$W(p) = \frac{0,03(196p + 1)}{224p^2 + 401p + 1} .$$

Амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ) объекта можно построить, пользуясь выражением для комплексной передаточной функции

$$W(j\omega) = \frac{0,03(196j\omega + 1)}{-224\omega^2 + 401j\omega + 1} .$$

После преобразований имеем выражения для вещественной и мнимой части комплексной передаточной функции

$$W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) .$$

Вещественная часть

$$P(\omega) = \frac{0,03(1 + 78372\omega^2)}{1 + 160353\omega^2 + 50176\omega^4} .$$

Таблица 4. Расчетные данные для построения АФЧХ птичника

$\omega$	0	0,01	0,1	0,2	0,6	1
$P(\omega)$	0,03	$15,4 \cdot 10^{-3}$	$14,62 \cdot 10^{-3}$	$14,02 \cdot 10^{-3}$	$13,17 \cdot 10^{-3}$	$11,17 \cdot 10^{-3}$
$Q(\omega)$	0	$-0,075 \cdot 10^{-3}$	$-0,41 \cdot 10^{-3}$	$-1,8 \cdot 10^{-3}$	$-4,48 \cdot 10^{-3}$	$-6,28 \cdot 10^{-3}$

Продолжение

$\omega$	2	4	6	8	10	$\infty$
$P(\omega)$	$6,51 \cdot 10^{-3}$	$2,43 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$0,69 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}$	0
$Q(\omega)$	$-7,28 \cdot 10^{-3}$	$5,47 \cdot 10^{-3}$	$-4,01 \cdot 10^{-3}$	$-3,12 \cdot 10^{-3}$	$-2,52 \cdot 10^{-3}$	0

Мнимая часть

$$Q(\omega) = \frac{-0,03(205\omega + 43904\omega^3)}{1 + 160353\omega^2 + 50176\omega^4}$$

Задавшись значениями  $\omega$ , составим вспомогательную таблицу 4 для построения АФЧХ объекта.

График АФЧХ показан на рисунке 13.

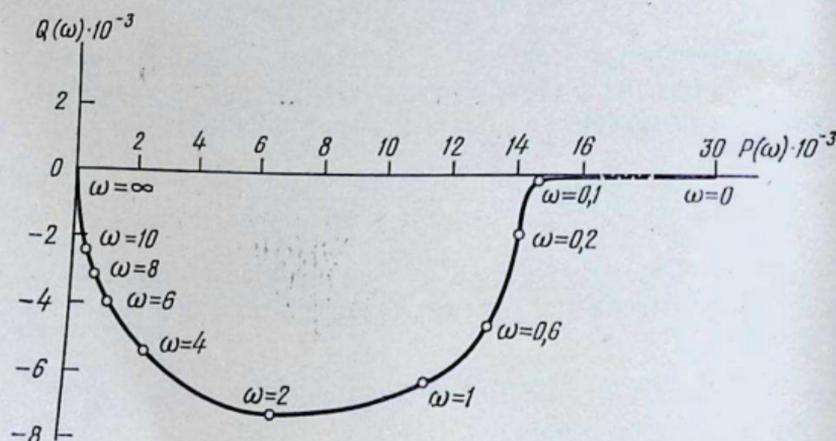


Рис. 13. АФЧХ птичника.

## 1.5.2. Экспериментальные методы

Экспериментальные методы (активный и пассивный) используют при наличии реальных объектов.

**Активный метод** или, как его еще называют, метод искусственных воздействий состоит в том, что входному воздействию объекта сообщают пробное стандартное изменение одного из трех видов:

скачкообразное или ступенчатое воздействие, которому соответствует переходный процесс изменения выходной величины, называемый кривой разгона (или временной характеристикой);

однократное импульсное воздействие, приводящее к появлению на выходе объекта импульсной характеристики (или функции веса);

периодическое воздействие (синусоидальное, прямоугольное, треугольное, трапецеидальное и др.), которое вызывает появление на выходе объекта периодических колебаний того или иного характера; по кривым изменения входной и выходной величин определяют частотные характеристики объекта.

При выборе вида искусственных воздействий на объект учитывают значения допустимых отклонений исследуемого выходного параметра и характер эксплуатационных возмущений, вносящих погрешности в результаты измерений. Чаще всего объекты исследуют по кривым разгона. Однако следует иметь в виду, что отклонения выходной величины от номинального значения при этом, как правило, значительно больше и случайные эксплуатационные возмущения больше искажают результаты. Вместе с тем необходимо помнить, что теория автоматического управления позволяет из одного вида характеристик получать другие путем перестроения.

При снятии динамических характеристик в эксперименте участвуют, кроме объекта управления, еще чувствительные элементы (датчики) и регулирующие органы, которые изменяют поступление в объект регулирующей среды [38].

Входной величиной объекта считают положение регулирующего органа (в % хода) или расход регулирующей среды.

Многие реальные объекты не являются строго линейными, их параметры изменяются с изменением нагрузки. Поэтому для учета влияния нелинейности динамические

характеристики следует снимать хотя бы при двух уровнях нагрузки — около номинальной и пониженной.

При исследовании сложных многомерных объектов, ход процессов в которых определяется различными физическими факторами, динамические характеристики необходимо снимать по каждому влияющему фактору отдельно. При этом многомерный объект для простоты рассматривают как совокупность соответствующего числа одномерных объектов, переходные процессы в которых протекают независимо один от другого.

Если выходная величина объекта благодаря перекрестным связям зависит от нескольких входных величин, то нужно провести опыты с подачей возмущения по каждой из входных величин отдельно. По результатам опытов можно судить о степени (тесноте) связи между величинами.

В ходе опытов следует контролировать изменение не только входных и выходных величин объекта, но и тех величин, изменение которых может сказаться на характере переходного процесса и результатах измерений его параметров.

Для регистрации входных и выходных воздействий а также других контролируемых величин используют как имеющиеся на объекте контрольно-измерительные приборы, так и приборы, установленные специально для проведения экспериментов. При проведении опытов наряду с измерением контролируемых физических величин фиксируют и время (момент внесения возмущения, время записей изменяющихся величин и т. п.).

Испытательное воздействие на входе объекта создают регулирующим органом, управляемым вручную или при помощи дистанционного устройства. При снятии кривых разгона значение вносимого входного воздействия должно составлять 5...15 % максимально возможного для данного режима значения входной величины. Увеличивать входные воздействия нецелесообразно, так как это приводит к увеличению влияния нелинейности объекта и заметному нарушению технологического процесса; уменьшение же величины входных воздействий затрудняет выделение из кривых переходных процессов кривой разгона из-за влияния случайных воздействий (помех).

Ступенчатое воздействие должно вноситься мгновенно, а практически возможно быстрее (рис. 14, а). В тех случаях, когда добиться практически мгновенной подачи

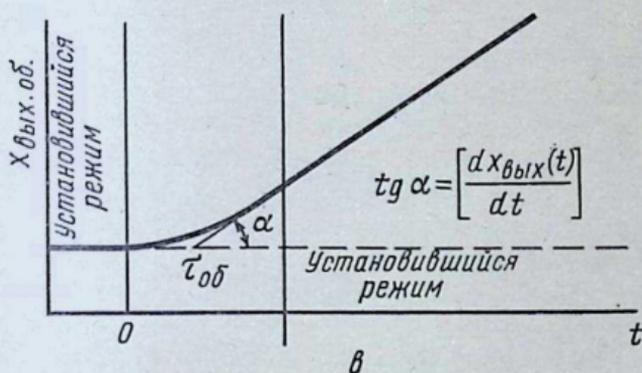
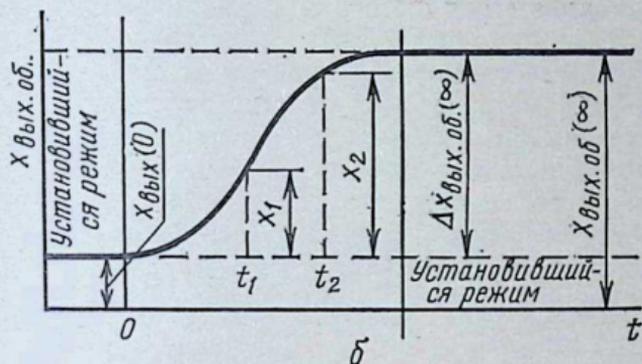
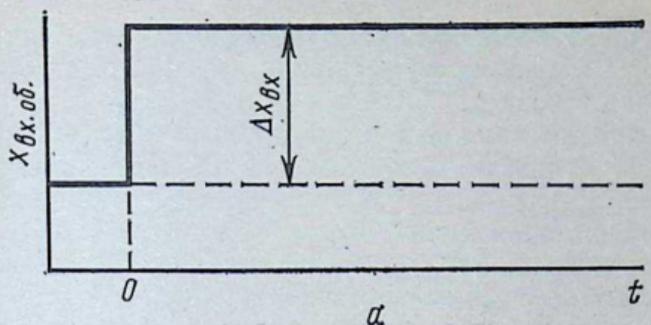


Рис. 14. Кривые разгона для определения параметров объекта:

*a* — график входного воздействия; *б* — разгонная кривая статического объекта; *в* — то же, астатического объекта.

входного воздействия невозможно из-за большого времени перемещения регулирующего органа или исполнительного механизма и это время становится соизмеримым с временем запаздывания, следует при обработке результатов исследований учитывать фактическое время нараста-

ния входного воздействия до заданного значения (или время перемещения регулирующего органа из начального положения в новое).

При снятии кривой разгона объектов с самовыравниванием (статических) переходный процесс заканчивается по достижении нового установившегося значения выходной величины (рис. 14, б).

Для объектов без самовыравнивания (астатических) переходный процесс можно считать закончившимся, если скорость изменения выходной величины объекта достигнет установившегося значения (кривая разгона выходит на прямую линию (рис. 14, в).

Полученные из опытов кривые разгона позволяют определить параметры объекта (время запаздывания  $\tau$ , постоянные времени —  $T$ , передаточный коэффициент  $k_{об}$ ).

Часто объект как динамическое звено представляют в виде двух последовательно соединенных элементарных динамических звеньев: инерционного (для объекта с самовыравниванием) или интегрирующего (для объекта без самовыравнивания) и запаздывающего с передаточными функциями:

$$W(p)_{ст} = \frac{k_{об}}{Tp + 1} e^{-\tau p} \quad (12)$$

или

$$W(p)_{аст} = \frac{k_{об}}{p} e^{-\tau p}. \quad (13)$$

В этом случае параметры статического объекта ( $\tau$ ,  $T$  и  $k_{об}$ ) определяют по кривой разгона следующим образом (рис. 15). Через точку  $A$  максимальной скорости изменения выходной величины (точку перегиба кривой) проводят касательную к кривой и продолжают до пересечения с линиями начального (ось абсцисс) и конечного значения выходной величины. Отрезок времени от точки пересечения касательной с осью абсцисс до перпендикуляра на ось абсцисс из точки пересечения касательной с линией нового установившегося значения выходной величины представляет собой постоянную времени объекта  $T$ , а отрезок времени от момента подачи входного воздействия до точки пересечения касательной с осью абсцисс, является временем запаздывания  $\tau$ . Передаточный коэффициент  $k_{об}$  вычисляют как отношение приращения выходной величины за время переходного процесса к значению хода регулирующего органа ( в процентах).

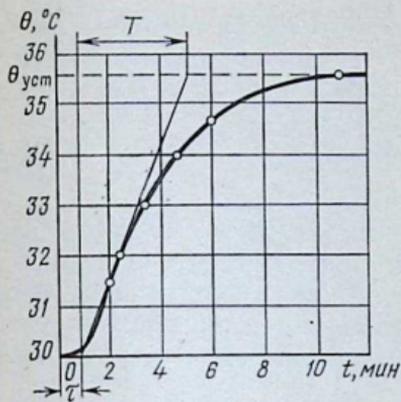


Рис. 15. Экспериментальная разгонная характеристика сушилки табака.

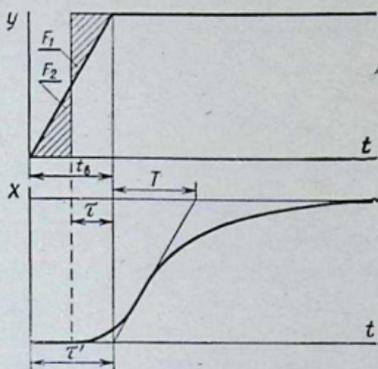


Рис. 16. Определение запаздывания с учетом времени нарастания входной величины.

Для астатического объекта передаточный коэффициент  $\epsilon_{об}$  находят как установившееся значение скорости изменения выходной величины при единичном изменении входного воздействия. Измеряется передаточный коэффициент астатического объекта в единицах измерения выходной величины, поделенных на секунду и на 1 % хода регулирующего органа.

Если время подачи входного воздействия  $t_b$  соизмеримо с временем запаздывания  $\tau$ , то при определении величины  $\tau$  фактическое изменение входного воздействия заменяют типовым скачкообразным (рис. 16). Момент подачи скачкообразного входного воздействия выбирают так, чтобы площади  $F_1$  и  $F_2$  были равны. После этого по кривой разгона определяют  $\tau$  и  $T$  обычным путем.

Поскольку касательную к кривой разгона статического объекта не всегда удастся провести достаточно точно, определение его параметров на основе чисто графических методов иногда приводит к заметным ошибкам. В этой связи рекомендуется применять более точный графоаналитический метод [18]. Для статических объектов (рис. 15, б) величины  $k_{об}$ ,  $T$ ,  $\tau$  находят по формулам [18]

$$\tau = \frac{t_2 \lg(1-x_1) - t_1 \lg(1-x_2)}{\lg(1-x_1) - \lg(1-x_2)}; \quad (14)$$

$$T = \left| \frac{t_1 - \tau_{об}}{2,3 \lg(1-x_1)} \right| = \left| \frac{t_2 - \tau_{об}}{2,3 \lg(1-x_2)} \right|, \quad (15)$$

где  $t_1$  — время, соответствующее месту перегиба кривой разгона; в случае отсутствия перегиба следует принимать  $x_{вых}(t_1) \approx$

$\approx |0,10 \dots 0,15| \Delta x_{\text{вых}}(\infty)$ ;  $t_2$  — время, соответствующее  $x_{\text{вых}}(t_2) = (0,8 \dots 0,9) \Delta x_{\text{вых}}(\infty)$ ;

$$x_1 = \frac{x_{\text{вых}}(t_1) - x_{\text{вых}}(0)}{\Delta x_{\text{вых}}(0)}; \quad (16)$$

$$x_2 = \frac{x_{\text{вых}}(t_2) - x_{\text{вых}}(0)}{\Delta x_{\text{вых}}(\infty)}. \quad (17)$$

Определение динамических параметров объекта по разгонной кривой можно проиллюстрировать на примере экспериментальной динамической характеристики сушилки табака (рис. 15). Опыт проводился при включении электрокалорифера мощностью 3,6 кВт для нагрева воздуха, подаваемого в сушилку.

Из кривой (рис. 15) следует, что за время переходного процесса температура воздуха вырастает на  $5,5^\circ\text{C}$ . Следовательно, передаточный коэффициент объекта

$$k_{\text{об}} = \frac{\Delta\theta}{\Delta P_{\text{э.к}}} = \frac{5,5}{3,6} = 1,5^\circ\text{C/кВт}.$$

Из графических построений  $\tau = 0,9$  мин = 54 с;  $T = 4,2$  мин = 252 с.

Тогда передаточная функция сушилки табака по каналу «мощность электрокалорифера—температура теплоносителя» будет иметь вид

$$W(p) = \frac{\Delta\theta(p)}{\Delta P(p)} = \frac{k}{1 + Tp} e^{-\tau p} = \frac{1,5}{1 + 252p} e^{-54p}.$$

Полученная передаточная функция позволяет построить частотные характеристики объекта подобно тому, как было сделано ранее для птичника.

Приведенные методы определения параметров объекта являются приближенными.

Более точно передаточную функцию управляемого объекта можно определить путем обработки кривой разгона методом М. П. Симою (методом площадей) [18, 64]. При этом передаточная функция статического объекта

$$W_{\text{об}}(p) = \frac{x_{\text{вых.об}}(\infty)}{\Delta x_{\text{вх.об}}} = \frac{+ \dots + b_1 p + 1}{- \dots + a_1 p + 1} k_{\text{об}}, \quad (18)$$

где  $a_1, \dots, a_n$ ;  $b_1, \dots$   
размерная по

Пере

коэффициенты;  $W_{\text{об}}^*(p)$  — без

сделяют обычным



где  $\sigma = \frac{x_{\text{вых.об}}}{x_{\text{вых.об}}(\infty)} \frac{t}{F_1}$  — отклонение выходной величины в безразмерном виде;  $\theta = \frac{t}{F_1}$ .

Рассмотрим последовательность расчета передаточной функции для статического объекта.

1. Разбиваем отрезок времени от момента подачи входного воздействия до момента достижения выходной величины  $x_{\text{вых.об}}$  (рис. 14, б) установившегося значения  $x_{\text{вых.об}}(\infty)$  на равные отрезки времени  $\Delta t$  так, чтобы на каждом участке кривая разгона мало отличалась от прямой.

Разделив значение  $\Delta x_{\text{вых.об}}$  в конце каждого интервала  $\Delta t$  на  $x_{\text{вых.об}}(\infty)$ , получаем безразмерное значение  $\sigma(i\Delta t)$ , которое заносим в третью графу таблицы 5.

2. Вычисляем  $1 - \sigma(i\Delta t)$  и заносим в четвертую графу таблицы 5.

Таблица 5. Расчет по методу М. П. Симою

Время $t$ , с	$\Delta x_{\text{вых.об}}$	$\sigma(i\Delta t)$	$1 - \sigma(i\Delta t)$	$\theta \left( \frac{i\Delta t}{F_1} \right) = \frac{i\Delta t}{F_1}$	$1 - \theta$	$(1 - \sigma) (1 - \theta)$	$\left( \frac{\theta^2}{1 - 2\theta + \frac{1}{2}} \right)$	$\left( \frac{\theta^2}{1 - 2\theta + \frac{1}{2}} \right)$
0	$\Delta x_{\text{вых}}(0)$	$\sigma(0)$	$1 - \sigma(0)$	0	1	$1 - \sigma(0)$	1	$1 - \sigma(0)$
$\Delta t$	$\Delta x_{\text{вых}}(\Delta t)$	$\sigma(\Delta t)$	$1 - \sigma(\Delta t)$	$\frac{\Delta t}{F_1}$	$1 - \frac{\Delta t}{F_1}$	.....	...	.....
$2\Delta t$	$\Delta x_{\text{вых}}(2\Delta t)$	$\sigma(2\Delta t)$	$1 - \sigma(2\Delta t)$	$\frac{2\Delta t}{F_1}$	$1 - \frac{2\Delta t}{F_1}$	.....	...	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

3. Подсчитываем сумму чисел четвертой графы 4, то есть

$$\sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)]. \quad (21)$$

4. Определяем площадь  $F_1$  по формуле

$$F_1 \approx \Delta t \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)] - 0,5 (1 - \sigma(0)) \right\}. \quad (22)$$

5. Изменяем масштаб времени  $\theta(i\Delta t) = \frac{i\Delta t}{F}$

и заносим в пятую графу таблицы 5.

6. В шестую графу записываем значение  $1 - \theta(i\Delta t)$ .

7. В седьмую графу заносим значение  $(1-\sigma)(1-\theta)$ , полученное перемножением значений четвертой и шестой граф.

8. Подсчитываем сумму чисел седьмой графы, то есть

$$\sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)][1 - \theta(i\Delta t)]. \quad (23)$$

9. Определяем площадь  $F_2$  по формуле

$$F_2 \approx F_1 \Delta t \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)][1 - \theta(i\Delta t)] - 0,5[1 - \sigma(0)] \right\}. \quad (24)$$

10. Рассчитываем и заносим в восьмую графу значение  $1 - 2\theta + \frac{\theta^2}{2}$ .

11. Заносим в девятую графу значение  $(1-\sigma)\left(1 - 2\theta + \frac{\theta^2}{2}\right)$ , полученное перемножением значений в четвертой и восьмой графах.

12. Подсчитываем сумму чисел девятой графы, то есть

$$\sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)] \left[ 1 - 2\theta(i\Delta t) + \frac{\theta^2(i\Delta t)}{2} \right]. \quad (25)$$

13. Определяем площадь  $F_3$

$$F_3 \approx F_1^2 \Delta t \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta t)] \left[ 1 - 2\theta(i\Delta t) + \frac{\theta^2(i\Delta t)}{2} \right] - 0,5[1 - \sigma(0)] \right\}. \quad (26)$$

Обычно точность эксперимента не позволяет практически использовать коэффициенты  $F_4$ ,  $F_5$  и другие поэтому определяем только  $F_3$ .

14. Найдем вид передаточной функции. Если  $x_{\text{вых.об}}(0) = 0$  и  $x'_{\text{вых.об}}(0) = 0$ , то порядок числителя

в формуле (18), по крайней мере, на две единицы меньше порядка знаменателя. Практически в этом случае можно принять безразмерную передаточную функцию объекта простого вида

$$W_{об}^*(p) = \frac{1}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (27)$$

где  $a_1 = F_1$ ;  $a_2 = F_2$ ;  $a_3 = F_3$ .

В некоторых случаях площадь  $F_3$  может оказаться отрицательной, что свидетельствует о необходимости увеличить порядок числителя и уменьшить порядок знаменателя. Передаточная функция в этом случае

$$W_{об}^*(p) = \frac{b_1 p + 1}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}. \quad (28)$$

Коэффициенты  $a_1$ ,  $a_2$  и  $b_1$  определим из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= F_1 + b_1; \\ a_2 &= F_2 + b_1 F_1; \\ 0 &= F_3 + b_1 F_2. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

15. Если управляемый объект имеет запаздывание  $\tau_{об}$ , в течение которого  $\Delta x_{вых.об}(\tau)$  не превышает 0,1%  $x_{вых.об}(\infty)$ , то передаточная функция

$$W_{об}(p) = W_{об}^*(p) e^{-p\tau_{об}} \frac{\Delta x_{вых.об.}(\infty)}{\Delta x_{вх.об}}. \quad (30)$$

*Экстраполяция разгонной характеристики.* Если на статическом объекте, который можно считать инерционным звеном первого порядка, в ходе опыта не было достигнуто новое установившееся состояние и зарегистрирована лишь начальная часть кривой разгона, то вся характеристика может быть экстраполирована графическим путем (рис. 17). Для этого на полученной экспериментальной кривой выбирают две точки  $x_1$ ,  $x_2$  и через равные отрезки времени  $\Delta t$  определяют приращения выходной величины  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$ .

От точек  $x_1$  и  $x_2$  проводят горизонтальные прямые до пересечения с вертикальной прямой  $EE_1$  в точках  $D$  и  $D_1$ . От точек пересечения откладывают отрезки  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  и через точки  $C$  и  $C_1$  проводят прямую  $AB$  до пересечения ее с линией  $EE_1$ . Отрезок  $BE$  определяет новое установившееся значение выходной величины. Далее мож-

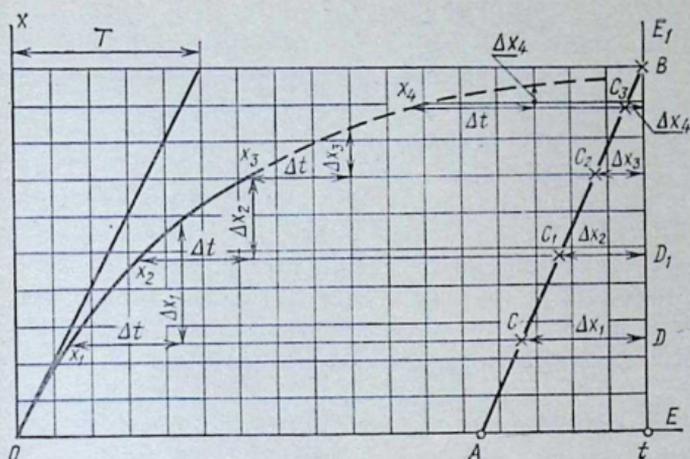


Рис. 17. Экстраполяция кривой разгона.

но достроить кривую разгона, например, по приращениям  $\Delta x_3$ ,  $\Delta x_4$ . После построения кривой разгона находят постоянную времени и передаточный коэффициент обычными методами.

*Метод перестроения импульсной характеристики в разгонную.* В некоторых случаях более подходящей является подача не ступенчатого скачкообразного, а импульсного входного воздействия на объект. Импульсное воздействие, строго говоря, представляет собой воздействие бесконечно большой величины в бесконечно малое время. Однако подача подобных воздействий практически невозможна. В экспериментах время подачи импульсного воздействия на вход объекта устанавливают по изменению выходной величины. Для астатических объектов продолжительность импульса входного воздействия  $t_n$  должна быть такой, чтобы с учетом запаздывания выходная величина достигла нового установившегося значения. Для статических объектов время  $t_n$  должно быть таким, чтобы с учетом запаздывания выходная величина достигла 70...80% от установившегося значения.

Для определения динамических параметров статического объекта при импульсном воздействии необходимо импульсную характеристику перестроить в обычную кривую разгона. С этой целью полученную характеристику (рис. 18) разбивают по времени на  $n$  равных участков  $\Delta t$ , каждый из которых равен продолжительности

импульса  $t_{II}$ . На участке  $\Delta t_1$  ход импульсной характеристики совпадает с ходом обычной кривой разгона. На следующем участке  $\Delta t_2$  ординаты импульсной кривой представляют собой разность ординат обычной кривой разгона и соответствующих им по времени ординат импульсной кривой на первом участке  $\Delta t_1$ . Суммируя соответствующие ординаты первого и второго участков разбиения, получают искомые ординаты обычной кривой разгона для участка  $\Delta t_2$ . Так поступают для всех участков разбиения, пока не будет отмечено новое установившееся значение выходной величины. По полученной кривой разгона определяют динамические параметры объекта  $\tau$ ,  $T$ ,  $\kappa_{об}$ . Следует, однако, заметить, что перестроение импульсной характеристики в кривую разгона допустимо для объектов с линейной статической характеристикой, когда применим принцип наложения.

*Расчет динамических параметров объекта по импульсным характеристикам.* Импульсные характеристики можно обработать и расчетным путем [38]. Рассмотрим

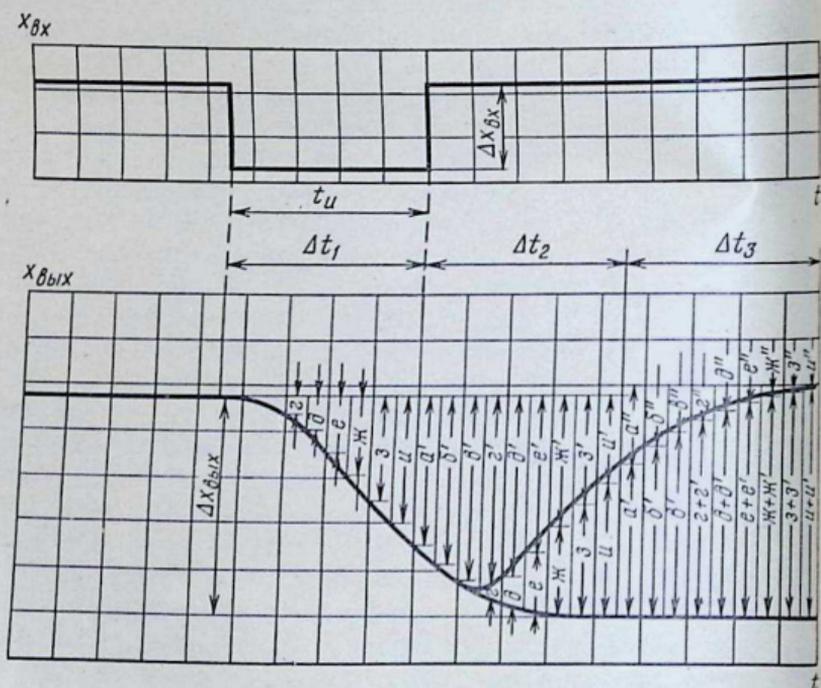


Рис. 18. Перестроение импульсной характеристики в кривую разгона.

случай, когда импульс входного воздействия имеет, например, трапецевидный характер (рис. 19). Передаточный коэффициент объекта определяется как отношение площадей, ограниченных кривыми изменения выходной и входной величин,

$$k_{об} = \frac{\int_0^{\infty} x_{вых}(t) dt}{\int_0^{\infty} x_{вх}(t) dt}. \quad (31)$$

Время запаздывания

$$\tau = \tau' - t_B/2, \quad (32)$$

где  $\tau'$  — время запаздывания переходного процесса;  $t_B$  — продолжительность подачи входного воздействия.

Постоянная времени объекта

$$T = \frac{\int_0^{\infty} x_{вых}(t) dt}{x_{вых \max}}, \quad (33)$$

где  $x_{вых \max}$  — максимальное значение выходной величины, достигнутое в переходном процессе при импульсной подаче входного воздействия.

*Определение динамических параметров объектов из частотных характеристик.* Частотная (амплитудно-фазовая) характеристика представляет собой реакцию объекта (изменение выходной величины) на периодические изменения входной величины. В идеальном случае на вход объекта должен подаваться синусоидальный сигнал. Однако практически это осуществить в большинстве случаев нелегко. Поэтому испытательный входной сигнал часто имеет форму прямоугольной волны. А в тех случаях, когда не удастся быстро изменить направление входного воздействия (из-за конечной скорости перемещения регулирующего

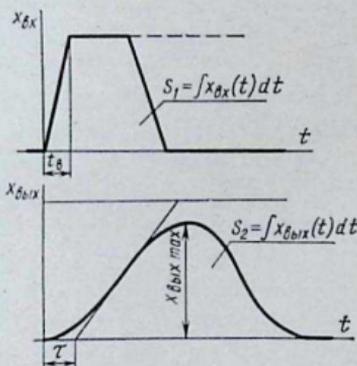


Рис. 19. Определение динамических параметров по импульсной характеристике расчетным путем.

органа), применяют входной испытательный сигнал в виде трапецеидальной и даже треугольной волны.

В качестве входной величины принимают положение регулирующего органа в процентах от полного его открытия. Измеряется входная величина в процентах хода регулирующего органа (% ХРО).

За выходную величину принимают управляемую (регулируемую) величину. Для регистрации выходной величины используют самопишущий прибор с шириной ленты 100...200 мм. Скорость передвижения ленты выбирают такой, чтобы переходный процесс был записан на длине ленты 200...250 мм.

Для медленно протекающих процессов можно обойтись без самопишущих приборов, а изменение выходной величины фиксировать по шкале показывающего прибора через интервалы времени, составляющие примерно 0,1 постоянной времени объекта.

Выбор амплитуды входного воздействия зависит от линейности участка статической характеристики. На практике принимают амплитуду, равную 10...15% ХРО.

Для того чтобы выбрать необходимый диапазон частот колебаний испытательных воздействий  $\omega$ , предварительно определяют характерную для испытуемого объекта частоту  $\omega_{\pi}$ , при которой сдвиг фаз между колебаниями входных и выходных величин составляет  $\pi$  радиан или  $180^{\circ}$ .

Опыт начинают при установившемся состоянии объекта. Регулирующий орган перемещают на принятое значение амплитуды в любую сторону и наблюдают за выходной величиной. В момент, когда начинает изменяться выходная величина, регулирующий орган быстро перемещают в обратную сторону на двойное значение ХРО. Новое значение входной величины поддерживают неизменным до тех пор, пока выходная величина не возвратится к исходному значению и не начнет изменяться в противоположном направлении. В этот момент регулирующий орган вновь быстро перемещают в противоположную сторону на заданную амплитуду.

Перемещения регулирующего органа в противоположные стороны от исходного положения повторяют до тех пор, пока после «раскачки» не будет получено 3...5 периодов установившихся колебаний выходной величины с периодом  $T_{\pi}$ . Тогда искомая характерная частота объекта  $\omega_{\pi} = 2\pi/T_{\pi} (C^{-1})$ .

Иногда экспериментально определяют другую характеристику для объекта частоту — предельное значение частот колебаний  $\omega_{\text{ср}}$ , пропускаемых исследуемым объектом. При частоте  $\omega_{\text{ср}}$  амплитуда колебаний на выходе близка к нулю независимо от значения амплитуды колебаний на входе.

Для построения частотных характеристик объекта достаточно иметь пять-шесть точек годографа, то есть необходимо провести опыты при пяти-шести частотах колебаний в интервале частот от 0,25 до 2,5  $\omega_{\text{п}}$ . Еще одна точка при  $\omega = 0$  определяется по кривой разгона.

Гармонические воздействия на вход объекта можно подавать при помощи специальной аппаратуры. Основным элементом такой аппаратуры является генератор синусоидальных колебаний, частоту которых можно изменять в широких пределах. Такие генераторы, как правило, используют для подачи сигналов на соответствующее изменение уставок регуляторов.

Однако в распоряжении исследователя не всегда имеется специальная аппаратура для получения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) объектов. Поэтому исследования АЧХ можно проводить путем подачи на вход объекта периодических колебаний типа прямоугольной, трапецидальной или треугольной волны (рис. 20). Значения входной величины при этом изменяют с периодом  $T_0 = 2\pi/\omega$ , то есть регулирующий орган переключают через время, равное  $\pi/\omega$ . Предпочтение в опыте следует отдавать прямоугольной волне. Трапецидальную волну считают практически прямоугольной, если время нарастания входного воздействия  $t_{\text{в}}$  не превышает 15% от периода колебаний.

При осуществлении опытов следует предварительно приводить объект в установившееся состояние, выждав необходимое время (от десятков секунд для быстро изменяющихся до нескольких минут для сравнительно медленно изменяющихся величин).

При обработке результатов, полученных из опытов, вычисляют для каждой частоты модуль и аргумент передаточной функции, которые необходимы для построения годографа амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) объекта. Модуль АФХ при гармонических колебаниях определяют как отношение амплитуды выходной к амплитуде входной синусоид. Фазовый сдвиг  $\varphi(\omega)$  вычисляют по временному сдвигу ( $\Delta T$ ) между входными

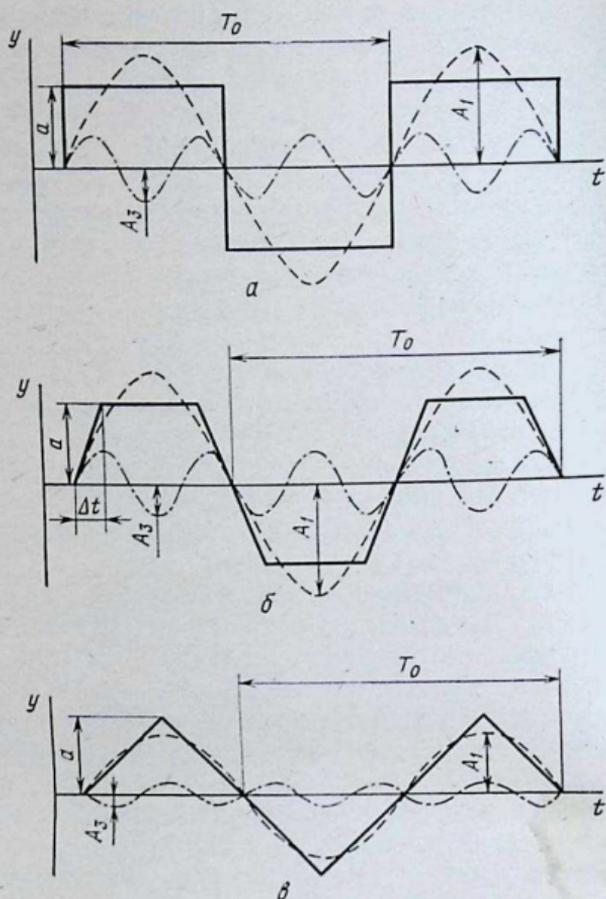


Рис. 20. Периодические колебания на входе объекта:

*a* — прямоугольная волна; *б* — трапецидальная волна; *в* — треугольная волна

и выходными колебаниями, совмещенными на одной диаграмме,

$$\varphi(\omega) = -\frac{\Delta T}{T_0} 360^\circ. \quad (34)$$

Если на вход объекта во время опыта подавалось воздействие типа прямоугольной, трапецидальной или треугольной волны, то необходимо предварительно разложить несинусоидальные периодические колебания в гармонический ряд.

При этом амплитуда первой гармоники для прямоугольных колебаний [38].

$$A_1 = \frac{4a}{\pi} = 1,27a, \quad (35)$$

где  $a$  — амплитуда прямоугольных входных воздействий.

Для трапецеидальных колебаний

$$A_1 = \frac{4a}{\pi\omega t_B} = 1,27 \frac{a}{\omega t_B}, \quad (36)$$

где  $\omega$  — частота колебаний,  $c^{-1}$ ;  $t_B$  — время нарастания входного воздействия,  $c$ .

Для колебаний треугольной формы

$$A_1 = \frac{8a}{\pi^2} = 0,8a. \quad (37)$$

Прямоугольная волна, как и другие рассматриваемые периодические колебания, не содержит четных гармоник, поэтому при разложении в гармонический ряд можно определить амплитуду третьей, пятой и других нечетных гармоник. Практическое значение из высших гармоник иногда имеет лишь третья, амплитуду которой нетрудно вычислить по формулам, приводимым в литературе (см., например, [38]). Параметры гармонических составляющих (третьей и др.) могут быть использованы при построении годографа как дополнение к материалам, полученным в опытах при высоких частотах колебаний, или вместо них. При этом необходимо провести гармонический анализ не только входной, но и выходной величины по методам, изложенным в литературе [38]. Фазовый сдвиг  $\varphi(\omega)$  для трапецеидальной и треугольной волны определяется так же, как и для прямоугольной.

По модулю передаточной функции  $M(\omega)$  и фазовому сдвигу  $\varphi(\omega)$ , полученным из опытов для разных частот, нетрудно построить годограф передаточной функции или амплитудно-фазовую частотную характеристику (рис. 21). По годографу можно определить динамические параметры объекта  $T$ ,  $\tau$  и  $k_{об}$  для случая, когда объект представляется сочетанием двух элементарных звеньев: инерционного (апериодического) и чистого запаздывания.

Коэффициент передачи объекта  $k_{об}$  равен радиусу-вектору годографа для частоты  $\omega = 0$ , то есть отрезку,

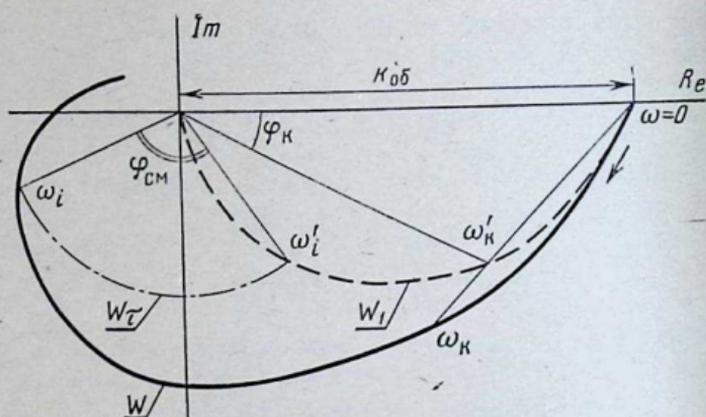


Рис. 21. Определение динамических параметров объекта по экспериментальному годографу:  $W_i$ ,  $W_\tau$ ,  $W$  — передаточные функции соответственно инерционного звена, звена чистого запаздывания, общего звена.

отсекаемому на положительном направлении оси абсцисс. Чтобы определить другие параметры, необходимо построить на этом же графике годограф инерционного (апериодического) звена (пунктирная полуокружность диаметром  $k_{об}$ ).

Неодинаковость годографов передаточных функций инерционного звена и реального объекта объясняется наличием звена чистого запаздывания. Если вектор передаточной функции реального объекта для частоты  $\omega_i$  переместить на годограф инерционного звена в точку  $\omega'_i$ , то длина дуги смещения в радианах  $\varphi_{см} = \omega_i \tau$ . Откуда время запаздывания объекта

$$\tau = \varphi_{см} / \omega_i. \quad (38)$$

Постоянную времени объекта определяют по какой-либо точке годографа инерционного звена, частота которой известна из соотношения

$$T = \text{tg } \varphi_k / \omega_k. \quad (39)$$

Для определения динамических параметров объектов не обязательно строить АФХ. Достаточно иметь данные о входных и выходных величинах для нескольких частот колебаний. При этом можно воспользоваться аналитическими зависимостями, приводимыми в литературе [46]. По первым гармоникам входной и выходной

величин сначала определяют модуль передаточной функции  $M(\omega)$  и фазовый сдвиг  $\varphi(\omega)$ .

Если объект с самовывравниванием (статический) и аппроксимируется аperiodическим звеном первого порядка, то передаточный коэффициент объекта

$$k_{об} = M(\omega) \sqrt{1 + [\operatorname{tg} \varphi(\omega)]^2}, \quad (40)$$

а постоянная времени

$$T = \frac{1}{\omega} \operatorname{tg} \varphi(\omega). \quad (41)$$

Если объект аппроксимируется аperiodическим звеном с запаздыванием, то параметры  $k_{об}$ ,  $T$  и  $\tau$  определяют из выражений

$$k_{об} = M(\omega) \sqrt{1 + [\operatorname{tg} \varphi(\omega)]^2}, \quad (42)$$

$$T = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left[ \frac{k_{об}}{M(\omega)} \right]^2 - 1}, \quad (43)$$

$$\tau = \frac{1}{\omega} [\varphi(\omega) - \operatorname{arctg}(\omega T)]. \quad (44)$$

Иногда объект с самовывравниванием целесообразно аппроксимировать аperiodическим звеном второго порядка с параметрами  $k_{об}$ ,  $T_1$  и  $T_2$ . Эти параметры определяются из следующих соотношений:

$$k_{об} = M(\omega) \sqrt{1 + [\operatorname{tg} \varphi(\omega)]^2}, \quad (45)$$

$$T_1 = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \omega T_2}{\omega [1 + \omega T_2 \operatorname{tg} \varphi(\omega)]}, \quad (46)$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left[ \frac{M(\omega)}{k_{об}} \right]^2 (1 + \omega^2 T_1^2) - 1}. \quad (47)$$

Для объекта без самовывравнивания (астатического): при аппроксимации объекта интегрирующим звеном с передаточной функцией  $W(p) = \frac{\varepsilon_{об}}{p}$

$$\varepsilon_{об} = M(\omega) \omega; \quad (48)$$

при аппроксимации объекта интегрирующим звеном с запаздыванием (передаточная функция  $W(p) = \frac{\varepsilon_{об}}{p} e^{-\tau p}$ )

$$\varepsilon_{об} = M(\omega) \omega; \quad \tau = \frac{2\varphi - \pi}{2\omega}; \quad (49)$$

при аппроксимации объекта интегрирующим и аperiodическим звеньями с общей передаточной функцией

$$W(p) = \frac{\varepsilon_{об}}{p(Tp + 1)}$$

$$\varepsilon_{об} = M(\omega) \omega \sqrt{1 + \left\{ \operatorname{tg} \left[ \varphi(\omega) - \frac{\pi}{2} \right] \right\}^2}, \quad (50)$$

$$T = \frac{1}{\omega} \operatorname{tg} \left[ \varphi(\omega) - \frac{\pi}{2} \right]^2. \quad (51)$$

Параметры объектов следует вычислять для нескольких частот с целью получения усредненных величин.

Необходимо отметить, что при использовании методов активного эксперимента для определения характеристик объектов возникают некоторые трудности. Во-первых, часто не удается выделить в чистом виде реакцию объекта на заданное входное воздействие из-за неконтролируемого влияния на объект многих возмущающих воздействий. Во-вторых, не всегда допустимо искусственное вмешательство в ход технологического процесса, так как это может повлиять на устойчивость процесса, вызвать появление недопустимых режимов, дополнительный расход сырья и продукции и т. п. В связи с этим все шире начинают применять метод пассивного эксперимента.

**Пассивный метод** экспериментального исследования объекта основан на длительном наблюдении и регистрации текущих входных и выходных величин в процессе нормальной эксплуатации объекта. Поскольку собранные данные имеют случайный характер, их обрабатывают методами математической статистики, в результате чего получают необходимые характеристики.

Статическую характеристику объекта по данным пассивного эксперимента можно получить при помощи метода наименьших квадратов [3]. Предварительно задаются видом аналитической функции, связывающей входную и выходную величины. Это может быть линейный или нелинейный многочлен.

В простейшем случае этот многочлен имеет вид

$$x_{вых} = a_0 + a_1 x_{вх}. \quad (52)$$

Из условия минимального отклонения опытных значений входных и выходных величин от заданной функ-

ции получены выражения для определения коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  аппроксимирующего уравнения [3]

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i} \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i} x_{\text{вых}i} - \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i}^2 \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вых}i}}{\left( \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i} \right)^2 - N \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i}^2}; \quad (53)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i} \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вых}i} - N \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i} x_{\text{вых}i}}{\left( \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i} \right)^2 - N \sum_{i=1}^{i=N} x_{\text{вх}i}^2}, \quad (54)$$

где  $N$  — общее число наблюдений;  $x_{\text{вх}i}$ ,  $x_{\text{вых}i}$  — значения входных и выходных величин, полученные из опытов.

Динамические параметры объекта и его передаточную функцию по данным пассивного эксперимента можно определить при помощи корреляционных функций и спектральных плотностей, характеризующих случайные процессы, полученные из опытов [3].

Проще всего использовать значения спектральной и взаимной спектральной плотностей. Для линейных систем спектральная плотность выходной величины пропорциональна спектральной плотности входной величины. При этом коэффициентом пропорциональности является квадрат модуля частотной передаточной функции для соответствующей частоты гармонических составляющих случайных процессов

$$S_{x_{\text{вых}}}(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_{x_{\text{вх}}}(\omega). \quad (55)$$

Частотная передаточная функция объекта определяется как отношение взаимной спектральной плотности входного и выходного сигналов к спектральной плотности входного сигнала

$$W(j\omega) = |W(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)} = \frac{S_{x_{\text{вых}x_{\text{вх}}}}(\omega)}{S_{x_{\text{вх}}}(\omega)}. \quad (56)$$

Решая совместно уравнения (55) и (56), получим

$$e^{j\varphi(\omega)} = \frac{S_{x_{\text{вх}x_{\text{вых}}}}(\omega)}{\sqrt{S_{x_{\text{вх}}}(\omega) S_{x_{\text{вых}}}(\omega)}}. \quad (57)$$

Используя формулу Эйлера и отбрасывая мнимую часть, так как для рассматриваемых процессов характеристики действительные, получим

$$\cos \varphi(\omega) = \frac{S_{x_{\text{ВЫХ}} x_{\text{ВХ}}}(\omega)}{\sqrt{S_{x_{\text{ВХ}}}( \omega) S_{x_{\text{ВЫХ}}}( \omega)}}. \quad (58)$$

Откуда

$$\varphi(\omega) = \arccos \frac{S_{x_{\text{ВХ}} x_{\text{ВЫХ}}}(\omega)}{\sqrt{S_{x_{\text{ВЫХ}}}( \omega) S_{x_{\text{ВХ}}}( \omega)}}. \quad (59)$$

Таким образом, чтобы определить частотную передаточную функцию объекта, необходимо знать спектральные плотности входного и выходного сигналов и их взаимную спектральную плотность. Эти значения на практике удобнее рассчитывать через соответствующие корреляционные и взаимную корреляционную функции.

Для определения значения корреляционной функции случайного сигнала необходимо иметь его реализацию (график изменения во времени). Диаграмму процесса приводят к нулевому среднему значению (центрируют) и затем разбивают по оси абсцисс на  $N$  равных интервалов (рис. 22).

Корреляционную функцию вычисляют по формуле

$$R_{x_{\text{ВХ}} \tau} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N+1} x_i(t) x_i(t + \tau). \quad (60)$$

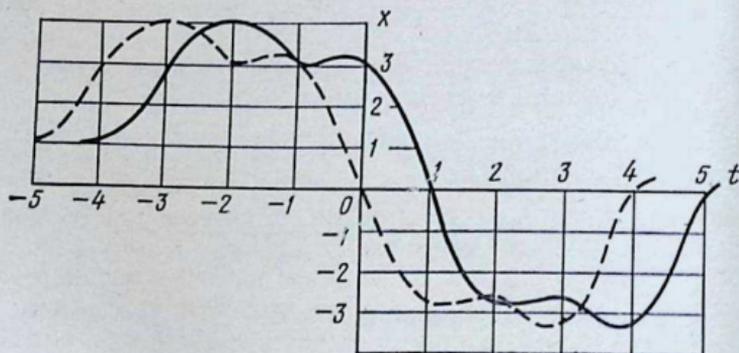


Рис. 22. К определению корреляционной функции случайного процесса.

Например, для приведенного на рисунке 22 графика,

$$R_{(\tau=1)} = \frac{1 \cdot 3 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 3 + 3 \cdot 3,2 + 3,2 \cdot 0,2 + 0,2(-2,5) + (-2,5)(-2,6) + (-2,6)(-3,1) + (-3,1)0,1}{8} = 6,38.$$

Размерность корреляционной функции — квадрат размерности входной величины.

Аналогичным образом определяют взаимную корреляционную функцию  $R_{x_{\text{вых}}x_{\text{вх}}}$  для кривых входного и выходного сигналов. Для удобства расчетов эти кривые должны быть изображены на одном графике. Переход от корреляционных функций к спектральным плотностям производится по формуле [28]

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (61)$$

Чтобы получить передаточную функцию объекта в операторной форме, можно воспользоваться логарифмическими частотными характеристиками [3]. Для этого строят логарифмическую частотную характеристику модуля частотной передаточной функции, определенного по формуле (55). Полученную криволинейную характеристику аппроксимируют отрезками прямых линий (горизонтальными и наклонными с крутизной 20 дБ/декаду, 40 дБ/декаду и т. д.). Передаточный коэффициент определяют по логарифму смещения горизонтальной части характеристики от оси абсцисс, а постоянные времени — по сопрягающим частотам.

### 1.5.3. Выбор типа регулятора в зависимости от свойств объектов управления

Динамические свойства систем автоматического управления определяются как свойствами объекта, так и характеристиками автоматического регулятора. В связи с этим при проектировании автоматизации того или иного объекта управления регулятор необходимо выбирать на основании свойств объекта — коэффициента передачи, времени разгона, времени запаздывания и коэффициента самовыравнивания.

Установлено [38], что критерием правильного выбора вида регулятора может служить значение отношения

времени запаздывания объекта к его постоянной времени, то есть  $\tau/T$ . Если значение этого отношения меньше единицы, то выбирают регулятор непрерывного действия (пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный, пропорционально-интегрально-дифференциальный). При  $\tau/T < 0,2$  наиболее целесообразным является двухпозиционный релейный регулятор, а при  $\tau/T > 1$  выбирают регулятор импульсного типа.

При выборе вида регулятора необходимо учитывать также характер регулирующего воздействия на объект.

## 1.6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Автоматические системы по функциональным признакам можно подразделить на системы контроля, регулирования, программного управления, сигнализации, автоматической защиты и блокировки. Проектирование автоматических систем начинают с выбора управляемых, регулируемых, контролируемых и сигнализируемых величин. Затем разрабатывают функциональные схемы, являющиеся основным техническим документом проектов автоматизации.

После функциональных схем и на их основе разрабатывают принципиальные электрические (пневматические, гидравлические) схемы, а также схемы соединения и подключения. Принципиальные схемы являются основным техническим документом, по которому осуществляется монтаж, наладка и эксплуатация автоматических систем и устройств.

Для сложных автоматических систем с централизованным управлением разрабатывают мнемосхемы, облегчающие работу операторов по управлению технологическими процессами производства.

Проектируемая автоматическая система должна обеспечивать достижение цели управления в любых условиях и при этом быть простой и надежной в эксплуатации. Важное значение имеет минимизация числа параметров контроля и управления.

**Системы автоматического контроля** предназначены для получения информации о состоянии объекта и о режиме его работы. Контролю подлежат те величины, знание которых необходимо для осуществления пуска, наладки и нормального ведения технологического процесса. К контролируемым параметрам относятся нерегулируе-

мые режимные параметры и входные воздействия, при изменении которых на объект будут действовать возмущающие воздействия. При выборе контролируемых параметров следует руководствоваться тем, чтобы при минимальном числе они давали наиболее полное представление о контролируемом процессе.

Иногда, чтобы получить информацию о технико-экономических показателях процесса, необходимо контролировать количество и качество конечного продукта, количество потребляемой тепловой и электрической энергии, воды, пара, газа и т. п.

Автоматический контроль может осуществляться при помощи отдельных приборов, предназначенных для визуального наблюдения за параметрами процесса, а также при помощи системы контроля, во многих случаях являющейся составной частью систем управления, регулирования и защиты.

К группе приборов контроля относятся манометры, термометры, влагомеры, уровнемеры, расходомеры, счетчики, газоанализаторы и др. Контрольно-измерительные приборы устанавливаются непосредственно у агрегатов и установок (местный контроль), а также на щитах и пультах управления (дистанционный контроль). Для дистанционных систем большое значение имеют устройства оббегающего контроля (например, с шаговым искателем), позволяющие автоматически измерять многочисленные параметры при помощи одного или небольшого числа приборов.

Системы и устройства автоматического контроля являются разомкнутыми с односторонним направлением воздействий от управляемого объекта к контрольно-измерительным приборам. Функциональная технологическая схема автоматического контроля параметров в гидропонной теплице показана на рисунке 23.

Если необходимо контролировать большое число идентичных параметров сложного разветвленного производства, применяют специальные машины централизованного контроля. Отечественная промышленность выпускает машины многоточечного контроля и регулирования типа «Марс», «Амур», «Зенит» и др. Далее приводятся некоторые данные, характеризующие машины централизованного контроля.

*Машина «Марс-300»* предназначена для контроля 300 параметров технологических процессов. В качестве пер-

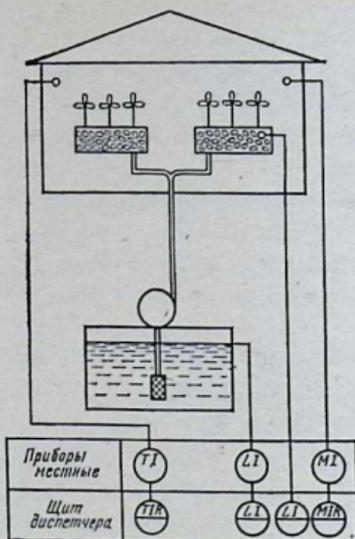


Рис. 23. Функциональная схема автоматического контроля в гидропонной теплице.

му управления поступает сигнал, включающий соответствующую сигнальную лампу и звуковую сигнализацию. После этого датчик подключается к электронным потенциометрам ЭПВ (в случае термопар) или к ЭПВИ (в случае дифференциально-трансформаторных датчиков), встроенным в машину.

Одновременно предельное значение параметра регистрируется печатающей машинкой с указанием номера точки (датчика). Машинка через каждые 20 мин регистрирует важнейшие параметры процесса на бланке черным или красным цветом, для чего имеется вторая печатающая машинка. Машинка «Марс-300» позволяет также регистрировать сигнал с любого датчика по вызову. Она имеет устройство самоконтроля. При исправной работе ставится знак проверки, а при наличии неисправности включается световой сигнал.

Машинка «Марс-200Р» предназначена для централизованного контроля и позиционного регулирования температуры в 200 точках с цифровой регистрацией ее отклонения от заданного значения. Она может работать в комплекте с термопарами типа ХК, ХА и др.

вичных приборов используются термопары и датчики дифференциально - трансформаторного типа. Переключение производится со скоростью десять датчиков в секунду. Уставки (верхние и нижние предельные значения параметров) для термопар задаются при помощи магазина напряжений, а для датчиков дифференциально - трансформаторного типа — при помощи индивидуальных потенциометров. Датчик и уставка включаются по компенсационной схеме встречно; разность их напряжений подается на вход электронного усилителя. При достижении параметром предельного значения с усилителя в схе-

При отклонении температуры в любой контролируемой точке от заданного значения машина осуществляет световую сигнализацию по каждой точке в отдельности, цифровую регистрацию красным цветом на бланке печатающего устройства времени отклонения, номера точки и фактического значения температуры, а при необходимости также включает в действие схему блокировки. При возвращении отклонившейся точки к заданному значению выключается схема блокировки и световая сигнализация. Время обегания каждой контролируемой точки 0,3 с. При регистрации температуры остановка обегającego устройства не превышает 6 с.

Машина «Марс-100» предназначена для периодической регистрации и обнаружения отклонений 100 параметров. Отличительной особенностью машины является разнообразие датчиков, с которыми она может работать (термометры сопротивления, дифманометры ДМ-6, ротаметры РЭД, концентратомеры).

Каждые 20 мин машина регистрирует все значения параметров и одновременно сравнивает эти значения с уставками. В случае отклонений включается сигнализация, а значение параметра печатается красным цветом. Опрос датчиков производится каждую минуту. При отклонении температуры машина осуществляет дополнительную проверку с применением компенсационного метода. Если отклонение подтверждается, включается сигнализация и производится регистрация параметра.

В машине предусмотрен самоконтроль. При неисправности основных блоков происходит автоматическое переключение на запасные. Скорость обегания пять точек за секунду.

Машины «Зенит-1», «Зенит-2» и «Зенит-3» предназначены для централизованного контроля сложных непрерывных технологических процессов и выполняют следующие функции: обнаружение и сигнализацию (световую и звуковую) отклонений, цифровую регистрацию величины и переходов их через уровни сравнения, измерение по вызову оператора, позиционное регулирование. Машина «Зенит-3», кроме того, осуществляет П- и ПИ-регулирование. Машины отличаются одна от другой в основном числом точек контроля.

Машина «Амур-80» предназначена для контрольного измерения температуры по вызову оператора и автоматического позиционного регулирования. Работает с тер-

мометрами сопротивления и другими датчиками, в которых изменение контролируемого параметра преобразуется в изменение омического сопротивления. Число контролируемых точек выбирается заказчиком в пределах от 40 до 80, но обязательно кратное десяти, то есть 40, 50, 60, 70 и 80. Уставка задается для каждой точки отдельно. В машине имеются устройства контроля и сигнализации неисправностей во внешних и внутренних цепях.

**Системы автоматического регулирования** предназначены для поддержания постоянного значения параметров процесса (стабилизирующие автоматические системы), а также для изменения их по заранее заданному или неизвестному закону (программные, следящие, экстремальные автоматические системы). В этих системах информация о состоянии параметров при помощи датчиков поступает в управляющее устройство и затем в исполнительные органы, через которые автоматическая система воздействует на объект, изменяя управляемые параметры в требуемом направлении. Системы автоматического регулирования являются замкнутыми системами: в них воздействия передаются как от объекта к управляющему устройству (контрольные воздействия), так и от управляющего устройства к объекту (управляющие воздействия). Эти системы составляют наиболее важную группу автоматических систем управления технологическими процессами.

Управляемые (регулируемые) величины, как правило, известны из задания на проектирование. Вместе с тем во многих случаях необходимо проводить исследование статических и динамических характеристик объекта и анализировать технологический процесс с точки зрения влияния возмущающих воздействий и возможности их подавления до поступления в объект.

Только хорошее знание процесса и управляемого объекта позволяет правильно выбрать параметры регулирования и регулирующие воздействия. При выборе регулируемых параметров следует определять целевое назначение процесса и устанавливать его взаимосвязь с другими процессами производства.

Из параметров процесса выбирают такой (или такие), который наиболее полно характеризует процесс, является показателем его эффективности. Если это касается конечного продукта, то выбирают параметр, ха-

рактизирующий количество, качество или себестоимость этого продукта.

Анализ статических и динамических характеристик позволяет выбрать каналы, по которым регулирующие воздействия вносятся наиболее эффективно.

Особое внимание необходимо обратить на стабилизацию или ослабление возмущающих воздействий, что повышает качество регулирования процесса.

Для сложных объектов (многоемкостных, многосвязных с несколькими регулируемыми величинами) используют различные способы уменьшения взаимного влияния одного параметра на другой, например, путем введения в цепь регулирования компенсирующих внешних связей между регуляторами. Примеры некоторых типовых решений автоматического регулирования процессов приведены в разделе «Типовые решения автоматизации процессов».

В системах управления сложными разветвленными производственными процессами задачи обслуживающего персонала чрезвычайно усложняются. От него требуется хорошее знание процессов, большой опыт, способность быстро оценивать обстановку, принимать правильные решения. При этом если обработка информации связана со сложными и громоздкими математическими вычислениями, требующими значительного времени, то управляющие воздействия будут вноситься с большим опозданием и хороших экономических показателей достичь не удастся. Решение задач оптимального управления в таких случаях путем простого увеличения числа обслуживающего персонала невозможно. Это обстоятельство обусловило создание автоматизированных систем с использованием современной электронной вычислительной техники, в том числе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Вычислительные машины, применяемые в управлении производством, собирают многочисленную информацию о ходе технологических процессов, ведут запись параметров и сигнализацию их предельных значений, производят сложные технико-экономические расчеты, вырабатывают и осуществляют управляющие воздействия. Управлять производственными процессами на крупных и сложных технологических объектах без использования новейших средств вычислительной техники либо неэффективно, либо невозможно. Все управляющие машины, применяемые

в автоматических системах, в зависимости от технических возможностей и выполняемых функций подразделяют на три группы: универсальные вычислительные машины, машины централизованного контроля и управления, специальные управляющие машины.

*Универсальные вычислительные машины* используют для проведения сложных математических вычислений. Эти машины через некоторые интервалы времени рассчитывают технико-экономические показатели и находят значения регулируемых величин, обеспечивающие оптимальное ведение процесса. Универсальные машины часто работают в режиме «советчика» оператора. Оператор анализирует эти «советы», учитывает информацию о процессе, получаемую с различных контрольно-измерительных приборов, а также свой опыт и изменяет вручную задания регуляторам.

За последние годы средства вычислительной техники существенно обновились. Наша промышленность стала выпускать универсальные и специальные мини-ЭВМ, производительность которых сравнима с производительностью средних ЭВМ, но на порядок более дешевые.

В СССР выпускаются и находят широкое применение в народном хозяйстве следующие модели мини-ЭВМ: М-7000, М-6000, СМ-1, СМ-2, СМ-3, СМ-4, ЕС-1010, «Электроника-200», М-40 комплекса АСВТ-М и др. [40, 63].

Мини-ЭВМ серии АСВТ-М отличаются тем, что они выполнены на унифицированных типовых конструкциях в виде отдельных модулей, позволяющих компоновать как отдельные приборы, так и сложные управляющие комплексы.

*Машины централизованного контроля и управления* иногда называют еще информационными машинами. Их широко применяют для управления большим числом однотипных простых объектов. Эти машины получают сигналы от датчиков, сравнивают их значения с заданными, регистрируют управляемые величины, подают управляющие сигналы на исполнительные органы, осуществляющие позиционное регулирование. Типы машин централизованного контроля и управления упоминались ранее.

*Специальные управляющие машины* снабжаются алгоритмом управления, разрабатываемым в соответствии с целью управления, свойствами объекта и необходимостью оптимизации технологических процессов. Специаль-

ные управляющие машины имеют устройство ввода информации, предназначенное для сбора, унификации и кодирования получаемой информации; запоминающее устройство для приема, хранения и выдачи исходных и промежуточных данных, а также конечных результатов; арифметическое устройство, которое выполняет арифметические и логические операции с исходными данными; устройство (пульт) управления, предназначенное для управления технологическим процессом по командам, извлекаемым из запоминающего устройства; устройство вывода и регистрации контролируемых и управляемых величин.

При проектировании автоматических систем с применением вычислительной техники выполняется технико-экономическое обоснование проектируемой системы, разрабатываются машинные алгоритмы управления, рабочие программы и программы, используемые в математическом обеспечении системы. Указанные документы готовятся, как правило, при проведении научно-исследовательских работ, предшествующих проектированию автоматических систем, в которых используются электронные вычислительные машины. Срок окупаемости таких систем не должен превышать 2...3 года. В противном случае применять автоматические системы с использованием ЭВМ нецелесообразно.

**Системы программного управления** служат для автоматического управления технологическими процессами путем включения и отключения различных механизмов, машин и аппаратов по заранее заданной программе, являющейся функцией времени. Эти системы применяются для управления объектами периодического действия, а также при автоматизации хорошо изученных процессов, поддающихся расчету, в которых возмущающие воздействия могут быть учтены и компенсированы.

В программных системах управления используют разного рода программные устройства, такие, как КЭП-12У, МКП, КА-24, 2РВМ, ВС-10 и др. Например, командный электропневматический прибор КЭП-12У в соответствии с заданной на его программном валике последовательностью посылает пневматические и электрические сигналы на исполнительные устройства (рис. 24).

**Автоматические устройства и схемы сигнализации** служат для автоматического оповещения обслуживающе-

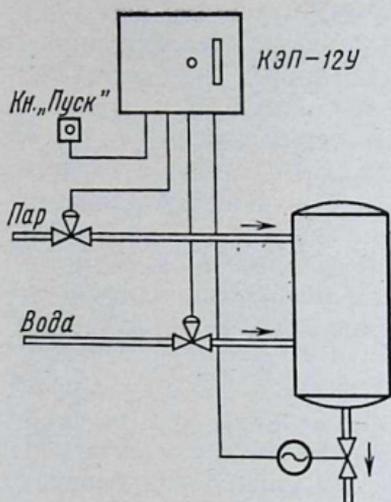


Рис. 24. Система программно-го управления.

го персонала о наступлении тех или иных событий в управляемом объекте путем подачи световых и звуковых сигналов. Световые сигналы подаются при помощи электрических ламп, звуковые — при помощи звонков, сирен и гудков. Используются также автоматические устройства, подающие одновременно световой и звуковой сигналы, причем звуковой сигнал служит лишь для оповещения оператора о факте появления события, а световой указывает на место и характер данного события.

В таких схемах звуковой сигнализатор работает с несколькими световыми.

Различают два вида сигнализации: контрольную и технологическую, причем технологическая сигнализация может быть предупредительной и аварийной.

*Контрольная сигнализация* указывает на состояние объекта (включен, отключен) и на положение регулирующих органов в данный момент (открыты, закрыты). В схемах контрольной сигнализации применяют сигнальные лампы разного цвета (белого, зеленого, красного, синего и др.).

Простейшие схемы контрольной сигнализации показаны на рисунке 25. Схема на рисунке 25, а служит для сигнализации о состоянии исполнительного электродвигателя (включен, отключен). При отключенном электродвигателе горит зеленая лампа ЛЗ; при включенном — красная лампа ЛК (ЛЗ отключена).

Для того чтобы отделить цепи управления от цепей сигнализации, устанавливают промежуточное реле Р2 (рис. 25, б), катушка которого получает питание через контакты магнитного пускателя Р1. В этой схеме о включении электродвигателя сигнализирует лампа Л1, а об отключении — лампа Л2.

При использовании в схемах управления универсальных переключателей контрольная сигнализация мо-

жет включаться через их контакты, то есть сигнализация в этом случае строится по принципу соответствия положения универсального переключателя режиму работы установки.

Для сигнализации конечных положений запорных устройств (задвижек, заслонок, клапанов, вентилей и т. п.) применяют схемы, в которые вводят контакты конечных выключателей.

*Предупредительная технологическая сигнализация* оповещает оператора об отклонениях параметров процесса, свидетельствующих о возникновении предаварийного режима. Оператор при получении такого сигнала должен срочно принять меры для предотвращения аварии. В схемах предупредительной сигнализации контакты датчиков сигнализируемых величин включаются в цепи питания сигнальных ламп и звуковых сигнализаторов

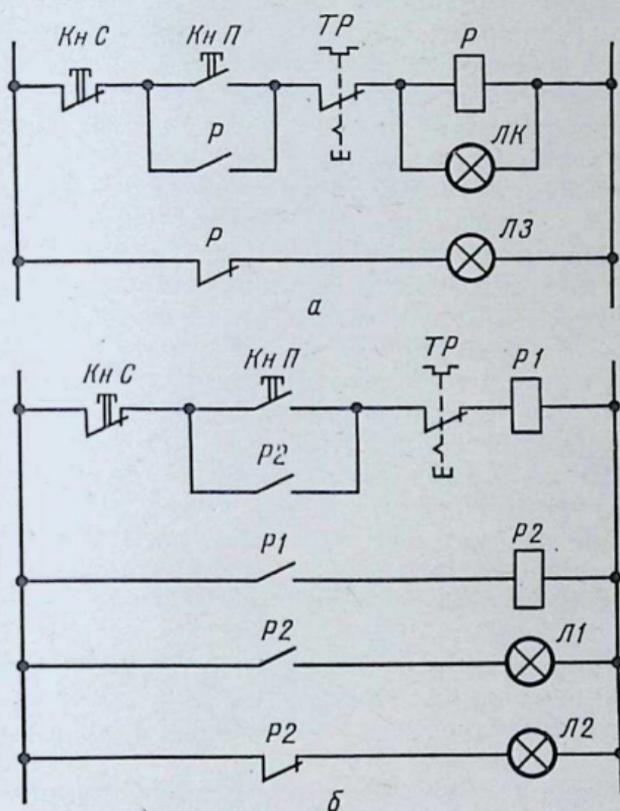


Рис. 25. Схемы контрольной сигнализации.

непосредственно или через промежуточные реле. В цепях сигнализации предусматриваются кнопки снятия звукового сигнала. Кроме того, для проверки исправности системы сигнализации в схемах устанавливают специальные контрольные кнопки.

*Аварийная сигнализация* оповещает оператора о недопустимых значениях параметров процесса, о возникших поломках или отключении установки. Обычно аварийные сигналы подаются мигающим светом и звуками резкого тона, так как в этом случае требуется немедленное вмешательство обслуживающего персонала в ход процесса (работу установки, агрегата). Одновременно появлением сигналов об аварии должны срабатывать устройства автоматической защиты, блокировки и т. п.

Технологической сигнализации подлежат в первую очередь параметры, изменение которых может привести к аварии или серьезному нарушению технологического процесса (например, давление в котле, концентрация взрывоопасного вещества в атмосфере и помещении и т. п.). Сигнализация также срабатывает, если прекратилась подача теплоносителей, электроэнергии, хладагента, появился брак продукции и т. п.

**Устройства и схемы автоматической защиты** предназначены для предотвращения аварий на производстве. Эти устройства должны реагировать на нарушение нормального режима работы установки (агрегата) и воздействовать на управляемый объект таким образом, чтобы предаварийный режим не перешел в аварийный. В некоторых случаях устройства автоматической защиты сами восстанавливают нормальный режим работы установки, но чаще всего они отключают установку от источников питания и управляющих воздействий.

Проектант должен стремиться изыскать такие защитные устройства, которые могли бы предотвратить аварию без останова агрегата, особенно если агрегат является сложным и трудно вводимым в действие (в нормальный режим).

Например, защита от повышения давления в паровом котле осуществляется предохранительными клапанами, открывающими отверстия в атмосферу для снижения давления.

**Устройства и схемы автоматической блокировки** служат для предотвращения неправильной последовательности включений и отключений машины, механизмов и ап-

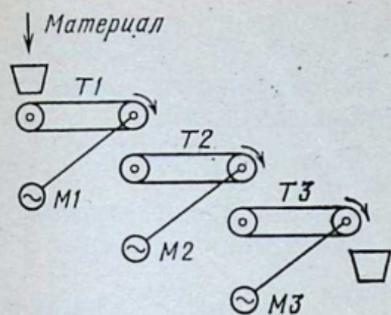


Рис. 26. Схема последовательной работы транспортеров.

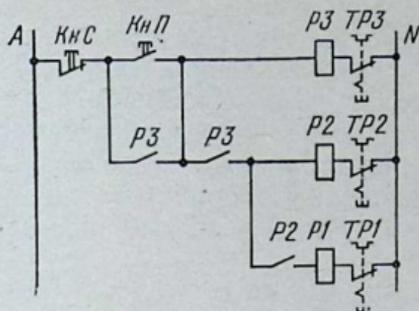


Рис. 27. Принципиальная схема блокировок.

паратов. Эти устройства приобретают большое значение при комплексной автоматизации, при создании автоматизированных поточных линий.

Например, в системе последовательно работающих транспортеров (рис. 26) включение должно производиться против хода материала, то есть первым должен быть включен транспортер ТЗ, а последним Т1. Наоборот, отключение должно осуществляться по ходу материала.

Если последовательность включения и отключения механизмов поточной линии будет нарушена, то произойдет завал одного механизма (остановленного) материалом.

Определенная последовательность включения и отключения механизмов обеспечивается путем введения блокировочных контактов в принципиальные схемы управления электродвигателями поточной линии. Например, для правильной работы приведенной системы транспортеров должна быть применена принципиальная схема, показанная на рисунке 27.

### 1.7. ВЫБОР КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Системы автоматического контроля и управления технологическими процессами в сельском хозяйстве должны строиться, как правило, на базе серийно выпускаемых приборов, средств автоматизации и вычислительной техники [5].

При выборе аппаратуры необходимо учитывать параметры контролируемой и окружающей среды (температуру, давление, состав среды, влажность, запыленность, наличие вибраций, электрические свойства, а также условия контроля и измерения), размеры и характер контролируемого объекта, расстояние между точкой измерения и вторичным прибором, механические воздействия (удары, вибрацию), наличие источников питания и др.

Кроме того, должны быть выдержаны требования к средствам автоматики, предъявляемые технологическим процессом (по точности, чувствительности, инерционности), а также требования охраны труда, техники безопасности и противопожарные условия.

Необходимо стремиться применять унифицированную аппаратуру: приборы одной информационной системы, одного завода-изготовителя и т. д., что облегчит обслуживание системы и позволит сократить число запасных приборов и средств автоматизации.

При выборе приборов нужно руководствоваться следующими метрологическими показателями:

для контроля и регулирования производственных процессов с высокой точностью применять приборы класса точности 0,2 (погрешность  $\pm 0,2\%$ ) со стандартной шириной поля записи 250 мм;

для измерения, регистрации и регулирования технологических процессов, допускающих применение приборов средней точности измерения и записи, использовать приборы точности 0,5 (погрешность  $\pm 0,5\%$ ) со стандартной шириной поля записи 160 мм;

для мнемонических схем, пультов контроля и сигнализации в системах автоматического регулирования технологических процессов, не требующих высокой точности, применять приборы класса точности 1,0 ( $\pm 1\%$  погрешности) с шириной поля записи 100 мм;

шкалы показывающих и самопишущих приборов выбирать таким образом, чтобы характерные значения измеряемых величин укладывались во вторую половину или в последнюю треть шкалы; в некоторых случаях приходится устанавливать несколько приборов с разными шкалами для контроля одной и той же величины при разных режимах работы (например, температуры теплоносителя в сушилках при разных режимах сушки продуктов).

При выборе измерительных устройств необходимо учитывать инерционность прибора, которая должна быть значительно меньше инерционности объекта.

Если динамические свойства объекта характеризуются передаточной функцией

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об} e^{-\tau_{об} p}}{T_{об} p + 1}, \quad (62)$$

а динамические свойства измерительной системы функцией

$$W_{изм}(p) = \frac{k_{изм} e^{-\tau_{изм} p}}{T_{изм} p + 1}, \quad (63)$$

то при выборе метода и средств измерения контролируемой и регулируемой величины следует исходить из условий

$$\begin{aligned} \tau_{изм} &\leq (0,2 \dots 0,3) \tau_{об}, \\ T_{изм} &\leq (0,2 \dots 0,3) T_{об}. \end{aligned}$$

Передаточные функции вторичных приборов (электронных мостов, потенциометров, вторичных приборов для измерения давления расхода и т. п.) можно представить в виде передаточной функции инерционной системы первого порядка без запаздывания

$$W_{изм}(p) = \frac{k_{изм}}{T_{изм} p + 1} \text{ или } W_{втор}(p) = \frac{k_{втор}}{T_{втор} p + 1}, \quad (64)$$

где  $T_{изм} = T_{втор} \approx 0,1 t_{шк}$  ( $t_{шк}$  — время прохождения указателем 100% шкалы при полной нагрузке).

Для определения числового значения параметра в данный момент используют показывающие приборы. По виду отсчетных устройств показывающие приборы можно подразделить на приборы с подвижной стрелкой, приборы с подвижной шкалой и цифровые приборы [5]. Вид отсчетного устройства выбирают в зависимости от функционального назначения прибора (табл. 6).

Измерительные устройства и вторичные приборы выбирают по соответствующим каталогам Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления (Минприбора), справочным пособиям [5], номенклатурным справочникам и т. п.

Необходимо подчеркнуть, что в последние годы была разработана и получила развитие Государственная си-

Таблица 6. Рекомендации по выбору показывающих приборов

Назначение прибора	Вид отсчетного устройства		
	с подвижной стрелкой	с подвижной шкалой	цифровые
Отсчет численного значения параметра	Допустимо	Допустимо	Рекомендуется
Контроль нахождения параметра в зоне «норма»	Рекомендуется	Не рекомендуется	Не рекомендуется
Установка и поддержание заданного параметра (стабилизирующие автоматические системы)	Рекомендуется	Допустимо	Допустимо
Слежение	Рекомендуется	Допустимо	Не рекомендуется

стема приборов и средств автоматизации (ГСП), в которой достигнута высокая степень согласованности между отдельными приборами, входящими в автоматическую систему (приложение 2).

ГСП по виду используемой энергии состоит из электрической, пневматической и гидравлической ветвей. Причем электрическая ветвь подразделяется на электрическую аналоговую и электрическую дискретную ветви.

*Электрическая аналоговая ветвь* имеет элементы с унифицированным выходным сигналом 0...5 мА и 0...20 мА постоянного тока; 0...10 мВ, 0...100 мВ, 0...1 В, 0...10 В постоянного тока; 0...0,25 В, 0...0,5 В, 0...1 В и 0...2 В переменного тока частотой 50 и 400 Гц и др. (ГОСТ 9895—78).

В системах с элементами ГСП могут применяться устройства с нестандартным выходом, но в этом случае системы снабжаются дополнительным устройством (преобразователем), преобразующим нестандартный выходной сигнал устройства в стандартный (унифицированный). Эти связующие элементы называют *нормирующими преобразователями*. Они связывают датчики со вторичными устройствами (вторичными приборами, регуляторами, сигнализаторами, машинами централизованного контроля, управляющими и вычислительными машинами).

В состав *электрической дискретной ветви* ГСП входят релейные, импульсные и цифровые датчики (с ре-

лейным и цифровым выходом), аналого-цифровые преобразователи, цифровые регуляторы и вычислительные устройства, устройства централизованного контроля, цифровые печатающие устройства, дискретные шаговые и кодовые исполнительные механизмы. Эта ветвь еще недостаточно развита.

*Пневматическая ветвь ГСП* основана на использовании пневматических приборов и устройств, в которых в качестве источников энергии применяется сжатый воздух, а носителем информации является пневмосигнал. К числу таких приборов и устройств относятся датчики, измерительные преобразователи, а также исполнительные механизмы с выходными пневматическими сигналами. Диапазон изменения унифицированного пневматического сигнала составляет 0,02...0,1 МПа (ГОСТ 9468—75). К преимуществам пневматических устройств относится простота схем и аппаратуры, надежность их работы, взрыво- и пожаробезопасность.

*Гидравлическая ветвь ГСП* построена на использовании в качестве рабочей жидкости воды (например, электронно-гидравлическая система автоматического регулирования «Кристалл»). В эту ветвь входят датчики давления, разрежения, перепада давлений, гидравлические регуляторы с П- и ПИ-законами регулирования и гидравлические исполнительные механизмы. Эта ветвь пока еще не развита.

Для автоматического регулирования технологических процессов приборостроительная промышленность выпускает целый ряд готовых регуляторов: электронных, электрических, пневматических, гидравлических и комбинированных. Тип регулятора выбирают по виду источника вспомогательной энергии, точности регулирования, качеству регулирования, условиям работы, включая наличие агрессивных газов, пожарной и взрывной опасности и др.

Большое распространение получили выпускаемые нашей промышленностью система регулирования «Каскад», регуляторы типа РПИБ, регулирующие приборы типа РП2, терморегуляторы типа ПТР, пневматическая система «Старт», электронно-гидравлическая система «Кристалл» и др.

Система автоматического регулирования «Каскад» составляет центральную часть электрической аналоговой ветви Государственной системы приборов и рассчитана на работу с выпускаемыми отечественной промышлен-

ностью измерительными приборами с унифицированным выходным сигналом постоянного тока 0...5 мА и 0...20 мА и электрическими однооборотными исполнительными механизмами МЭОБ и МЭОК.

Система «Каскад» предназначена для использования в системах автоматического регулирования разными технологическими процессами [5].

Система имеет блочно-модульное исполнение и состоит из измерительных (И), алгебраических (А), логических (Л), нелинейных (Н) и регулирующих (Р) блоков, динамических (Д) преобразователей, задающих (З), усилительных (У) и вспомогательных (В) устройств. В систему входят также блоки управления БУ21 и БУ12, пусковые и усилительные устройства ПМРТ-69-1, ПМРТ-69-2, У21, У22, блок указателей В12 и исполнительные механизмы МЭОБ-21 и МЭОК-21.

Блоки и устройства системы рассчитаны на эксплуатацию во взрывобезопасных помещениях при температуре окружающего воздуха 5...50°С, относительной влажности 30...80%, барометрическом давлении 84,0...106,5 кПа, если в окружающей среде нет агрессивных паров и газов, при вибрации мест крепления с амплитудой не более 0,1 мм и частотой 5...30 Гц. Допустимая напряженность магнитного поля (постоянного тока или тока промышленной частоты) не более 400 А/м. Напряжение питания от сети переменного тока 220 В, 50 Гц. Группа регулирующих блоков состоит из двух релейных трехпозиционных блоков и двух аналоговых, позволяющих осуществлять П-, ПИ- и ПИД-регулирование.

**Электронные регуляторы РПИБ и корректирующие приборы КПИ** обеспечивают формирование необходимого закона регулирования: П-регулирование за счет воздействия сигнала жесткой обратной связи от датчика положения исполнительного механизма, ПИ-регулирование и ПИД-регулирование.

Конструктивно регуляторы и корректирующие приборы выполнены в виде отдельных блоков (измерительного и электронного), которые смонтированы в общем корпусе и имеют дополнительные стальные чехлы (для механической защиты и как магнитные экраны). Измерительные блоки, применяемые в различных модификациях регуляторов, идентичны для регуляторов РПИБ и корректирующих приборов КПИ.

С индукционными, дифференциально-трансформаторными, реостатными и ферродинамическими датчиками регуляторы РПИБ используются для регулирования уровня, давления, разрежения, расхода жидких и газообразных сред, а также для регулирования содержания в воде для котлов. Для регулирования температуры РПИБ применяют с термометрами сопротивления и термопарами. С датчиками-трансформаторами тока ДТТ-58, индукционными или дифференциально-трансформаторными датчиками регуляторы используются для регулирования электрической активной мощности в однофазных и трехфазных цепях переменного тока.

**Регулирующие приборы типа РП-2** входят в электронную агрегатную унифицированную систему (ЭАУС) [5]. Релейные регулирующие приборы РП-2 функционально и конструктивно состоят из двух блоков: электронного РП-2 и измерительного.

Измерительный блок служит для алгебраического суммирования входных сигналов датчиков, сравнения их с сигналом задатчика, усиления и выдачи сигнала согласования в виде напряжения постоянного тока. Электронный блок служит для усиления и преобразования сигнала, поступающего от измерительного блока, в последовательность импульсов, интегрирование которых обеспечивает получение ПИ-закона регулирования. При подключении внешнего дифференциатора прибор может обеспечить ПИД-закон регулирования. Кроме того, приборы позволяют формировать П- и ПД-законы регулирования.

Приборы РП-2 работают с дифференциально-трансформаторными и ферродинамическими датчиками, термометрами сопротивления, термопарами и токовыми датчиками с унифицированным сигналом 0...5 мА постоянного тока. В связи с этим регулирующие приборы РП-2 могут осуществлять автоматическое управление разными технологическими процессами.

Наряду с приборами, формирующими непрерывный выходной сигнал, имеются разновидности с позиционным выходом для двух- и трехпозиционного регулирования (2РП2 и 3РП2). Блоки с позиционным выходом управляют электрическими исполнительными механизмами.

Регулирующие приборы типа РП-2 получают питание от электрической сети переменного тока 50 Гц напряжением 220 В.

Таблица 7. Модификация терморегуляторов типа ПТР

Диапазон регулиро- вания температур, °С	Маркировка терморегуляторов		
	ПТР-2	ПТР-3	ПТР-П
-30...-5	ПТР-2-02	ПТР-3-02	ПТР-П-02
-10...+15	ПТР-2-03	ПТР-3-03	ПТР-П-03
+5...+35	ПТР-2-04	ПТР-3-04	ПТР-П-04
+30...+60	ПТР-2-05	ПТР-3-05	ПТР-П-05
+50...+100	ПТР-2-06	ПТР-3-06	ПТР-П-06

**Полупроводниковые регуляторы температуры типа ПТР** широким образом применяются в сельском хозяйстве для регулирования температурных режимов в различных технологических процессах и установках [5]. С их помощью регулируют температуру твердых, жидких и газообразных сред (воздуха, почвы, воды, смазочных жидкостей).

В настоящее время выпускаются терморегуляторы выпускаются однопозиционные (ПТР-2), трехпозиционные (ПТР-П) регулирования. Они предназначены для работы совместно с электрическими исполнительными механизмами типа ПР-1М, ПР-М, ИМ-2/120 и другими, имеющими аналогичную схему управления. Основная погрешность не превышает  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Вся серия терморегуляторов имеет пять модификаций в зависимости от диапазона регулирования температур (табл. 7).

В некоторых отраслях промышленности, особенно в химической, распространены пневматические системы автоматизации, в частности построенные на основе универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). На элементах УСЭППА построена система пневматических средств автоматизации «Старт», которая входит в центральную часть пневматической ветви ГСП. Система «Старт» состоит из разнообразных пневматических приборов от простейших автоматических регуляторов до сложных оптимизаторов и вычислительных устройств. Принцип действия приборов системы основан на компенсации усилий при очень малых механических перемещениях чувствительных элементов. Благодаря этому достигаются высокая чувствительность и точность автоматических устройств [5].

В систему «Старт» входят такие регуляторы: релей-

ный типа ПР1.5, пропорциональный типа ПР2.5, пропорционально-интегральный типа ПР3.21, регуляторы соотношения ПР3.23 и ПР3.24, а также ряд вспомогательных устройств (компрессоры, редукторы давления воздуха, влаго- и маслоудалители).

В систему входят следующие вторичные самопишущие приборы: ПВ4.2Э — для измерения показания, сигнализации и регистрации одной величины; ПВ4.3Э — для измерения показания, сигнализации и регистрации двух величин; ПВ10.1Э — для измерения и регистрации одной величины и контроля заданной величины и давления воздуха на выходе из регулятора. В указанных самопишущих приборах диаграммная бумага перемещается синхронным микродвигателем.

В самопишущих приборах типа ПВ4.2П, ПВ4.3П и ПВ10.1П электродвигатель заменен на пневматический.

Из показывающих в системе имеются два прибора: ПВ1.3 — для измерения и показания значения одного параметра и ПВ2.2 — для измерения и показания значения одного параметра и сигнализации при отклонении этого параметра от заданного значения.

**Электронно-гидравлическая система автоматического регулирования «Кристалл»** представляет собой комплекс приборов и устройств, при помощи которых можно компоновать разные по назначению и динамическим свойствам автоматические регуляторы (с жесткой или гибкой обратной связью, с постоянной скоростью исполнительного механизма и др.) [5]. В комплект системы входят датчики (терморезисторы, мембранные дифманометры, дифференциальные тягомеры), транзисторные усилители, электрогидравлические реле, гидравлические исполнительные механизмы типа ГИМ и устройства обратной связи. Система «Кристалл» относится к бесконтактным автоматическим системам. Наибольшее распространение эта система получила для автоматизации котельных разного назначения и различной мощности.

**Исполнительные механизмы** так же, как и другие устройства автоматики, выбирают прежде всего по виду вспомогательной энергии [5]. Кроме того, при их выборе учитывают условия эксплуатации, значение развиваемого усилия, частоту вращения, угол поворота, время поворота и другие показатели.

Электрические исполнительные механизмы состоят из электродвигателя; редуктора, понижающего частоту

вращения; выходного устройства для механического со-  
членения исполнительного механизма с регулирующим  
органом; устройств, обеспечивающих останов механизма  
в крайних положениях и самоторможение; устройств для  
ручного привода на случай выхода из строя системы ав-  
томатики или при ее наладке; дистанционного указателя  
и сигнализатора положения механизма; элементов об-  
ратной связи, используемой в автоматических си-  
стемах.

Выходные устройства электрических исполнительных  
механизмов выполняют так, чтобы они могли осущест-  
вить вращательное или прямолинейное движение. Меха-  
низмы с вращающимися выходными устройствами под-  
разделяются на однооборотные, у которых угол по-  
ворота выходного вала менее или равен  $360^\circ$ , и  
многооборотные, у которых вал совершает более одного  
оборота.

К однооборотным электрическим исполнительным ме-  
ханизмам относятся механизмы типа МЭОБ, МЭОК,  
ДР-М, ДР-1М, ПР-М, ПР-1М, ИМ-2/120, ИМТМ-4/2,5,  
МЭО, МЭК-Б, МЭК-К и др., а к многооборотным — ме-  
ханизмы вращательного действия типа МЭМ.

Для управления регулирующими, запорно-регулирую-  
щими органами с прямолинейным перемещением приме-  
няют электрические исполнительные механизмы типа  
МЭП. Перемещение регулирующих органов осуществля-  
ется с постоянной скоростью.

Технические характеристики электрических исполни-  
тельных механизмов приведены в литературе [5] и в  
приложении 5.

В системах пневматической автоматики в качестве ис-  
полнительных механизмов применяют мембранные и  
поршневые пневмоприводы. Наиболее распространены  
мембранные пневмоприводы с возвратно-поступатель-  
ным движением штока, конструктивно объединенные с  
регулирующими органами — клапанами. Мембранные  
исполнительные механизмы обеспечивают перемещение  
штоков и сочлененных с ними клапанов на расстояние  
до 100 мм. Усилие, развиваемое давлением сжатого воз-  
духа на мембрану, уравнивается усилием упругой  
деформации возвратной пружины при перемещении  
штока клапана [5].

Пневматические исполнительные механизмы отлича-  
ются от электрических более простым сочленением с ре-

гулирующим органом, линейностью характеристики и существенно меньшими люфтами в системе передачи перемещений.

Мембранные пневмоприводы разделяют на два основных типа по воздействию на них командного давления воздуха. К первому относятся приводы, которые при увеличении давления воздуха открывают регулирующий орган — «воздух открывает» (ВО). Ко второму типу относятся пневмоприводы, закрывающие регулирующий орган при увеличении командного давления — «воздух закрывает» (ВЗ). При выборе типа пневмопривода необходимо учитывать указанные особенности, чтобы избежать неправильных действий системы, особенно в аварийных режимах. Например, если для регулирования уровня воды в барабане котла-утилизатора установить пневмопривод типа ВО, то при отключении воздуха или при повреждении пневмотрассы привод закроет клапан и подача воды в котел прекратится, что может привести к серьезной аварии. Следовательно, более правильно для данного случая выбрать пневмопривод типа ВЗ.

Технические характеристики разного типа мембранных пневмоприводов приводятся в справочной литературе [5].

**При выборе средств автоматизации** по виду используемой энергии (средства электроавтоматики, пневмо- и гидроавтоматики) исходят из следующих соображений.

*Средства электроавтоматики* применяют там, где нужна повышенная точность измерения и регулирования (класс точности большинства приборов 0,5), где большие расстояния между технологическим оборудованием и щитами управления, где в управлении используются электронные вычислительные машины.

Однако средства электроавтоматики дороже средств пневмоавтоматики примерно на 70%, и они более опасны при использовании в пожаро- и взрывоопасных помещениях и установках.

Вместе с тем *средства пневмоавтоматики* нельзя использовать в производстве, разбросанном по значительной площади. Расстояния между приборами на технологическом оборудовании и приборами на щитах не должно превышать 300 м, так как увеличение длины пневматических трасс приводит к значительному запаздыванию передачи сигналов, к ухудшению качества управления.

Гидравлические автоматические устройства характеризуются ограниченным радиусом действия и большими габаритами. Поэтому их применяют лишь в тех случаях, когда необходимо использовать исполнительные механизмы большой мощности.

## 1.8. ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ (19)

### 1.8.1. Нагревание и охлаждение жидкостей

Основные принципы управления процессами нагревания и охлаждения жидкостей рассмотрим на примере поверхностного кожухотрубчатого теплообменника  $l$  (рис. 28), в который подаются два жидких теплоносителя: горячий (ГТ) и холодный (ХТ).

Если теплообменник используется для нагрева жидкости ХТ, то показателем эффективности процесса будет являться температура  $t_x''$  холодного теплоносителя на выходе из теплообменника. Эта температура будет управляемой величиной, а целью управления — поддержание температуры  $t_x''$  на заданном значении.

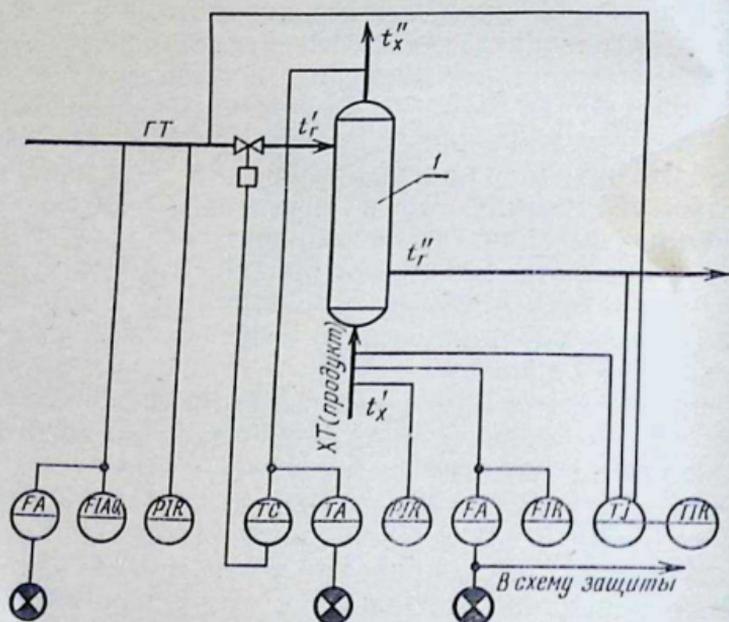


Рис. 28. Типовая схема автоматизации нагрева.

Зависимость  $t_x''$  от ряда основных параметров процесса может быть выведена из уравнения теплового баланса (потери тепла не учитываются)

$$m_x c_x (t_x'' - t_x') = m_r c_r (t_r' - t_r''), \quad (65)$$

где  $m_x$ ,  $m_r$  — расходы соответственно холодного и горячего теплоносителей;  $c_x$ ,  $c_r$  — удельные теплоемкости соответственно холодного и горячего теплоносителей;  $t_x'$ ,  $t_r'$  — температуры соответственно холодного и горячего теплоносителей на входе в теплообменник;  $t_r''$  — температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменника.

Решив уравнение (65) относительно  $t_x''$ , получим

$$t_x'' = \frac{m_r c_r (t_r' - t_r'')}{m_x c_x} + t_x'. \quad (66)$$

Расход  $m_x$  зависит от потребностей в подогретой жидкости и может существенно изменяться, в результате чего на систему будут действовать основные возмущающие воздействия. Кроме того, возмущающие воздействия могут возникать с изменением температуры окружающей среды. Значения  $t_x'$ ,  $c_r$  и  $c_x$  в процессе нагрева практически остаются неизменными. Следовательно, регулирующие воздействия на процесс можно создавать путем изменения величин  $m_r$  и  $t_r'$ .

Как объекты регулирования теплообменники обладают большим запаздыванием, поэтому особое внимание необходимо обратить на место установки датчика температуры. Чтобы уменьшить транспортное запаздывание, датчик температуры следует устанавливать как можно ближе к теплообменнику. С целью улучшения качества регулирования желательно выбирать быстродействующие регуляторы или регуляторы с устройством предвращения.

В качестве контролируемых величин данного процесса следует брать расходы теплоносителей, их начальные и конечные температуры, давления в трубопроводах. Знать текущие значения указанных параметров необходимо для нормального пуска, наладки и эксплуатации теплообменной установки.

Сигнал должен подаваться о значении температуры нагреваемой жидкости, а также в случае прекращения подачи теплоносителей. Так как при резком уменьшении

расхода нагреваемой жидкости теплообменник может выйти из строя, устройство защиты в данном случае должно перекрыть линию горячего теплоносителя.

На рисунке 28 показана типовая схема автоматизации процесса нагревания.

Если теплообменник используется для охлаждения горячей жидкости (ГТ), то показателем эффективности процесса будет являться температура  $t''_r$  горячего теплоносителя на выходе из теплообменника. Эта температура принимается в качестве управляемой величины, а целью управления в данном случае будет являться поддержание температуры  $t''_r$  на заданном значении.

Все рассуждения относительно процесса нагрева справедливы применительно и к процессу охлаждения. Только регулирующие воздействия в последнем случае следует осуществлять, изменяя  $m_x$  и  $t''_x$ .

### 1.8.2. Сушка сыпучих материалов

В качестве объекта при автоматизации процесса сушки сыпучих материалов рассмотрим барабанную сушилку (рис. 29). Показателем эффективности процесса сушки является влажность материала на выходе из сушилки, а целью управления — поддержание определенного значения этого параметра.

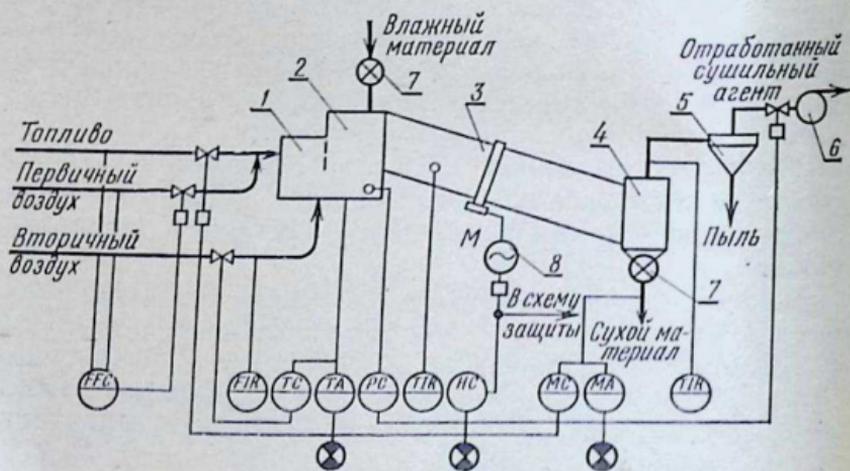


Рис. 29. Типовая схема автоматизации барабанной сушилки:

1 — топка; 2 — смешительная камера; 3 — барабан; 4 — бункер; 5 — циклон; 6 — вентилятор; 7 — дозаторы; 8 — электродвигатель барабана.

Влажность высушенного материала определяется, с одной стороны, количеством влаги, поступающей с влажным материалом, а с другой — количеством влаги, удаляемой из материала в процессе сушки. Количество влаги, поступающей с материалом, определяется его расходом и влажностью.

Расход материала жестко связан с производительностью сушилки, поэтому использовать расход в качестве регулирующего воздействия нецелесообразно, особенно если сушилка стоит в поточной линии и ее работа связана с работой других машин и механизмов.

Возмущающие воздействия вносятся в процесс сушки изменением количества влаги, поступающей с материалом.

Количество влаги, которое поглощается сушильным агентом, определяется по формуле

$$W = kF (\varphi_1 - \varphi_2) \tau, \quad (67)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности (для данного материала и сушильного агента — величина постоянная);  $F$  — поверхность соприкосновения сушильного агента с материалом;  $\varphi_1 - \varphi_2$  — соответственно равновесная и рабочая влажность сушильного агента (разность  $\varphi_1 - \varphi_2$  иногда называют движущей силой процесса [19]);  $\tau$  — время пребывания материала в сушилке.

Поверхность  $F$  зависит от толщины слоя материала и его гранулометрического состава. Толщина слоя определяется производительностью сушилки и может быть стабилизирована, в частности, при помощи дозатора, установленного на входе в сушилку. Гранулометрический состав зависит от вида сушеного материала. Движущая сила ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) является распределенным параметром по объему сушилки. Среднее значение движущей силы определяют по ее значениям на входе в сушилку и на выходе из нее. Стабилизировать эти величины довольно сложно, и поэтому при их изменении на объект будут действовать возмущения.

Температура в барабане сушилки зависит в основном от температур сушильного агента и материала на входе в сушилку, а также от их расходов.

Температура сушильного агента на входе в сушилку должна быть неизменной. Использовать эту температуру для внесения регулирующих воздействий на процесс нежелательно, так как повышенные значения температуры сушильного агента могут привести к порче сушеного

материала (например, зерна), а при пониженных температурах резко снижается производительность сушилки.

Температура материала, поступающего в сушилку, обычно определяется предыдущим процессом и не может быть использована в качестве регулирующего воздействия. На количество испаряющейся влаги оказывает сильное влияние время пребывания материала в сушилке, но при изменении времени экспозиции меняется производительность сушилки, что нежелательно, поэтому частота вращения барабана, определяющая время пребывания материала в сушилке, обычно принимается и поддерживается постоянной. Управляющие же воздействия на процесс можно осуществлять изменением расхода сушильного агента. Это достигается соответствующим изменением расхода топлива (или электроэнергии), идущего на нагрев сушильного агента. Для поддержания постоянного соотношения расходов топлива и первичного воздуха следует устанавливать регулятор соотношения данных расходов. Для ликвидации возмущающих воздействий, которые могут поступать в сушилку по разным каналам, необходимо регулировать (стабилизировать) температуру сушильного агента на входе в сушилку (изменением расхода вторичного воздуха), разрежение в сушилке (изменением расхода отработанного сушильного агента) и расход влажного материала (если позволяет технологическая схема).

Контролю подлежат расходы топлива, первичного и вторичного воздуха, влажного материала, температура сушильного агента на входе в сушилку и выходе из нее, температура в сушилке, разрежение в смесительной камере, а также влажность высушенного материала.

Сигнализироваться должно прежде всего отклонение показателя эффективности (регулируемой величины) от заданного значения, а также опасное повышение температуры сушильного агента на входе в сушилку и остановка приводного электродвигателя. Кроме того, при остановке электродвигателя должна быть прекращена подача материала в сушилку. Типовая схема автоматизации сушилки показана на рисунке 29.

Если нет надежного прибора для непрерывного измерения влажности материала на выходе из сушилки, то можно установить регулятор для регулирования температуры сушильного агента в сушилке. Датчик этого ре-

гулятора (например, термопару) помещают на расстоянии  $1/4$  длины сушилки (от места ввода материала), что обеспечивает сравнительно равномерную температуру по всей длине сушилки. Управляющее воздействие осуществляется изменением расхода сушильного агента, а следовательно, и топлива.

Если зависимость между влажностью сухого материала и влажностью отработанного сушильного агента выражена ярче, чем зависимость между влажностью сухого материала и температурой сушильного агента в сушилке, то в качестве управляемой величины можно выбрать влажность отработанного сушильного агента. Управляющее воздействие так же, как и в ранее рассмотренных случаях осуществляется изменением расхода сушильного агента.

### 1.8.3. Смешение жидкостей

В качестве объекта управления при смешении двух жидкостей принимаем емкость  $1$  с механической мешалкой  $2$  (рис. 30). Показателем эффективности процесса перемешивания является концентрация одного из компонентов в смеси, а целью управления — получение смеси с определенной концентрацией этого компонента.

Уравнение материального баланса при смешивании двух жидкостей имеет вид

$$m_{см} Q_{см} = m_A Q_A + m_B Q_B, \quad (68)$$

где  $m_{см}$ ,  $m_A$ ,  $m_B$  — расходы соответственно смеси, жидкостей А и Б;  $Q_{см}$  — концентрация искомого компонента в смеси;  $Q_A$ ,  $Q_B$  — концентрация искомого компонента соответственно в жидкостях А и Б.

Учитывая, что расход  $m_{см}$  в равновесном режиме равен сумме расходов  $m_A$  и  $m_B$ , и решая это уравнение относительно концентрации  $Q_{см}$ , получим

$$Q_{см} = \frac{m_A Q_A + m_B Q_B}{m_A + m_B}. \quad (69)$$

Возмущающие действия в объект будут поступать с изменением расходов жидкостей и с изменением концентраций в них искомого компонента. Концентрации  $Q_A$  и  $Q_B$  не могут быть использованы в качестве регулирую-

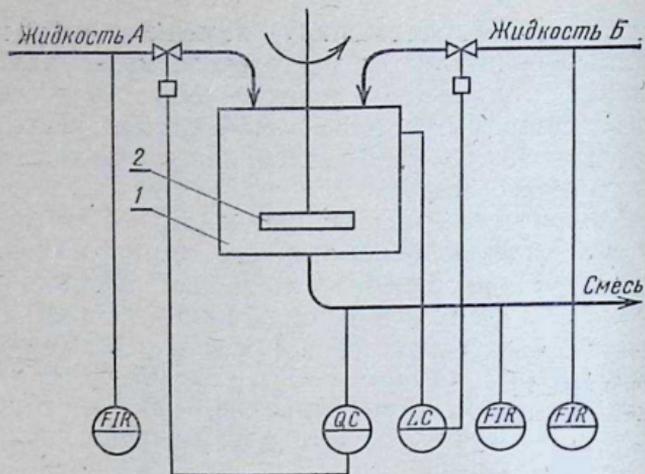


Рис. 30. Типовая схема автоматизации процесса перемешивания жидкостей:

1 — бак смесителя; 2 — мешалка.

ских воздействий, так как их значения определяются режимами предыдущих процессов. Расход смеси также не может являться управляющим воздействием, так как он зависит от потребностей последующего технологического процесса.

В этом случае в качестве регулирующего воздействия целесообразно принять расход одной из жидкостей, лучше той из них, которая больше влияет на концентрацию искомого компонента в смеси. Для успешной работы смесителя необходимо стабилизировать уровень смеси в емкости. Стабилизацию уровня можно обеспечить путем регулирования подачи той жидкости, которая не используется для регулирования материального баланса.

Контролю подлежат расходы исходных жидкостей и их смеси.

При значительном отклонении концентрации смеси и уровня в емкости от заданных значений, а также при прекращении поступления одной из жидкостей в смеситель должен быть подан сигнал. В последнем случае, кроме того, должны сработать устройства автоматической защиты, которые отключают смеситель: прекращается подача жидкостей и отбор смеси. Типовая схема автоматизации процесса перемешивания жидкостей показана на рисунке 30.

#### 1.8.4. Разделение неоднородных сред

Для разделения неоднородных сред используются отстойники, фильтры, центрифуги (рис. 31). Рассмотрим эти устройства как объекты автоматизации.

Показателем эффективности процесса разделения неоднородных сред будем считать прозрачность осветленной жидкости (фильтрата, фугата), которая будет являться и регулируемой величиной. Цель управления — поддержание прозрачности на заданном уровне.

В объекты управления процессов разделения поступают следующие возмущающие воздействия: изменения расхода суспензии, плотностей твердой и жидкой фракций, концентрации и вязкости суспензии, дисперсности твердой фракции. Все указанные параметры, за исключением расхода суспензии, практически не подлежат регулированию, так как определяются предыдущими технологическими процессами. В качестве управляющего воздействия можно использовать лишь расход суспензии.

Рассмотрим каждый из способов разделения неоднородных систем с точки зрения создания систем автоматического регулирования процессов.

**Отстаивание.** Прозрачность осветленной жидкости определяется расходом суспензии и скоростью осаждения твердых частиц. Если предположить для простоты рассмотрения, что твердые частицы имеют шарообразную форму, то скорость их осаждения для высококонцентрированных суспензий [19]

$$V = 0,007 \frac{dg(\rho_r - \rho_{ж}) \epsilon^3}{\mu(1 - \epsilon)}, \quad (70)$$

где  $d$  — диаметр частиц;  $g$  — ускорение свободного падения;  $\rho_r, \rho_{ж}$  — плотности соответственно твердой и жидкой фракций;  $\epsilon$  — объемная доля жидкости в суспензии;  $\mu$  — динамическая вязкость суспензии.

Из выражения (70) видно, что скорость зависит от многих факторов и поэтому для достижения цели управления следует соответствующим образом изменять расход суспензии.

**Фильтрация.** Скорость движения жидкости  $V$  через фильтрующую перегородку [19]

$$V = \frac{\Delta p}{\mu R}, \quad (71)$$

где  $\Delta p$  — перепад давления на фильтре;  $R$  — сопротивление фильтрованию.

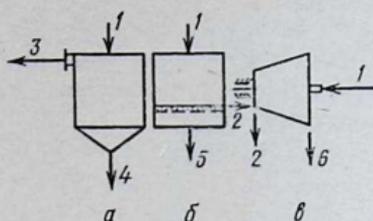


Рис. 31. Объекты управления в процессах разделения неоднородных систем:

*a* — отстойник; *б* — фильтр; *в* — центрифуга; *1* — суспензия; *2* — осадок; *3* — осветленная жидкость; *4* — сгущенная жидкая суспензия; *5* — фильтрат; *6* — фугат.

Сопротивление фильтрованию сильно зависит от толщины слоя осадка твердых частиц. Поэтому по мере увеличения толщины слоя осадка уменьшается скорость фильтрации и замедляется процесс.

Процесс можно интенсифицировать за счет увеличения перепада давления на фильтре, что достигается подбором насосов с соответствующими характеристиками. Установки фильтрования работают практически без автоматических систем регулирования, лишь с автоматическим контролем и сигнализацией.

**Центрифугирование.** Разделяющая способность центрифуг определяется фактором разделения [19]

$$\Phi = \frac{\pi^2 r n^2}{900g}, \quad (72)$$

где  $r$  — радиус барабана центрифуги;  $n$  — частота вращения ротора;  $g$  — ускорение силы тяжести.

Поскольку процесс центрифугирования зависит только от частоты вращения ротора центрифуги, этот параметр может использоваться в качестве регулирующего воздействия. Однако для этой цели необходимо применять регулируемый электропривод того или иного типа, что не всегда оправдано с технической и экономической точек зрения. Поэтому при проектировании установки выбирают такую частоту вращения, чтобы при стабилизированном расходе суспензии обеспечивалась заданная прозрачность фугата.

В качестве контролируемых величин в процессе разделения принимают прозрачность осветленной жидкости, влажность осадка, расходы суспензии и осветленной жидкости. Сигнализировать необходимо понижение прозрачности осветленной жидкости ниже заданного уровня.

### 1.8.5. Дозирование сыпучих материалов

В качестве объекта управления рассмотрим дозатор непрерывного действия с ленточным питателем (рис. 32).

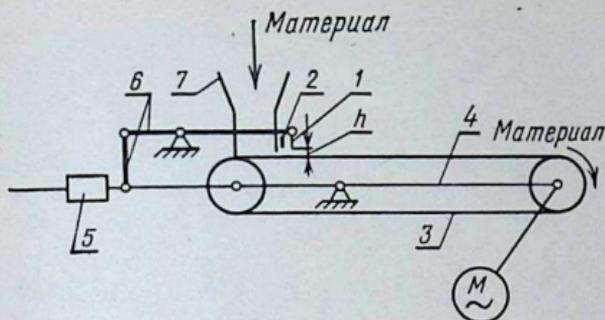


Рис. 32. Объект управления — дозатор с ленточным питанием:

1 — автоматическая заслонка; 2 — заслонка ручного регулирования; 3 — лента; 4 — коромысло; 5 — груз (гиря); 6 — рычаги; 7 — бункер.

Показателем эффективности процесса дозирования является расход дозируемого материала (производительность дозатора), а целью управления — поддержание заданной производительности.

Статическая характеристика ленточного питателя, показывающая зависимость расхода материала от ряда параметров, описывается уравнением [19]

$$m = kb \left( h - \frac{d_{\text{экв}}}{2,3} \right) v_{\text{л}}, \quad (73)$$

где  $b$  — ширина ленты;  $h$  — степень открытия заслонки;  $d_{\text{экв}}$  — эквивалентный диаметр частиц материала;  $v_{\text{л}}$  — скорость движения ленты;  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Из характеристики видно, что в качестве управляющих воздействий при автоматизации дозаторов с ленточным питателем можно использовать изменение степени открытия заслонки и изменение скорости движения ленты. Чаще всего применяется метод регулирования путем изменения степени открытия заслонки. Для этого на дозаторе устанавливают автоматически действующую заслонку 1. Перед автоматической заслонкой размещают заслонку ручного регулирования 2, которая предназначена для предотвращения скопления материала на выходе из бункера 7. Ручную заслонку устанавливают на высоте, соответствующей максимальному открытию автоматической заслонки.

Для внесения регулирующих воздействий путем изменения скорости движения ленты необходимо использовать регулируемый электропривод или вариатор с сер-

воприводом. Применение этого способа регулирования производительности дозатора должно быть тщательно обосновано.

Расход дозируемого материала необходимо не только регулировать, но и контролировать. Сигнализации подлежат состояние дозатора (включен или отключен) и резкое изменение расхода материала.

## 1.9. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСУТП

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) — это человеко-машинная система (рис. 33), предназначенная для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления в соответствии с принятым критерием управления. А критерий управления характеризует качество работы технологического объекта управления.

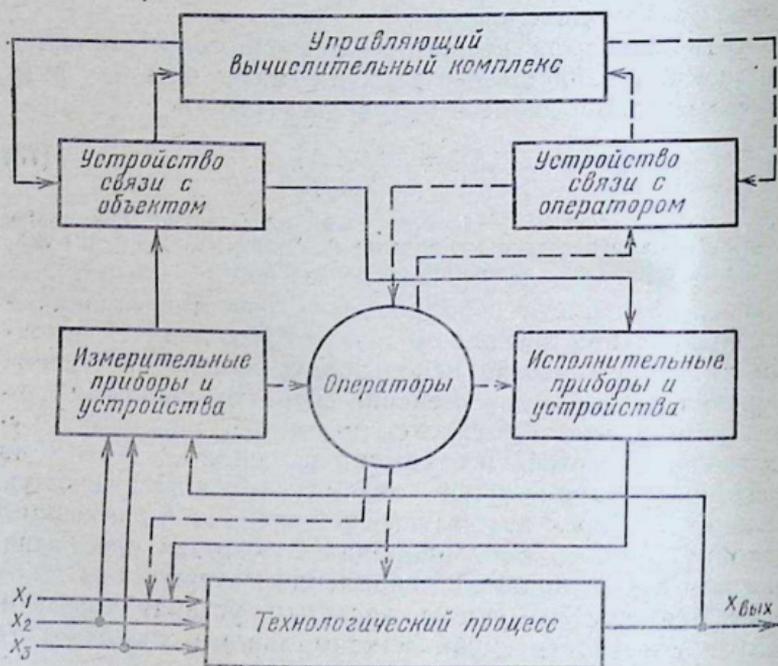


Рис. 33. Обобщенная блок-схема функционирования АСУТП:

$x_1$  — входные управляющие воздействия;  $x_2$  — входные контролируемые, но не управляемые воздействия;  $x_3$  — входные неконтролируемые воздействия;  $x_{\text{вых}}$  — выходные переменные технологического процесса.

Терминологию и определения по АСУТП устанавливает ГОСТ 17194—76. Общие технические требования к АСУТП изложены в ГОСТ 17195—76.

Процесс создания АСУТП заключается в алгоритмизации объекта управления (составлении свода правил взаимодействия управляющих устройств и управляемого объекта), реализации полученного алгоритма при помощи комплекса технических средств и организации функционирования АСУТП в конкретных условиях данного объекта.

Разработка и внедрение АСУТП для объектов сельскохозяйственного производства должны осуществляться в несколько этапов: подготовка технического задания, предпроектные работы, проектные работы, монтаж и наладка, ввод в действие АСУТП.

Техническое задание на создание АСУТП разрабатывает заказчик, как правило, с участием проектной организации — разработчика АСУ. В техническое задание включают сведения о предприятии, основные данные об объекте управления, условия функционирования автоматизированной системы. Кроме того, указывается цель создания АСУТП и ее роль в общей структуре управления производством, излагается перечень основных функций системы, приводятся ориентировочные затраты на создание АСУТП и предполагаемые технико-экономические показатели автоматизируемого производства, намечаются ориентировочные сроки выполнения работ.

К техническому заданию прилагаются исходные данные для расчета технико-экономической эффективности и другие сведения об объекте, необходимые разработчику: генплан и схемы объекта, планы размещения оборудования, планы кабельных проводок, планы и схемы размещения источников питания систем управления, временные диаграммы функционирования объекта, данные о режимах его работы и др.

Предпроектные работы обычно состоят из подготовительных работ, теоретических и экспериментальных исследований объекта управления и разработки технических предложений по проектированию АСУТП.

При проведении подготовительных работ обследуется объект управления, предварительно определяются функции АСУТП и выбираются технические средства, осуществляется технико-экономическое обоснование, разрабатывается план-график создания и ввода в экс-

платацию АСУТП, разрабатывается задание на проведение исследовательских работ.

При разработке АСУТП важно правильно определить объем ее функций (степень автоматизации). Степень автоматизации может изменяться в широких пределах от систем, в которых все функции по управлению выполняются человеком, до систем, в которых все эти функции реализуются автоматически.

Современные средства автоматики не могут полностью заменить человека на управлении технологическими процессами сельскохозяйственного производства. Поэтому в системах управления необходимо разумное сочетание человека и автоматики.

Сложность АСУТП должна быть экономически обоснована, так как по мере ее усложнения, увеличения объема управляющей информации и ее «детализации» получаемая дополнительная эффективность уменьшается, а срок окупаемости растет. Поэтому степень «детализации» АСУТП не должна превосходить экономически обоснованного уровня.

На этапе проектной проработки необходимо предварительно проанализировать информационные потоки для оценки структуры и интенсивности потоков информации, циркулирующей в системе. На основании этой оценки можно представить структуру системы управления и ее пропускную способность, необходимую для своевременной и качественной переработки поступающей информации.

В ходе теоретического и экспериментального исследований объекта определяются характеристики машин, аппаратов и установок, осуществляющих автоматизируемый технологический процесс.

По результатам исследований составляют технологическую схему процесса с изображением агрегатов и указанием параметров, в отношении которых реализуются те или иные функции АСУТП. На схеме отражают все материальные и энергетические потоки, а также величины, характеризующие соответствующие потоки. Кроме того, дается содержательное описание преобразований веществ и энергий, осуществляемых в технологическом процессе; записываются системы уравнений в буквенной форме для каждого из агрегатов, устройств и аппаратов технологического процесса; составляется таблица величин, в которой указывается наименование величины, ее

размерность, диапазон изменения (для переменных), значения постоянных величин и точность их определения, способы определения неизвестных функций, которые входят в системы уравнений, если эти функции возможно и необходимо определять в ходе функционирования АСУТП.

Разработка технических предложений предполагает составление функциональной схемы АСУТП, схемы информационных потоков, структурной схемы системы, схем локальной автоматизации отдельных процессов, алгоритмов управления, перечня технических средств АСУТП и рекомендаций по их использованию, а также составление расчета ожидаемого эффекта от внедрения АСУТП.

До начала разработки технического (технорабочего) проекта должно быть проведено моделирование автоматизируемого технологического процесса с использованием аналоговых и цифровых вычислительных машин (АВМ, ЦВМ). Распределение конкретных функций между АВМ и ЦВМ при моделировании АСУТП может быть различным. В основном моделирование операций и отдельных процессов общего технологического процесса осуществляется при помощи АВМ, а на цифровую машину возлагаются функции управляющей машины (УВМ).

В процессе моделирования необходимо имитировать различные ситуации как нормальных, эксплуатационных, так и аварийных режимов, могущих возникнуть в реальных условиях. Моделирующий комплекс должен предусматривать возможность применения не только автоматического, но и ручного управления технологическим процессом.

При проектировании АСУТП необходимо сформулировать целевые функции системы, разработать информационное, математическое, техническое и организационное обеспечение АСУТП в соответствии с ГОСТ 16084—75 и ГОСТ 19675—74. Разработка технического обеспечения предполагает формулирование основных требований к техническим средствам, включая средства вычислительной техники. Приводится обоснование выбора всех технических средств с указанием их основных характеристик.

В состав проекта включаются спецификация, содержащая перечень технической документации; пояснительная записка; уточненные алгоритмы по каждой реали-

зуемой функции, включая машинные алгоритмы; уточненные структурные схемы управления и контроля; структурная схема комплекса технических средств АСУТП; схемы автоматизации технологического процесса; схемы потоков информации; принципиальные схемы, внешние виды щитов и пультов, схемы соединений щитов, пультов, схемы подключений трубных и кабельных проводок; кабельный журнал; заказные спецификации; обоснование экономической эффективности АСУТП; сметы затрат на создание и ввод в действие системы; документация программного обеспечения.

В состав документации программного обеспечения АСУТП включаются сводная (справочная) техническая документация, рабочие программы и инструкции (инструкция оператору, инструкции по проверке программного обеспечения, то есть специальные тесты, инструкции по перфорации исходных данных и т. п.).

Большое внимание в проекте должно быть уделено организации рабочего места оператора. Это должен быть либо пульт управления с мнемосхемой и органами управления, сигнализации и связью, либо стол с телефонами диспетчерской связи, телеэкраном отображения технологического процесса и т. п.

В инструкциях оператору даются рекомендации по работе за пультом управления информационно-вычислительного или управляющего вычислительного комплекса, а также его функциональные права и обязанности.

В проекте разрабатываются также эксплуатационные документы (техническое описание процесса и оборудования, инструкция по эксплуатации, формуляр и т. п.).

Наряду с общим планом внедрения АСУТП необходимо предусмотреть организацию подготовительных, монтажных и наладочных работ; сдачу АСУТП в производственную эксплуатацию (ввод в действие); организацию эксплуатации. Более детально вопросы создания АСУТП рассматриваются в специальной литературе [29, 63].

### **1.10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Схемы и системы электрического питания автоматических систем и устройств разрабатываются на стадии «Рабочие чертежи» при двухстадийном проектировании

или в технорабочем проекте при одностадийном проектировании.

При разработке схем и систем электропитания необходимо руководствоваться нормативным документом Министерства монтажных и специальных строительных работ (ММСС) СССР МСН 205—69 «Указания по проектированию электрических установок систем автоматизации производственных процессов» и Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

Устройство и схемы электроустановок систем автоматизации должны быть тесно увязаны с устройствами и схемами электроустановок других назначений, а также с технологическим и другим оборудованием и коммуникациями.

При проектировании схем и систем электропитания прорабатываются следующие вопросы:

выбор и обоснование схемы электропитания, рода тока, значения напряжения и мощности источника;

расчет и выбор аппаратуры управления и защиты цепей питания;

выбор и расчет системы освещения щитов и устройств электропитания;

выбор системы питания электроинструментов для выполнения монтажных и ремонтно-эксплуатационных работ;

расчет сечений и выбор марок проводов питающей и распределительных сетей;

выбор способа прокладки электропроводок проводками и кабелями.

Система электропитания контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации (КИПиА) должна обеспечивать бесперебойность питания, требуемое качество электроэнергии (допустимое отклонение и колебание напряжения, несинусоидальность формы кривой, пульсацию напряжения и др.), экономичность, удобство и безопасность эксплуатации.

Выбор схемы питания, напряжения, рода тока и аппаратуры для системы электропитания КИПиА тесно увязывается и согласовывается с системой электроснабжения автоматизируемого объекта (агрегата, установки, цеха и т. п.). В системах электропитания КИПиА целесообразно применять такое же напряжение, которое принято для электроснабжения объекта, без дополнительного преобразования. В тех же случаях, когда воз-

никает необходимость в преобразователях, используют не возвращающиеся преобразователи (трансформаторы, выпрямители, преобразователи частоты и т. п.).

В цепях управления электродвигателями исполнительных механизмов и электроприводов вентилях (задвижек и т. п.) в помещениях всех категорий опасности в отношении поражения людей электрическим током разрешается применять то же напряжение, что и в силовых цепях питания электродвигателей, включая напряжение 380 В переменного и 440 В постоянного тока.

Питание цепей сигнализации, а также цепей стационарного освещения монтажной стороны шкафов щитов осуществляется от сетей напряжением не выше 220 В. Причем схемы питания проектируются таким образом, чтобы при снятии напряжения со щита лампы могли оставаться под напряжением.

Для освещения помещений шкафов щитов, устанавливаемых в помещениях, применяют светильники с лампами накаливания и люминесцентные лампы напряжением 36 В. В помещениях щитов, устанавливаемых непосредственно в помещениях, следует использовать лампы напряжением не свыше 36 В.

Переносные светильники должны включаться на напряжение не выше 36 В), а при использовании электроприемников напряжением до 220 В необходимо применять разделительные трансформаторы.

Системы электропитания КИПиА присоединяются, как правило, к цеховым распределительным подстанциям, распределительным щитам и питающим сборкам системы электроснабжения автоматизируемого объекта. При этом нежелательно присоединять системы автоматизации к источникам, от которых получает питание резкопеременная нагрузка.

Допустимое отклонение напряжения на зажимах электроприемников составляет:

для контрольно-измерительных приборов и регулирующих устройств  $\pm 5\%$ , а для аппаратов управления от  $-5$  до  $+10\%$ , если нет дополнительных указаний заводо-изготовителей;

для электродвигателей исполнительных механизмов от  $-5$  до  $+10\%$  от номинального;

для сигнальных ламп от  $-2,5$  до  $+5\%$ ;

в цепях напряжением 12...36 В до 10%.

Схемы электропитания КИПиА подразделяются на питающую и распределительную сети. Питающая сеть представляет собой линии от источника питания до щитов и сборок питания средств и систем автоматизации. Распределительная сеть состоит из линий от щитов и сборок питания систем КИПиА до электроприемников. К распределительной сети относятся также цепи всех назначений, связывающие первичные приборы и датчики со вторичными приборами и регулируемыми устройствами. Питающая и распределительная сети могут выполняться однофазными и трехфазными четырехпроводными линиями переменного тока, а также двухпроводными постоянного тока.

С учетом взаимного расположения щитов (сборок) питания КИПиА и источников питания, а также в соответствии с требованиями резервирования питающие сети могут быть радиальными и магистральными с одно- и двухсторонним питанием, а также радиально-магистральными (смешанными) (рис. 34).

Радиальные схемы целесообразно применять в тех случаях, когда щиты (сборки) питания размещаются в различных направлениях от источника и расстояния между щитами больше, чем от источника до щитов.

Магистральные схемы используют для электропитания группы щитов (сборок) КИПиА, если расстояния между ними значительно меньше расстояния до источника питания. Магистральные схемы с питанием от одного источника применяют только для щитов (сборок), допускающих перерывы в электроснабжении.

Распределительные сети строятся, как правило, по радиальному принципу, то есть каждый электроприемник подключается к щиту или сборке питания отдельной радиальной линией.

Следует подчеркнуть, что при проектировании систем электропитания КИПиА во всех случаях необходимо стремиться применять типовые щиты, сборки и другие изделия, серийно выпускаемые промышленностью.

Для включения и отключения электроприемников и участков сети, а также для защиты их от аномальных режимов в питающих и распределительных сетях устанавливают аппаратуру управления и защиты.

В питающих линиях используют автоматы или рубильники-предохранители. В цепях питания электродви-

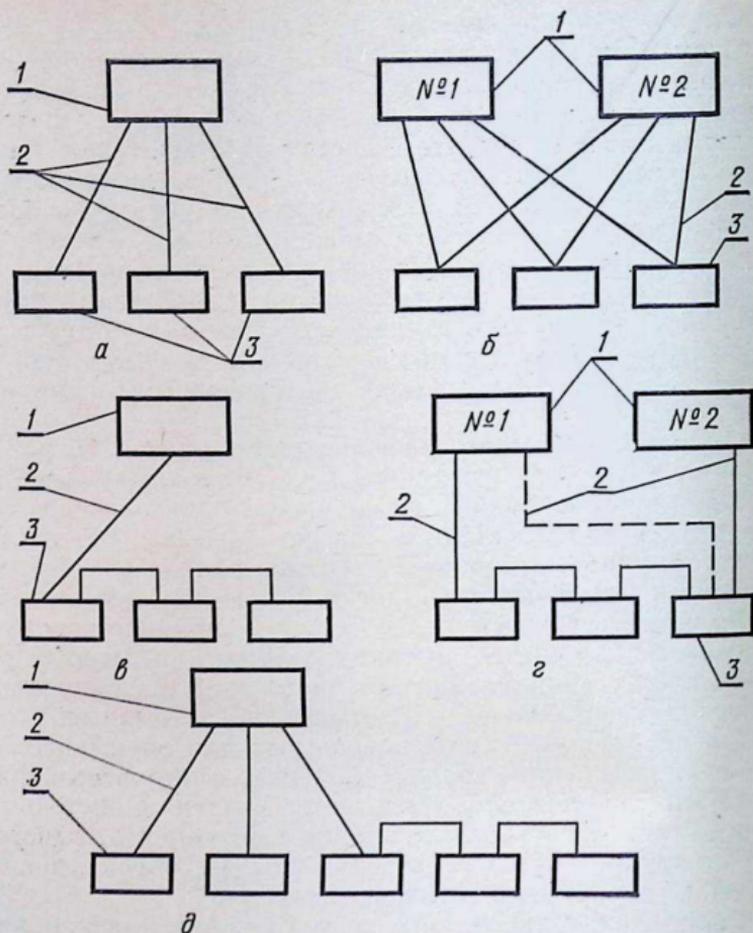


Рис. 34. Схемы питающих сетей:

*а* — радиальные с односторонним питанием; *б* — радиальные с двухсторонним питанием; *в* — магистральные с односторонним питанием; *г* — магистральные с двухсторонним питанием; *д* — смешанные; *1* — источники питания; *2* — линии связи; *3* — щиты и сборки КИПиА.

гателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (вентилей) предусматривают установку автоматов и магнитных пускателей. Иногда вместо автоматов устанавливают рубильники с предохранителями. В цепях питания стационарного освещения щитов применяют выключатели и предохранители.

В линиях питания контрольно-измерительных прибо-

ров, регулирующих устройств, трансформаторов, выпрямителей и технологической сигнализации целесообразно устанавливать пакетные выключатели (или рубильники, тумблеры, ключи управления и т. п.) и предохранители или автоматы, если последние обеспечивают отключение токов короткого замыкания и отвечают требованиям удобства эксплуатации.

Питающие и распределительные сети систем электропитания КИПиА, как правило, защищаются только от токов короткого замыкания и не требуют защиты от перегрузки. Исключение составляют электродвигатели исполнительных механизмов и электроприводы задвижек, вентилях и т. п., которые могут подвергаться технологическим перегрузкам и, следовательно, нуждаются в защите как от токов короткого замыкания, так и от перегрузок.

При выборе автоматических выключателей необходимо соблюдать следующие условия:

номинальное напряжение автоматического выключателя должно быть равно напряжению электрической сети или превышать его ( $U_{ав} \geq U_c$ );

номинальный ток автомата должен быть не меньше тока защищаемого электроприемника ( $I_{п.ав} > I_{эл}$ );

номинальный ток теплового и электромагнитного расцепителей должен быть равным номинальному току электроприемника или немного больше его ( $I_{п.расц} \geq I_{эл}$ ) с последующим регулированием тока уставки теплового расцепителя на номинальный ток электропотребителя;

наибольший ток, который может отключать автоматический выключатель (предельная отключающая способность), должен быть больше тока трехфазного короткого замыкания, возможно за местом установки автомата, или равняться ему ( $I_{пр.откл.ав} \geq I_{зф.к.з}$ );

на линиях питания электродвигателей ток отсечки электромагнитного расцепителя должен быть не менее 1,5...1,6 пускового тока электродвигателя ( $I_{отс.расц} \geq (1,5...1,6) I_{пуск}$ ).

При выборе автоматического выключателя для защиты электрической линии, которая питает несколько электроприемников, номинальный ток выключателя, как и номинальный ток расцепителя, должен быть равен сумме номинальных токов одновременно включенных электроприемников или превышать ее. Ток отсечки электромагнитного расцепителя в этом случае

$$I_{\text{отс.расц}} \geq (1,5 \dots 1,8) \left[ \sum_1^n I_n + (I_{\text{пуск.нб}} - I_{\text{н.нб}}) \right], \quad (74)$$

где  $I_{\text{пуск.нб}}$ ,  $I_{\text{н.нб}}$  — пусковой и номинальный токи наиболее мощного электроприемника, у которого значения этих величин наибольшие.

При выборе предохранителей в качестве защитных устройств от коротких замыканий соблюдают следующие условия:

номинальное напряжение предохранителя должно быть равно напряжению сети или превышать его ( $U_{\text{пр}} \geq U_c$ );

номинальный ток предохранителя должен быть равным номинальному току электроприемника или превышать его ( $I_{\text{пр}} \geq I_{\text{н.эп}}$ );

предельная коммутационная способность предохранителя должна быть не меньше тока трехфазного короткого замыкания за местом установки предохранителя ( $I_{\text{пр-откл}} \geq I_{\text{зф.к.з}}$ );

ток плавкой вставки определяется по формуле

$$I_{\text{пл}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha}, \quad (75)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий условия работы электроприемника (для электроприемников с нечастыми пусками и продолжительностью пуска 5...10 с  $\alpha=2,5$ ; для электроприемников с тяжелыми условиями работы: частые пуски, длительность пуска от 10 до 40 с  $\alpha=1,6 \dots 2,0$ ).

При выборе предохранителя для защиты группы электроприемников силу тока плавкой вставки определяют по формуле

$$I_{\text{пл}} = \frac{\sum_1^{n-1} I_n + I_{\text{пуск.нб}}}{\alpha}, \quad (76)$$

где  $\sum_1^{n-1} I_n$  — сумма номинальных токов одновременно работающих электроприемников без электроприемника с наибольшим пусковым током;  $I_{\text{пуск.нб}}$  — наибольший пусковой ток.

Если число электроприемников больше пяти, то

$$I_{\text{пл}} = \sum_1^{n-1} I_n + \frac{I_{\text{пуск.нб}}}{\alpha}. \quad (77)$$

Номинальный ток стандартной плавкой вставки должен быть равным или близким расчетному току.

Защитные аппараты проверяют на надежность срабатывания при однофазных коротких замыканиях в конце защищаемой линии. Если в аппаратах имеется защита от перегрузок, то она не должна отключать цепь при кратковременных перегрузках, например при пусках электродвигателей.

Селективность работы последовательно установленных автоматов обеспечивается, если соблюдены следующие условия:

ближе к источнику питания установлен автомат, имеющий только тепловые расцепители;

номинальный ток расцепителя автомата с комбинированными расцепителями в последующей цепи на 2...3 ступени ниже номинального тока расцепителя предыдущего автомата.

При магистральной схеме питания аппараты управления и защиты устанавливаются по мере уменьшения сечений проводов на вводах каждого щита и сборки питания; если вся магистраль выполнена проводниками одного сечения, то необходимость установки аппаратов управления и защиты на вводах щитов и сборок питания определяется требованиями удобства эксплуатации и требованиями селективности действия аппаратов защиты.

Если электродвигателями исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (вентилей) управляют из нескольких мест или существует несколько видов управления (например, автоматическое, дистанционное и т. п.), то необходимо использовать переключающие аппараты (ключи выбора режима), исключающие возможность пуска электродвигателей из нескольких мест.

Ключи выбора режима можно устанавливать (в зависимости от требований удобства эксплуатации) как по месту (непосредственно у механизма), так и на щите, с которого осуществляется управление. Не рекомендуется совмещать функции ключа выбора режима с функциями аппаратов управления электродвигателей.

Сечения проводников питающей и распределительной сети систем электропитания КИПиА выбирают по условиям нагрева электрическим током и механической прочности с последующей проверкой по потере напряжения. Сечения проводников на любом участке сетей должны удовлетворять всем трем условиям. Кроме того, расчет-

ный ток нагрузки проводов согласовывают с номинальным током защитного аппарата.

Для линий, защищаемых только от коротких замыканий, допустимая кратность номинального тока или тока срабатывания защитного аппарата к длительно допустимому току проводов и кабелей должна быть не более:

3-кратной от номинального тока плавких вставок предохранителей;

4, 5-кратного тока уставки автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель (отсечку);

номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратозависимой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);

1, 5-кратного тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратозависимой от силы тока характеристикой.

Если в автоматическом выключателе есть отсечка, то ее кратность срабатывания не ограничивается.

Таким образом, общий порядок выбора аппаратов защиты и сечений проводов и кабелей сводится к следующему:

определяют расчетные токи линий длительные и кратковременные (например, при пуске электродвигателей);  
выбирают защитные аппараты по значению расчетных токов;

выбирают сечения проводников по расчетным токам линии и по условиям соответствия выбранным аппаратам защиты;

проверяют, надежно ли действуют защитные аппараты при коротком замыкании в наиболее удаленной точке сети;

проверяют, правильно ли выбраны провода и кабели по условиям механической прочности (по минимально допустимому сечению), а если необходимо, то сечения проводов проверяют по допустимой потере напряжения.

В производственных помещениях проводки выполняют изолированными проводами в защитных трубах, стальных коробах и лотках. Кабельные проводки прокладывают открыто на кабельных конструкциях, а также в стальных лотках, коробах и в каналах.

В наружных установках изолированные провода прокладывают в стальных коробах или трубах по конструк-

циям зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам. Кабели в наружных установках прокладывают открыто на кабельных конструкциях по стенам зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам, а также в стальных лотках и коробах. В тех случаях, когда имеются каналы, тоннели и коллекторы, в которых проложены силовые кабели, кабели электропитания и технологические трубопроводы, можно в них проложить и кабели электропитания систем автоматизации. Каналы и тоннели специально для электропроводок систем автоматизации, как правило, не сооружают. Кабельные проводки в земле (траншеях) прокладывать нежелательно. Такой вид прокладок можно применять лишь при малом числе кабелей (не более 4...5) и только в тех случаях, когда невозможна или затруднена открытая прокладка.

Кабельные траншеи рекомендуется прокладывать параллельно дорогам и зданиям на участках, не загруженных другими коммуникациями, в тех местах, где почвы не агрессивны.

Открытые проводки прокладывают, как правило, параллельно и перпендикулярно основным плоскостям зданий и сооружений. При выборе трассы прокладки следует избегать перекрещиваний с другими электропроводками и трубопроводами любых назначений. Не допускается прокладывать электрические проводки по путям эвакуации людей и животных (коридорам, переходам, лестничным клеткам и т. п.). При пересечении путей эвакуации электропроводки помещают в стальные защитные трубы и короба.

Скрытые электропроводки систем автоматизации выполняют в исключительных случаях, когда это диктуется требованиями архитектурного оформления зданий и помещений.

Для электропроводок систем автоматизации применяют алюминиевые и медные изолированные провода и кабели. Причем медные провода и кабели рекомендуется использовать лишь в специальных случаях: в цепях термометров сопротивления и термопар, в цепях измерения, управления, контроля, питания и сигнализации напряжением до 60 В, во взрывоопасных установках, в установках, подверженных вибрации, для питания переносного освещения и электрифицированного инструмента, для электропроводок в чердачных помещениях со сгораемы-

ми конструкциями. В остальных случаях следует применять провода и кабели с алюминиевыми жилами.

Сечения проводов и кабелей цепей управления, контроля, сигнализации и измерения выбирают так же, как и сечения проводников силовых цепей по нагрузке согласно ПУЭ. Минимально допустимые сечения жил проводов и кабелей электропроводок систем автоматизации должны быть: в цепях напряжением 60 В не менее  $0,2 \text{ мм}^2$  (диаметр 0,5 мм) для медных и  $2,5 \text{ мм}^2$  для алюминиевых проводников, а в цепях свыше 60 В — не менее  $1 \text{ мм}^2$  для медных и  $2,5 \text{ мм}^2$  для алюминиевых.

Сечение жил гибких медных кабелей для питания электрифицированного инструмента и переносного освещения должно быть не меньше  $1,5 \text{ мм}^2$ .

Изоляцию, защитные оболочки и наружные покрытия проводов и кабелей необходимо выбирать с учетом условий окружающей среды и принятого способа прокладки проводок. Для электропроводок систем автоматизации при всех способах прокладки не допускается использовать провода с горючей изоляцией из полиэтилена.

Кабели, применяемые в электропроводках систем автоматизации, могут иметь резиновую, полихлорвиниловую, бумажную или полиэтиленовую изоляцию жил и свинцовую, алюминиевую, резиновую или полихлорвиниловую общую оболочку. На разделанные жилы кабелей, имеющих полиэтиленовую изоляцию, необходимо надевать полихлорвиниловые трубки.

Электропроводки систем автоматизации разного назначения допускается объединять в одной защитной трубе, в одном канале короба, в одном кабеле и в одном пучке проводов, проложенных в лотках. Совместная прокладка допускается при напряжениях до 440 В постоянного и 400 В переменного тока. Исключение составляют измерительные цепи приборов и средств автоматизации, в которых при совместной прокладке возникают недопустимые помехи, а также взаиморезервируемые цепи питания и управления и стационарно прокладываемые цепи питания электронного инструмента и освещения щитов напряжением до 36 В, применение которого диктуется требованиями техники безопасности.

При прокладке кабелей электропроводок систем автоматизации в коллекторах совместно с силовыми кабелями, кабелями связи, водо-, тепло- и воздухопроводами необходимо соблюдать следующие правила:

при однорядном расположении кабелей и трубопроводов — сверху нужно размещать силовые кабели, под ними кабели систем автоматизации, еще ниже — кабели связи и внизу трубы водо- и теплопроводов;

при двухрядном размещении кабелей и трубопроводов с одной стороны прохода следует прокладывать сверху кабели связи, под ними — теплопроводы; с другой стороны прохода — сверху силовые кабели, под ними кабели электропроводок систем автоматизации, внизу водопроводы.

Прокладывать в коллекторах кабели систем автоматизации совместно с газопроводами и трубопроводами, содержащими легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нельзя.

Электрические проводки систем автоматизации во взрыво- и пожароопасных установках (наружных и в помещениях) имеют свои особенности, которые учитываются при проектировании.

Питающая и распределительные сети систем электропитания КИПиА во взрыво- и пожароопасных установках относятся к сетям, защищаемым от перегрузок, за исключением взрывоопасных помещений и наружных установок класса В-Іб и В-Іг (для них проводки и защиту необходимо выбирать как и для невзрывоопасных помещений).

Допустимая длительная токовая нагрузка проводников должна быть не менее :

для проводников с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией 125% номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель; для этих же проводов — 100% тока трогания расцепителей автомата с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой;

для кабелей с бумажной изоляцией 100% номинального тока плавкой вставки или тока уставки автомата с максимальным токовым расцепителем или 80% тока трогания расцепителей автомата с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой;

для проводников всех марок 100% номинального тока расцепителя автомата с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой;

проводники ответвлений к короткозамкнутым элект-

тродвигателям исполнительных механизмов должны иметь допустимую длительную токовую нагрузку не менее 125% номинального тока электродвигателя.

В помещениях класса В-Iа, В-II, В-IIа, В-IIб и в наружных установках класса В-Iг электропроводки необходимо выполнять изолированными проводами в стальных защитных трубах или бронированными кабелями, прокладываемыми открыто по кабельным конструкциям, в стальных лотках или в каналах.

Во взрывоопасных помещениях и наружных установках допускается применять провода и кабели с алюминиевыми жилами (за исключением помещений классов В-I и В-Iа) при условии, что используются взрывозащищенные аппараты и приборы, позволяющие присоединять алюминиевые проводники.

Минимально допустимые сечения жил проводов и кабелей электропроводок во взрыво- и пожароопасных установках должны быть 1,5 мм<sup>2</sup> для медных и 2,5 мм<sup>2</sup> для алюминиевых проводников.

Во взрывоопасных помещениях класса В-I и В-Iа не допускается применять кабели с алюминиевой оболочкой.

#### **1.11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩИТОВ И ПУЛЬТОВ. ТРЕБОВАНИЯ К ЩИТОВЫМ ПОМЕЩЕНИЯМ**

Щиты и пульты выполняют роль постов контроля, управления и сигнализации автоматизированного объекта. Они являются связующим звеном между объектом управления и оператором. На щитах и пультах располагают средства контроля, управления и сигнализации технологических процессов (контрольно-измерительные приборы, аппаратуру управления и регулирования, устройства сигнализации и защиты). Кроме того, на фасадных сторонах щитов и пультов располагают мнемонические схемы, накладные надписи, поясняющие назначение отдельных панелей щитов, осветительные устройства щитов и др.

Щиты систем автоматизации подразделяются:

по исполнению — на щиты открытые (панельные) и защищенные (шкафные);

по назначению — щиты оперативные, с которых ведется контроль и управление технологическим процессом, и щиты неоперативные, предназначенные для установки

аппаратов и приборов, не используемых непосредственно оператором для управления и наблюдения за ходом технологического процесса.

Кроме того, по месту установки и объему информации различают следующие виды щитов:

местные щиты, размещаемые вблизи автоматизируемой установки;

агрегатные щиты, на которых устанавливают аппаратуру управления, контроля и сигнализации для одного агрегата;

блочные щиты, на которых размещают средства автоматизации нескольких агрегатов, сблокированных в единую комплексную установку;

центральные щиты, на которых устанавливают аппаратуру автоматизации, относящуюся ко всему технологическому процессу (цеха, завода) или к комплексу технологически связанных производств;

вспомогательные щиты. К ним относятся щиты с регистрирующими приборами и счетчиками, релейные щиты, щиты питания и т. п.

Пульт автоматизации, имеющий форму стола с наклонной плоскостью, представляет собой рабочее место оператора. На пульте устанавливают аппаратуру контроля, управления и сигнализации, которая связана между собой, а также с управляемым объектом и с другими пультами и щитами.

Различают пульта приставные и с вертикальной (или наклонной) приборной приставкой. Приставной пульт открыт с задней стороны, которая приставляется к передней стенке щита. Пульт с приборной приставкой представляет собой законченное изделие, используемое отдельно без приставки к щиту.

Пульт снабжается специальным сиденьем, обеспечивающим удобную рабочую позу оператора и предупреждающим быструю его утомляемость.

Щиты и пульта систем автоматизации технологических процессов конструируются и изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 3244—68 «Щиты и пульта автоматизации производственных процессов».

Щиты открытого типа размещают в специальных щитовых помещениях (операторных, диспетчерских, аппаратных и т. п.), в которые имеет доступ только персонал, обслуживающий системы автоматизации. В производст-

венных помещениях можно устанавливать щиты только защищенного типа.

Исполнение приборов и аппаратов, устанавливаемых на щитах и пультах, а также исполнение самих щитов (пультов) во всех случаях должно отвечать условиям окружающей среды производственных или щитовых помещений. В сухих (нормальных) и влажных помещениях допускается использовать оперативные и неоперативные щиты (пульта) в местах, наиболее удобных для контроля и управления автоматизированным технологическим оборудованием. Как правило, для этих целей следует применять защищенные щиты.

В помещениях сырых, особо сырых, жарких, пыльных, с химически активной средой, взрыво- и пожароопасных щиты и пульта устанавливать не рекомендуется. Если в указанных помещениях необходимо установить неоперативные щиты (щиты с датчиками, первичными приборами и т. п.), то они должны быть защищенные, специального исполнения с уплотнением, рассчитанные на использование в условиях соответствующей окружающей среды.

Напряжение, вводимое в щиты и пульта (цепями измерения, управления, питания, сигнализации и т. п.), установленные в производственных и щитовых помещениях всех категорий опасности в отношении поражения людей электрическим током, не должно превышать 400 В переменного и 440 В постоянного тока.

Если для питания электрифицированного инструмента используют напряжение до 36 В, то цепи этого напряжения прокладывают отдельно от других цепей. Штепсельные соединения (розетки, вилки) на напряжение до 36 В должны конструктивно отличаться от обычных штепсельных соединений на 220 В.

При установке открытых щитов в щитовых помещениях необходимо соблюдать следующие требования:

расстояние между наиболее выступающими открытыми токоведущими частями аппаратов и приборов, расположенных на противоположно установленных рядах щитов, должно быть не менее 1,5 м, причем ширина прохода (в свету) между рядами щитов должна быть не менее 0,8 м;

расстояние от наиболее выступающих открытых токоведущих частей аппаратов и приборов, установленных на внутренних стенках щита, до стены помещения, рас-

положенной сзади, должно быть не менее 1,0 м, при ширине прохода (в свету) не менее 0,8 м;

ширина прохода для обслуживания перед щитом (без учета требований хорошего обзора щита) должна быть не менее 0,8 м;

не допускается использовать проходы перед щитом, между щитами и сзади щита в качестве основного или запасного прохода в другие помещения, а также для транспортирования в другие помещения различного оборудования.

Приборы и аппараты на лицевой стороне щитов и пультов располагают в соответствии с принятыми принципами компоновки щитов и пультов систем автоматизации, исходя из условия обеспечения удобства и эффективности работы оператора, а также условий безопасности обслуживания.

Щиты защищенные с задней дверью, с передней и задней дверью, а также с боковой дверью без внутреннего прохода, у которых глубина или расстояние от двери до противоположной стенки не превышает 600 мм, относятся к щитам, обслуживаемым извне. В этих щитах аппараты и приборы с открытыми токоведущими частями можно устанавливать на любых внутренних стенках.

В пультах для размещения аппаратов и приборов следует, как правило, использовать только рабочую (верхнюю) поверхность пульта и переднюю стенку приборной приставки. На внутренних стенках пульта рекомендуется устанавливать только сборки зажимов.

Аппараты и приборы (или блоки из них) внутри щитов и пультов нужно группировать по принадлежности к системам измерения, управления, сигнализации и т. п., а внутри этих групп — по роду тока, значению напряжения, типам аппаратов.

При размещении приборов и аппаратов на щитах и пультах расстояние между открытыми токоведущими элементами разных фаз (полярности), а также между элементами и неизолированными металлическими частями (корпусом) должно быть не менее 20 мм по поверхности изоляции и 12 мм по воздуху.

Аппараты и приборы, устанавливаемые внутри щитов, рекомендуется размещать на следующих расстояниях от основания щита:

трансформаторы и другие источники питания малой мощности — на 1700...2000 мм;

панели с выключателями, предохранителями, автоматами — на 700...1700 мм;

реле — на 600...1900 мм;

сборки зажимов при горизонтальном расположении с учетом разделки кабеля — на 350...800 мм;

сборки зажимов при вертикальном расположении с учетом подвода кабеля снизу и сверху:

нижний край сборки — на 350 мм;

верхний край сборки — на 1900 мм;

стойки для крепления кабелей — на 150 мм.

При установке двух и более горизонтальных сборок расстояние между ними должно быть не менее 200 мм.

Аппаратуру, выделяющую при работе большое количество тепла (резисторы, лампы и т. п.), нужно, как правило, размещать в верхней части щитов. Аппараты и приборы, характеристики которых существенно зависят от температуры окружающей среды, устанавливаются в местах, удаленных от устройств, выделяющих тепло.

Аппараты с подвижными токоведущими частями (рубильники, автоматы, магнитные пускатели, реле и т. п.) следует размещать так, чтобы они не могли самопроизвольно замкнуть цепь под действием силы тяжести. Подвижные токоведущие части аппаратов в отключенном состоянии не должны быть под напряжением.

Не допускается устанавливать на одной панели щита электрические аппараты и приборы, к которым подводятся трубки с горючей жидкостью.

Электрические проводки в щитах и пультах нужно выполнять в закрытых несгораемых или трудносгораемых коробах (металлических, полихлорвиниловых и др.) или открытыми жгутами. Электропроводки щитов и пультов следует выполнять медными изолированными проводами, минимальные сечения которых соответствуют минимальным сечениям электропроводок систем автоматизации. Для электропроводок к приборам и аппаратам, установленным на подвижных элементах щитов (дверях, поворотных рамах и т. п.), нужно использовать гибкие медные провода.

Если есть указания заводов-изготовителей приборов, нужно применять специальные провода (экранированные, коаксиальные и др.).

Сборки зажимов и зажимы в пределах одной сборки рекомендуется группировать по следующим признакам: по автоматизируемым агрегатам, установкам и т. п.;

по системам управления, измерения, сигнализации и т. п.;

по напряжению цепей.

При этом целесообразно выделять в отдельные группы:

зажимы цепей измерения;

зажимы цепей, подлежащих экранированию;

зажимы цепей питания электронного инструмента и переносного освещения напряжением до 36 В;

зажимы цепей постоянного и переменного тока;

зажимы искробезопасных цепей и т. п.

Группы зажимов должны разделяться между собой маркировочной колодкой либо свободным зажимом.

Требования к щитовым помещениям необходимо учитывать при разработке следующих частей проекта: строительной, сантехнической и освещения.

Место размещения щитовых помещений, встроенных в производственные помещения или выносных (в отдельных зданиях, пристройках и т. п.), следует в каждом конкретном случае выбирать с учетом особенностей технологического процесса, норм и противопожарных требований строительного проектирования, компоновочных и строительных решений, удобства управления автоматизируемым объектом, простоты обслуживания систем автоматизации и экономических факторов.

Щитовые помещения не должны размещаться:

вблизи источников сильного шума с частотой свыше 4 кГц (если щитовые помещения невозможно удалить, нужно предусмотреть звукоизоляцию);

в подвальных и цокольных этажах;

над помещениями с производством, сопровождающимся выделением большого количества тепла (более 23 Вт/м<sup>3</sup>) или выделением вредных газов, паров, пыли;

над помещениями с пожароопасным производством;

в местах, где действуют сильные магнитные поля промышленного электрооборудования, под помещениями с мокрым технологическим процессом;

под и над вентиляционными камерами систем вентиляции и установками кондиционирования воздуха;

под душевыми и санузлами.

В помещениях операторских (диспетчерских) пунктов не должно быть:

вибраций от технологического оборудования свыше установленных пределов (табл. 8);

Таблица 8. Предельно допустимые значения вибрации

Частота, Гц	Амплитуда, мм	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательного движения, см/с <sup>2</sup>
8...15	0,05...0,03	0,25...0,20	13...27
15...25	0,03...0,009	0,28...0,17	27...52

шума свыше пределов, указанных в таблице 9; действия магнитного поля от электрооборудования и электропроводок напряженностью свыше 400 А/м.

Большое внимание необходимо уделять планировке щитового помещения. Хорошим планировочным решением считается такое, при котором все панели оперативно приборного щита располагаются вдоль одной стены помещения, а место оператора в плане находится в вершине угла 120°, образованного линиями, идущими от крайних точек щита.

Расстояние от постоянного места нахождения оператора (стола, пульта управления) до щита рекомендуется ограничивать в пределах 5 м (рис. 35).

Обзор приборов с мелкой шкалой должен осуществляться с расстояния не более 1...2 м, с хорошо видимой шкалой с расстояния не более 2...4 м, мнемосхем — с расстояния 4...5 м.

Если на щите имеются приборы со шкалами различной видимости, то следует ориентироваться на наиболее часто считываемые приборы.

Наилучший обзор и восприятие приборов осуществляются при угле обзора 30°. Допускается угол обзора до 90°. При большем угле могут наблюдаться сильные искажения.

На состояние оператора и его работоспособность оказывают влияние многие факторы окружающей среды: температура, влажность, барометрическое давление, освещение, окраска деталей помещения и оборудования, шум, вибрация, наличие паров, газов и т. п.

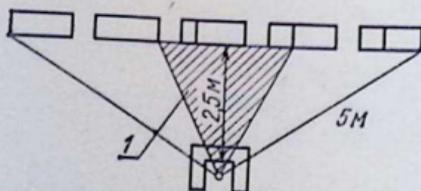


Рис. 35. Размещение стола оператора в щитовом помещении:  
1 — сектор наилучшего обзора.

Комфортные условия по температуре и влажности для большинства

Таблица 9. Допустимые значения уровней шума в помещениях пунктов управления

Частота, Гц	Уровень шума в помещениях, дБ		
	максимально допустимые пределы без вредного влияния на слух		максимальный предел расчетных комфортных условий для человека
	случайное воздействие (1 ч и менее)	постоянное воздействие (1 месяц)	
38...75	125	115	100
75...150	120	110	95
150...300	120	110	90
300...600	120	105	85
600...1200	115	100	75
1200...2400	110	95	65
2400...4800	105	90	60

людей составляют:  $t=21^{\circ}\text{C}$  (физиологически нейтральная температура) и относительная влажность  $\omega=30\text{...}70\%$ .

Стены щитовых помещений рекомендуется окрашивать в спокойные тона: светло-серые, серо-голубые, зеленовато-голубые, серо-зеленые, светло-желтые, белые. При этом следует учитывать ориентацию помещения относительно стран света, размеры помещений, температуру и др.

Для стен помещений, расположенных на северной стороне и имеющих более низкую температуру, рекомендуется использовать желтый, желтовато-зеленый и т. п. теплые цвета и оттенки; для помещений, расположенных на солнечной стороне и имеющих повышенный температурный режим, рекомендуются зеленовато-голубой, серо-голубой и другие более холодные оттенки, а также белый цвет.

Цвета потолка и пола, окраска щитов, пультов и вспомогательного оборудования должны гармонично сочетаться с цветом стен.

Полы в щитовых должны быть неэлектропроводными.

В щитовых нужно предусматривать воздушное отопление. Допускается и водяное с утопленными радиаторами, перекрытыми решетками, гармонирующими с общим оформлением помещения. Отопление и вентиляцию рассчитывают, исходя из обеспечения комфортных условий для операторов.

Таблица 10. Нормы на микроклимат в щитовых помещениях систем автоматизации

Холодный и переходный периоды года ( $t_{\text{нар. возд}} < +10^{\circ}\text{C}$ )						Теплый период года ( $t_{\text{нар. возд}} > +10^{\circ}\text{C}$ )					
оптимальные			допустимые			оптимальные			допустимые		
$t, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi, \%$	$v^* \text{ не более } \text{м/с}$	$t, ^{\circ}$	$\varphi, \%$	$v, \text{ м/с}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi, \%$	$v, \text{ м/с}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi, \%$	$v, \text{ м/с}$
18...21	60...40	0,2	17...22	80	0,3	22...25	60...40	0,3	23	80	0,5
									24	75	
									25	70	
									26	65	
									27	60	
									28	55	

\*  $v$  — скорость движения воздуха.

Щитовые обеспечиваются вентиляцией с расположением вентиляционных систем вне помещения. Если по расчету вентиляция не может обеспечить комфортных условий, применяют кондиционирование воздуха.

Щитовой должно быть избыточное давление. Содержание пыли в воздухе щитовых должно составлять 2 мг на 1 м<sup>3</sup>. При расчете вентиляции учитывают тепловыделение приборов и средств управления, установленных в помещении.

Вентиляция должна быть, как правило, естественной. Соотношение площади окон и площади пола должно составлять 1 : 5 (при работе с мелкими деталями) и в остальных случаях 1 : 10. Следует избегать прямого попадания солнечных лучей на приборы и рабочие поверхности пультов, щитов и т. п. Искусственное освещение должно составлять: 550...1100 лк при считывании приборов; 220...550 лк при управлении и ведении записей; 100 лк при осмотре и ремонте; 20...50 лк в проходах.

Необходимо избегать появления бликов на приборных щитах и пультах. Освещение щитовых помещений должно получать питание от сети освещения автоматизируемого объекта.

Кроме рабочего освещения, в щитовой предусматривается аварийное. Светильники аварийного освещения

должны присоединяться к независимому источнику питания.

Не рекомендуется прокладывать через щитовые помещения транзитные трубопроводы отопления, водопровода, канализации, вентиляции. Если такая прокладка необходима, то эти трубопроводы не должны иметь в пределах щитового помещения люков, задвижек, фланцев, вентилях. Прокладывать через щитовые помещения газопроводы и трубопроводы с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями запрещается.

Не допускается вводить в щитовые помещения пожарные водопроводы и устанавливать шкафы для пожарных кранов и рукавов. В качестве средств пожаротушения в этих помещениях необходимо использовать углекислотные и порошковые огнетушители.

#### **1.12. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Для заземления электроустановок систем автоматизации, как правило, используют заземляющую сеть (заземляющее устройство) системы электроснабжения и силового электрооборудования автоматизируемого объекта. Исключение составляют некоторые специальные системы автоматизации, которые по специфическим условиям работы или требованиям заводов-изготовителей не допускают объединение с общими заземляющими сетями. Для таких систем предусматривают отдельное заземляющее устройство.

Заземляющие проводники в электроустановках систем автоматизации разделяются на основные (магистральные) и на ответвления от них к электроприемникам (радиальные) (рис. 36). Магистральные проводники предназначены для выполнения заземлений в питающей сети системы электропитания КИПиА, а радиальные — в распределительной сети.

При помощи магистральных заземляющих проводников щиты и сборки питания системы КИПиА соединяются с заземляющей сетью.

Радиальными заземляющими проводниками заземляют (соединение с заземляющей шиной или с болтами щитов и сборок питания КИПиА) отдельно стоящие и сосредоточенно установленные на щитах и пультах электроприемники систем автоматизации.

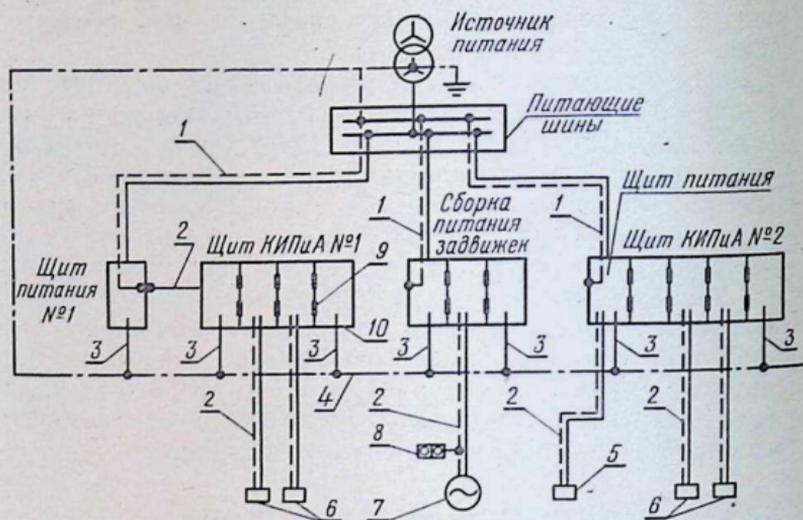


Рис. 36. Пример заземляющей сети системы автоматизации:

1 — магистральные заземляющие проводники; 2 — радиальные заземляющие проводники; 3 — проводники дополнительного заземления; 4 — заземляющая сеть автоматизируемого объекта; 5 — отдельно стоящий прибор; 6 — датчики, первичные приборы и т. п.; 7 — электропривод задвижки (вентили); 8 — аппарат управления; 9 — места контактных металлических соединений отдельных панелей щитов; 10 — рама щита.

Заземление в электроустановках систем автоматизации необходимо выполнять в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках, при использовании приборов, аппаратов и других средств автоматизации с напряжением в цепях питания, контроля, измерения, управления, сигнализации и т. п. выше 36 В переменного и 110 В постоянного тока.

Заземлению подлежат металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, но на которых может появиться опасное для жизни напряжение при повреждении электрической изоляции токоведущих частей (проводов, обмоток и т. п.).

Не требуется заземление:

отдельными проводниками приборов, аппаратов и других средств автоматизации, установленных на заземленных щитах и пультах или вспомогательных конструкциях, если обеспечивается надежный металлический контакт (без краски, лака, ржавчины и т. п.) между корпусами электроприемников и металлоконструкциями щитов и пультов;

корпусов электроприемников, изготовленных полностью из неэлектропроводных материалов (пластмасса, карболит, стекло и т. п.);

отдельно стоящих щитов и пультов, предназначенных для установки неэлектрических приборов и средств автоматизации (пневматических, гидравлических, механических и т. п.). Электрическая проводка стационарного освещения таких щитов должна выполняться в заземленных стальных трубах (вплоть до ввода в осветительную арматуру).

В качестве заземляющих проводников в сетях с глухозаземленной нейтралью используются: нулевые проводники, стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, отдельные жилы кабелей и проводов. При этом применять нулевые проводники для заземления однофазных электроприемников запрещается.

Проводимость заземляющих проводников должна составлять не менее 50% от проводимости фазных проводников и удовлетворять требованиям надежной работы защитных аппаратов при однофазных коротких замыканиях. Сечения заземляющих проводников в сетях постоянного тока обычно принимают равными сечению питающих проводников. Минимально допустимые сечения медных изолированных заземляющих проводников должны быть 1 мм<sup>2</sup>, а с алюминиевой жилой 2,5 мм<sup>2</sup>. Не допускается использовать в качестве заземляющих проводников броню и свинцовые оболочки кабелей, а также металлорукава, металлоконструкции коробов и лотков, так как эти элементы сами подлежат заземлению.

Заземляющая сеть должна выполняться в соответствии с требованиями ПУЭ и СН 102—76 «Инструкция по устройству сетей заземления и зануления в электроустановках». Заземлять составные щиты и пульты, у которых обеспечен надлежащий электрический контакт отдельных панелей (секций) между собой и установочной рамой, разрешается только в одном месте.

Заземлять приборы, аппараты и средства автоматизации, подвергающиеся вибрациям, частому демонтажу или установленные на движущихся частях, необходимо при помощи гибких медных проводников. В местах соединений должны быть приняты меры против ослабления контактов (пружинные шайбы, контргайки и т. п.).

Короба с электропроводками систем автоматизации нужно присоединять к сети заземления не менее чем в

двух противоположных друг от друга местах. Ответвления от коробов в конце следует заземлять дополнительно. В местах сопряжения элементы коробов следует приваривать друг к другу электросваркой в двух-трех точках.

Электроустановки систем автоматизации в пожароопасных установках (в помещениях и наружных) заземляют как в обычных установках.

Электроустановки во взрывоопасных помещениях и наружных установках заземляют при всех напряжениях переменного и постоянного тока.

Средства автоматизации, установленные на заземленных металлических конструкциях (кроме щитов и пультов), нужно заземлять отдельными проводниками независимо от наличия заземления конструкции, на которой они размещены.

В качестве заземляющих проводников в однофазных и двухфазных сетях используют третьи жилы проводок и кабелей, а в трехфазных сетях — четвертые жилы проводов и кабелей.

### **1.13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНЕМОСХЕМ**

Мнемосхема является графическим изображением технологического процесса (технологической линии). Она позволяет оператору быстро оценивать ход процесса. На мнемосхеме отражаются все основные контуры управления. Однако степень детализации не должна быть чрезмерной. На мнемосхеме не показывают второстепенные элементы технологического процесса, отвлекающие внимание оператора и усложняющие оценку состояния и хода процесса.

Мнемосхема должна удовлетворять не только техническим, но и эстетическим требованиям. Проектирование и выполнение мнемосхем является одной из задач художественного конструирования, нуждающейся в учете специфических требований эстетики, эргономики и инженерной психологии. В связи с этим желательно, чтобы в разработке мнемосхем участвовали специалисты по художественному конструированию.

Отдельные технологические машины, аппараты, трубопроводы, линии связи и другие устройства на мнемосхемах изображают символами. Контуры символов должны, как правило, быть подобными контурам соответ-

ствующих машин и аппаратов. Соблюдать масштабные соотношения между размерами технологического оборудования и соответствующих им символов не обязательно и даже нецелесообразно. Символами больших размеров необходимо изображать прежде всего более ответственное оборудование.

Символы технологического оборудования, относящиеся к одному и тому же производственному участку (точной технологической линии), должны изображаться на поле мнемосхемы вблизи друг друга общей группой. В пределах таких групп символы размещаются приблизительно равномерно, а группа от группы несколько отделяется.

Плотность размещения символов на мнемосхеме должна быть такой, чтобы можно было в дальнейшем внести в мнемосхему небольшие изменения при совершенствовании технологии и частичном изменении технологического процесса.

Направление основного технологического процесса на мнемосхеме принимается, как правило, слева направо, в соответствии с общепринятым направлением письма и чтения.

Символы технологических машин и установок следует размещать на поле мнемосхемы таким образом, чтобы исключить или свести к минимуму число пересечений линий мнемосхемы. Линии технологических потоков между символами аппаратов необходимо проводить по кратчайшему пути и по возможности без пересечений.

На линиях технологических потоков, как правило, около машин и аппаратов, изображают 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, помещения в символе органов контроля, сигнализации и управления и возможностью чтения схемы оператором на расстоянии.

Минимально допустимые размеры символов с учетом расстояния от мнемосхемы до оператора определяют по формуле

$$S = 2l \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (78)$$

где  $S$  — размер символа,  $m$ ;  $l$  — расстояние до символа по линии зора,  $m$ ;  $\alpha$  — угол зрения в угловых минутах.

Для символов несложной формы принимают  $\alpha = 25'$ . Для символов сложной конфигурации с деталями внутри или снаружи контура  $\alpha = 35'$ . Для наименьших деталей сложных символов  $\alpha = 6'$ . Следует иметь в виду, что приведенные цифры являются минимальными. Оптимальное значение символа, обеспечивающее быстрое считывание, соответствует  $\alpha = 40'$ .

Расстояние между соседними символами в угловых минутах должно быть не менее  $40'$ . Символы оборудования разных технологических линий разносятся на большие расстояния.

Символы и линии технологических потоков на мнемосхемах бывают накладными и рисованными. Накладные символы изготавливают, как правило, из листового дюралюминия толщиной 1...2 мм. Иногда символы и линии выполняют из пластмасс и других материалов.

Ширину полос линий технологических потоков, импульсных и командных линий приборов и регуляторов обычно принимают равными 4, 6, 8, 10 или 12 мм. Причем линии технологических потоков должны быть в два и больше раза шире импульсных и командных линий. Линии мнемосхем шириной 4 мм наносят краской.

Окрашивают символы в цвета, совпадающие с фактической окраской технологического оборудования. Цвета технологических трубопроводов принимают по ГОСТ 3464—63 «Чертежи в машиностроении. Условные изображения трубопроводов для жидкостей и газов».

Для раскраски элементов мнемосхем рекомендуется использовать масляные художественные краски первой группы по СТУ 30-12186—61. Мнемосхемы, использующие цвета, предусмотренные ГОСТ 6465—76 и ГОСТ 926—63, можно раскрашивать эмалями марок ПФ-115, ПФ-133 и др., пригодными для нанесения кистью.

Задание на выполнение чертежа мнемосхемы является частью задания на чертеж общего вида щита (пульт) управления и представляет собой выполненный на миллиметровой бумаге эскиз мнемосхемы в масштабе требуемого чертежа. Как правило, применяется масштаб 1:2. Масштабы 1:5 и 1:1 используют редко, и для их применения требуется согласие начальника конструкторского (проектного) отдела, который изготавливает чертеж мне-

мосхемы. Как правило, мнемосхему оформляют в виде отдельного чертежа.

Задание (эскиз мнемосхемы) должно содержать следующие сведения.

1. Габаритные размеры мнемосхемы и место размещения ее на щите или пульте. Мнемосхемы помещают в удобных для оператора зонах щита (пульта) управления. При наличии в мнемосхеме органов управления (ключей, кнопок) размещение мнемосхемы определяется удобством пользования ими. Органы управления, встроенные в мнемосхему, желательно устанавливать не ниже 800 мм и не выше 1600 мм от уровня пола помещения управления.

2. Координаты размещения основных символов мнемосхемы, изображенных в выбранном масштабе. При изготовлении чертежа мнемосхемы конструктор может несколько изменить координаты положения отдельных символов технологического оборудования. Размеры символов могут в задании не указываться и приниматься по промеру на эскизе и уточняться конструкторами мнемосхемы.

При выборе размеров символов, содержащих встроенные элементы (сигнальные лампы, кнопки и т. п.), и координат их размещения на поле мнемосхемы следует учитывать конструктивные особенности встраиваемых в символ изделий, возможность и удобство их установки и пользования ими.

3. Цвета всех символов, линий технологических потоков, измерительных и командных линий приборов и регуляторов. При этом указываются 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.

Чертеж мнемосхемы выполняют на основании задания. Он должен содержать основные размеры мнемосхемы, координаты размещения символов, размеры символов, материал, из которого они должны быть изготовлены, указания о креплении символов и линий мнемосхемы, указания о цветах и красках для раскрашивания символов и линий. Иногда выбор способа крепления символов предоставляется заводу-изготовителю мнемосхемы. В

этом случае на поле чертежа должно быть указано: «Крепление символов мнемосхемы производить по СТП завода-изготовителя».

На чертеже мнемосхемы должны быть указаны координаты ее размещения на щите (пульте).

## **1.14. РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Под эффективностью систем автоматизации в широком смысле понимают надежность их функционирования и их экономическую эффективность при внедрении в производство.

### **1.14.1. Надежность элементов и систем автоматизации**

Надежность определяют как свойство объекта (системы, изделия) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Вопросы надежности функционирования отдельных элементов и систем в целом регламентируются ГОСТ 13377—75 «Надежность в технике, термины и определения».

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или определенное сочетание этих свойств как для системы, так и для ее частей.

**Безотказность** — это свойство объекта (изделия) непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени (наработки).

**Долговечностью** называется свойство объекта (изделия) сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

**Ремонтпригодность** — это приспособленность изделия к предупреждению и обнаружению причин возникно-

вения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

**Сохраняемость** называется свойство изделия непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение хранения и транспортирования и после них.

Кроме упомянутых понятий надежности, которые характеризуют свойства объекта (изделия), имеются понятия, определяющие состояние изделия. Среди них исправное и неисправное состояние, работоспособное и неработоспособное состояние, предельное состояние, повреждение, отказ.

*Исправным* состоянием называют такое, при котором изделие соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией, а *неисправным* — когда изделие не соответствует хотя бы одному требованию.

*Работоспособное и неработоспособное* состояние характеризуется способностью (неспособностью) изделия выполнять заданные функции с сохранением значений заданных параметров в соответствии с нормативно-технической документацией.

*Предельное состояние* — это состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, отклонения параметров за установленные пределы, снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, а также из-за необходимости проведения среднего или капитального ремонта. Признаки (критерии) предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией на данное изделие.

*Повреждением* называют событие, заключающееся в нарушении исправности изделия из-за влияния внешних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации. Повреждение может быть существенным и являться причиной нарушения работоспособности и несущественным, при котором работоспособность изделия сохраняется.

*Отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия. Отказы подразделяются на постепенный, внезапный, сбой и другие виды.

Постепенный отказ характеризуется постепенным изменением (ухудшением) одного или нескольких параметров изделия. **Внезапный отказ** отличается

скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров изделия.

Причинами отказов могут быть дефекты, допущенные при конструировании, производстве и ремонтах, нарушение правил и норм эксплуатации, различного рода повреждения, а также естественные процессы изнашивания и старения. Отказы, возникшие из-за нарушения правил и норм эксплуатации, неправильных действий обслуживающего персонала при оценке надежности изделий не учитываются.

Сбой — самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности изделия. Сбои вызываются появлением помех в линиях связи, источниках питания и т. п.

К количественным показателям надежности относятся вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ, средний срок службы, среднее время восстановления, средний срок сохраняемости, коэффициент готовности объекта (изделия) и др.

Вероятность безотказной работы  $p(t)$  представляет собой вероятность того, что в заданном интервале времени при заданных режимах и условиях работы не возникнет отказа изделия. Этот показатель статистически определяется отношением числа изделий, безотказно проработавших заданное время, к числу работоспособных изделий в момент начала наблюдения. Если, например, для определенного типа полупроводниковых диодов вероятность безотказной работы  $p(1000) = 0,95$ , это означает, что при достаточно большом числе диодов данного типа, работающих в одинаковых условиях, около 95% из них проработает без отказа не менее 1000 ч. Причем чем больше диодов будет взято для испытаний, тем ближе к 95% будет это значение.

Приближенно  $p(t)$  определяется по формуле

$$p(t) = \frac{N(t)}{N_n},$$

где  $N(t)$  — число изделий, оставшихся работоспособными до конца наработки;  $N_n$  — начальное число изделий.

Более точно  $p(t)$  определяют по экспоненциальной зависимости

$$p(t) = e^{-k\lambda t},$$

где  $\kappa$  — коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды (для нормальных лабораторных условий  $\kappa=1$ , для стационарных установок в сельском хозяйстве  $\kappa=10\dots15$ ; для мобильных агрегатов  $\kappa=25\dots30$ );  $\lambda$  — интенсивность отказов, которая указывается в технической документации на изделие или принимается по таблицам показателей надежности.

Величиной, противоположной по смыслу  $p(t)$ , является вероятность отказа  $q(t)$ . При этом  $p(t) + q(t) = 1$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  определяется как вероятность возникновения отказа невосстанавливаемого (неремонтируемого) изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого времени не возник. Интенсивность отказов (один в час) определяется на основании опытных данных по формуле

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(\Delta t)}{N(t) \Delta t},$$

где  $\Delta N(\Delta t)$  — число отказавших изделий за время  $\Delta t$ ;  $N(t)$  — число работоспособных элементов в начале интервала времени  $\Delta t$ ;  $\Delta t$  — интервал времени наблюдения.

Значения интенсивности отказов для разных изделий приводятся в справочной литературе.

Если построить среднестатистические значения  $\lambda(t)$  от длительности эксплуатации для любого вида изделий, то получим характерную кривую (рис. 37), на которой отчетливо различаются три участка (три этапа) эксплуатации.

Первый участок характеризует повышенную интенсивность отказов в процессе приработки. Из строя выходит сравнительно большое число элементов. Это происходит из-за производственных дефектов и ошибок, допущенных при изготовлении, сборке и монтаже.

Второй участок — нормальная работа. Для него характерна сравнительно небольшая (минимальная) и практически постоянная интенсивность отказов.

Третий участок — этап износа и старения. Здесь наблюдается посте-

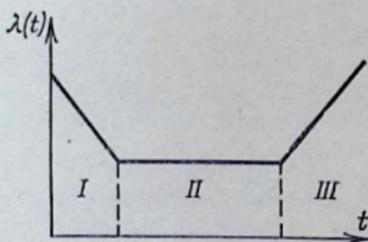


Рис. 37. Зависимость интенсивности отказа от времени.

*I* — первый участок — приработка; *II* — второй участок — нормальная эксплуатация; *III* — третий участок — старение.

пенное увеличение интенсивности отказов из-за неизбежного процесса старения и износа элементов.

Важным показателем надежности изделия является средняя наработка до первого отказа, которая определяется статистически отношением суммы наработки испытуемых изделий до отказа к числу отказов (или отказавших изделий)

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где  $t_i$  — наработка до отказа  $i$ -го изделия;  $n$  — число отказавших изделий.

Формула тем точнее, чем больше изделий испытано до отказа. Интенсивность отказа изделия и его средняя наработка до отказа связаны простым соотношением  $I_{\text{ср}} = 1/\lambda$ .

Применительно к восстанавливаемым изделиям используются показатели безотказности — *параметр потока отказов, наработка на отказ, среднее время восстановления и коэффициент готовности*.

*Параметр потока отказов*  $\omega(t)$  — среднее число отказов восстанавливаемого изделия в единицу времени, взятое для рассматриваемого промежутка времени. Этот показатель находится как отношение суммарного числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются новыми, то есть число испытываемых изделий в партии сохраняется неизменным на протяжении всего испытания.

$$\omega(t) = \frac{\Delta N}{N_n \Delta t},$$

где  $\Delta N$  — число отказавших изделий за время  $\Delta t$ ;  $N_n$  — число изделий в партии;  $\Delta t$  — интервал времени испытания.

*Нарработка на отказ*  $T_o$  — это среднее время наработки восстанавливаемого изделия между отказами (без учета времени, затрачиваемого на восстановление изделия).

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n},$$

где  $n$  — число отказов изделия за время испытания (наблюдений);  $\Delta t_i$  — время исправной работы изделия между  $i-1$  и  $i$ -м отказами.

Среднее время восстановления  $T_B$  — среднее время, затрачиваемое на восстановление изделия после отказа, включая время поиска причин отказа. Этот показатель определяют по формуле

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i}{m},$$

где  $\tau_i$  — длительность восстановления  $i$ -го изделия;  $m$  — число изделий, подвергавшихся восстановлению.

Коэффициент готовности  $K_G$  является комплексным показателем надежности. Он показывает вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых не предусматривается использование изделия по назначению.

Коэффициент готовности

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_B},$$

где  $T_0$  — наработка на отказ;  $T_B$  — среднее время восстановления.

Вероятность безотказной работы автоматической системы зависит от надежности входящих в нее элементов, от структурной схемы их соединения и степени резервирования. К типовым схемам соединения (структурной надежности) относят последовательное, параллельное и смешанное соединение элементов.

При последовательном соединении  $n$  элементов вероятность безотказной работы системы

$$p(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}, \quad (79)$$

где  $p_i(t)$ ,  $\lambda_i$  — вероятность безотказной работы и интенсивность отказов  $i$ -го элемента.

При параллельном соединении  $m$  элементов вероятность безотказной работы

$$p(t) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - p_j(t)].$$

Для смешанного соединения ( $n$  последовательных групп из  $m$  параллельных элементов) вероятность безотказной работы

$$p(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \prod_{j=1}^m [1 - p_j(t)] \right\}.$$

Надежность функционирования систем автоматизации во многом зависит от того, были ли приняты необходимые меры на стадии их проектирования, монтажа и эксплуатации.

В процессе проектирования наибольший эффект дают схемные способы повышения надежности, которые основаны на совершенствовании и упрощении схем автоматизации. Кроме того, большую роль играет правильный выбор элементов и устройств автоматизации (надежных, унифицированных, ремонтпригодных).

В процессе монтажа необходимо проводить предварительное испытание и наладку наиболее ответственных устройств и узлов автоматической системы, а также тщательный контроль за качеством выполнения монтажных работ.

Очень важно для долговечности работы автоматической системы строго соблюдать правила эксплуатации ее элементов и узлов в соответствии с заводскими инструкциями и общими требованиями эксплуатации средств автоматизации. Необходимо изучать и обобщать опыт эксплуатации и разрабатывать меры повышения надежности работы устройств и систем автоматизации.

#### **1.14.2. Техничко-экономическая эффективность автоматических систем в сельскохозяйственном производстве**

Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства все больше влияет на повышение производительности труда в сельском хозяйстве и сокращение затрат на производство продукции. На развитие материально-технической базы сельского хозяйства государством выделяются значительные денежные и материальные средства. Поэтому стоит задача добиться на каждую единицу затрат (трудовых, материальных, финансовых) существенного увеличения объема производства, повышения его эффективности.

При определении показателей экономической эффективности пользуются «Методикой определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений».

Для определения сравнительной экономической эффективности инженерно-технических решений, в том числе проектных решений по автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства пользуются показателем **минимума приведенных затрат**, представляющих собой сумму текущих производственных затрат (эксплуатационных издержек) и единовременных капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности (за год или другой отрезок времени) при использовании единого для всех сравниваемых вариантов нормативного коэффициента эффективности. Приведенные затраты

$$Z_{пр} = C + E_n K, \quad (80)$$

где  $Z_{пр}$  — приведенные затраты, руб/год;  $C$  — годовые эксплуатационные издержки, руб.;  $K$  — объем капитальных вложений по данному варианту, руб.;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности. В сельском хозяйстве в целом  $E_n=0,12$ , для капитальных вложений в новую технику для всех отраслей народного хозяйства, в том числе и для сельского хозяйства,  $E_n=0,15$ .

В состав эксплуатационных издержек входят:

расходы на оплату труда персонала, занятого на сравниваемых вариантах производства;

отчисления по амортизации (включая капитальный ремонт и реновацию) машин, электродвигателей, оборудования, средств автоматики, зданий и специальных технологических сооружений;

расходы на текущий ремонт машин, оборудования и строительных конструкций;

оплата электроэнергии, топлива и смазочных материалов;

прочие прямые расходы.

Расходы на оплату труда персонала, занятого выполнением процесса при помощи того или иного комплекса машин, определяют, исходя из затрат труда работников различных категорий и часовых ставок их заработной платы (рассчитанных по нормам оплаты труда с учетом надбавок за увеличение количества и повышение качества продукции и начислений на заработную плату, а также доплат за классность).

**Отчисления на амортизацию** (капитальный ремонт и реновацию) определяют в процентах от балансовой стоимости машин, двигателей, зданий и др. в соответствии с действующими нормами амортизационных отчислений. Например, норма амортизационных отчислений на все машины, используемые в животноводстве, установлена в 14,2%, что соответствует сроку использования техники 7,5 г.

**Расходы на текущий ремонт машин, двигателей, оборудования и зданий** определяются в процентах от балансовой стоимости основных средств производства. Следует отметить, что нормы отчислений на текущий ремонт не установлены в общегосударственном масштабе. По рекомендации ВИСХОМа принимают, что для машин, сезонно используемых в производстве, расходы на текущий ремонт составляют 14% от балансовой стоимости, а для машин круглогодичного использования — 18%.

**Стоимость электроэнергии, топлива и смазочных материалов.** Затраты на электроэнергию определяют по значению годового электропотребления и тарифу на электроэнергию для производственных целей, равному 1 коп. за 1 кВт·ч. Комплексная цена 1 кг топлива, используемого тракторами, самоходными шасси (с учетом смазочных материалов), в зависимости от зон страны составляет от 8,2 до 10,8 коп. \*

При определении капитальных вложений по вариантам необходимо учитывать затраты на:

- приобретение машин и оборудования;
- торгово-транспортные и складские расходы;
- монтаж машин и оборудования;
- внутреннюю электропроводку;
- строительство и реконструкцию специальных технологических помещений и сооружений;
- другие капитальные затраты, необходимость которых вызвана автоматизацией.

Расходы на приобретение машин и оборудования определяют по действующим оптовым ценам на оборудование. Торгово-транспортные и складские расходы принимают в среднем равными 11% прейскурантной цены машин [41]. Затраты на монтаж машин и оборудование следует определять по действующим ценникам на

\* Сведения о ценах имеют не справочный, а учебный характер.

монтажные работы. Приблизительно считают [41], что затраты на монтаж составляют 15...20% от оптовой цены машин и оборудования.

Затраты на внутреннюю электропроводку включают в себя стоимость кабеля и его прокладку от силового щита к электрифицированной машине (в практических расчетах принимают, что стоимость прокладки 1 м кабеля открытым способом 0,5...0,9 руб., в трубе — 2,90 руб.).

Расходы на строительство специальных помещений, связанных с автоматизацией производства, или на выполнение специальных строительно-монтажных работ в этой связи определяют по сметам проектов этих сооружений, а если их нет, то по сметам для объектов одинакового назначения и одинаковой конструкции.

На расходы, представляющие собой капитальные вложения, составляют сметы по прилагаемой форме 1.

При подсчетах капитальных вложений по сложному объекту, кроме частных смет, составляют также сводные сметы по форме 2.

После расчетов приведенных затрат для разных вариантов принимают тот, у которого приведенные затраты наименьшие.

Абсолютную экономическую эффективность от внедрения средств и систем автоматизации определяют по показателям эффективности сельскохозяйственного производства, к которым относятся:

повышение производительности труда, характеризующее экономию труда, снижение трудоемкости производства продукции и сокращение потребности в рабочей силе;

снижение себестоимости продукции, которое характеризует сокращение трудовых и материально-денежных затрат на производство продукции по сравнению с затратами до автоматизации;

увеличение прибыли;

повышение рентабельности производства.

В качестве дополнительных показателей могут быть использованы:

общие и удельные капиталовложения, необходимые для осуществления автоматизации процессов, которые выражают затраты труда, овеществленные в основных средствах производства для сокращения будущих затрат труда;



срок окупаемости капитальных вложений в автоматизацию объекта, который снижается за счет сокращения производственных затрат, обусловленных применением автоматического управления.

#### Повышение производительности труда

$$P_T = \frac{Z_{T1} - Z_{T2}}{Z_{T1}} 100\%, \quad (81)$$

где  $Z_{T1}$ ,  $Z_{T2}$  — существующие и перспективные затраты труда на единицу продукции.

#### Себестоимость продукции, руб/т,

$$C = \frac{\Sigma И}{П}, \quad (82)$$

где  $\Sigma И$  — сумма всех затрат на производство продукции, руб.;  
 $П$  — количество продукции, т.

Суммарные затраты на производство продукции складываются из затрат на оплату труда персонала, на амортизацию, на ремонт и техход за оборудованием, на водоснабжение, на топливо и электроэнергию; сюда же входит стоимость кормов (семян, удобрений, ядохимикатов и т. п.), общепроизводственные и общехозяйственные расходы. Из суммы затрат вычитается стоимость побочной продукции и используемых отходов производства (навоз, помет, жидкие стоки и т. п.).

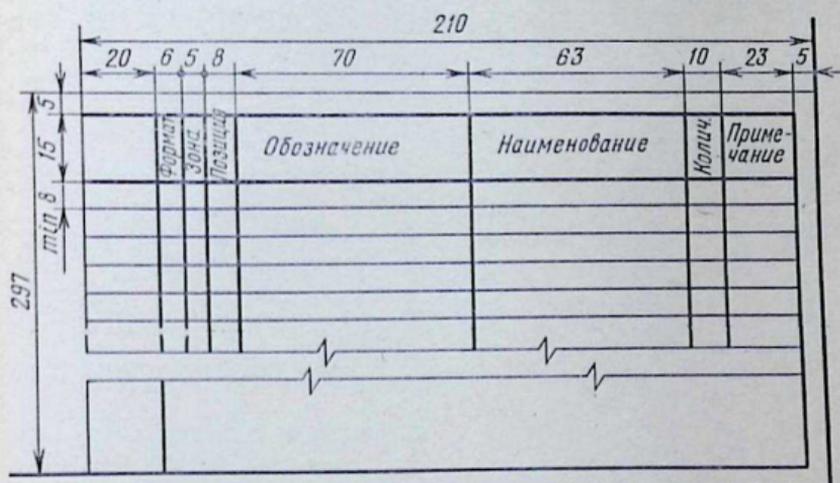


Рис. 38. Форма спецификации по ГОСТ 2.108—68.

## Снижение себестоимости

$$\Delta C = \frac{C_1 - C_2}{C_1} 100\%, \quad (83)$$

где  $C_1, C_2$  — существующая и проектная себестоимость, руб.

**Прибыль** от внедрения средств и систем автоматизации определяют по формуле

$$\text{Пр} = \text{Ц} - \text{С}, \quad (84)$$

где  $\text{Пр}$  — прибыль производства, руб.;  $\text{Ц}$  — цена всей реализуемой продукции, руб.;  $\text{С}$  — себестоимость всей реализуемой продукции, руб.

**Рентабельность** производства

$$P = \frac{\text{Пр}}{C} 100\%, \quad (85)$$

**Срок окупаемости** капиталовложений определяется делением общих капиталовложений на значение чистой экономии.

Общие капиталовложения определяются по данным сметно-финансового расчета с добавлением 1,5% сметных расходов на оплату за проектно-изыскательскую работу.

Чистая экономия, получаемая от внедрения средств автоматизации, определяется годовой валовой экономией за вычетом годовых эксплуатационных расходов.

При расчетах экономической эффективности автоматизации учитывают также ее влияние на увеличение выхода, повышение качества и сокращение потерь продукции. Эта величина в стоимостном выражении может быть добавлена к годовой валовой экономии за счет внедрения автоматизации технологических процессов.

В состав экономической части проекта наряду со сметно-финансовыми расчетами и расчетами показателей экономической эффективности должны входить спецификации на проектируемое оборудование, измерительные приборы и технические средства автоматизации. Спецификации, согласно ГОСТ 2.108—68, составляются по прилагаемой форме (рис. 38).

Спецификации относят к текстовым документам, их выполняют на отдельных листах формата А1 (297×210), на каждую сборочную единицу, комплект или комплекс.

## МОНТАЖ И НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 2.1. ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖНЫХ РАБОТ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

После мартовского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС сельское хозяйство стало интенсивно перевооружаться и постепенно переходить на промышленную основу. При этом темпы перевооружения непрерывно возрастают. Например, в восьмой пятилетке для механизации животноводства и кормопроизводства было поставлено машин и оборудования на 2,9 млрд. руб., в девятой — на 6,5, а в первый год десятой пятилетки (1976 г.) колхозам и совхозам страны поставлено животноводческих машин и оборудования ферм на 1,95 млрд. руб. Около 50 % машин поступает с автоматическим управлением.

Естественно, что колхозы и совхозы не в состоянии своими силами справиться с сильно возросшим объемом монтажа машин, оборудования и средств автоматизации. В связи с этим на Госкомсельхозтехнику возложены обязанности по комплектованию и монтажу оборудования, поставляемого сельскому хозяйству, а также оказанию помощи колхозам и совхозам по освоению технологического оборудования и доведения его до проектной производительности. В составе Госкомсельхозтехники создано 140 баз комплектации, свыше 100 монтажных трестов и более 100 специализированных и пусконаладочных управлений, а также 900 передвижных механизированных колонн (ПМК). В настоящее время эти монтажные организации ведут все монтажные работы на животноводческих и растениеводческих комплексах промышленного типа и около 80 % объема монтажных

работ, выполняемых при строительстве животноводческих ферм и других объектов в колхозах и совхозах.

Если в 1970 г. (конец восьмой пятилетки) объем монтажа технологического, электротехнического оборудования и КИПиА в животноводстве составлял 454 млн. руб., то в 1975 г. (конец девятой пятилетки) он достиг почти 1 млрд. руб., а в 1976 г. составил 1 млрд. 86 млн. руб. При этом в 1976 г. монтаж был выполнен на фермах КРС на 4,3 млн. ското-мест, на свинофермах—на 3,3 млн. голов, на птицефермах и птицефабриках—на 29 млн. птице-мест. Кроме того, смонтировано 4,2 тыс. кормоцехов, свыше 4 тыс. зерноочистительных и зерноочистительно-сушильных пунктов, агрегатов для приготовления травяной муки, более 900 сенажных башен, свыше 300 га теплиц на тепличных комбинатах. Только в 1976 г. организовано 8 монтажных трестов и производственных объединений и 43 монтажных ПМК. В сфере монтажного и пусконаладочного производства работало 150 тыс. человек работников системы Госкомсельхозтехники [47].

ПМК и другие монтажные организации выполняют монтажные работы на объектах специализированными звеньями и бригадами, а также комплексными бригадами с полным или частичным разделением труда между членами бригады. Организационные формы монтажных подразделений зависят в значительной мере от объема монтажных работ.

Опыт монтажных работ показывает следующее. На объектах с малым объемом производства (до 3,0 тыс. ч), а также при недостаточной концентрации технологически однородных видов работ необходимо создавать комплексные бригады с полным и частичным разделением труда.

Для выполнения монтажа комплектов оборудования на разнотипных объектах при трудоемкости от 3 до 12 тыс. ч целесообразно организовать специализированные звенья (группы) с разделением труда по видам работ технологического признака.

Монтаж оборудования и поточных технологических линий на животноводческих комплексах, птицефабриках и других крупных объектах сельскохозяйственного производства с трудоемкостью свыше 12 тыс. ч необходимо выполнять специализированными бригадами с разделением труда по технологическим операциям.

Размеры звеньев и бригад зависят от объема и срока выполнения монтажных работ на объекте.

Современные методы монтажа оборудования и систем автоматизации основаны на максимальной индустриализации и специализации работ.

Индустриализация заключается в использовании стандартных и нормализованных изделий (щитов, шкафов, пультов, станций управления, крепежных деталей и т. п.), изготавливаемых серийно или в массовом масштабе, а также в предварительном изготовлении на заготовительных предприятиях и участках монтажных узлов, блоков и нестандартного оборудования. В этом случае монтаж ведут крупными блоками и узлами, что позволяет механизировать и сократить объем работ непосредственно на месте монтажа.

К сожалению, поступающее в сельское хозяйство оборудование не всегда имеет высокую монтажную пригодность. В результате этого трудозатраты на монтаж оборудования в сельском хозяйстве значительно превосходят трудозатраты на изготовление машин на заводе. Например, трудоемкость изготовления доильной установки АДМ-8 на заводе составляет 245 ч, а монтажа 915; агрегата для приготовления травяной муки АВМ-0,65 соответственно 100 и 300 ч и т. д.

Специализация при монтаже состоит в разделении труда при выполнении различных монтажных работ.

Применение индустриальных методов монтажных работ, а также их специализация позволяют существенно снизить трудоемкость и сократить продолжительность монтажа оборудования и средств автоматизации.

Монтажные работы условно делят на три основных вида: подготовительные, заготовительные и монтажно-установочные. Подготовительные работы ведут строители. Сюда входит рытье каналов и траншей, оборудование проходных в стенах и перекрытиях для электрических и трубных проводов.

Заготовительные работы ведут на производственных базах и на заводах монтажных трестов, где изготавливают нестандартное оборудование, различные монтажные изделия, ведут сборку трубных блоков, монтажных узлов и изделий, а также сборку и коммутацию щитов и пультов.

Подготовительные и заготовительные работы выполняются одновременно с основными строительными работами и монтажом технологического оборудования.

Монтажно-установочные работы заключаются в установке готовых узлов и блоков, щитов и пультов, датчиков, первичных приборов, исполнительных механизмов, прокладке электрических и трубных проводок. Этот вид работ является второй стадией монтажа средств автоматизации и выполняется после окончания строительных и отделочных работ на объекте.

Чтобы обеспечить высокое качество монтажных работ, сократить срок монтажа и уменьшить трудовые затраты, необходимо тщательно подготовить и организовать проведение монтажных работ. Важным техническим документом, обеспечивающим организацию и проведение монтажных работ, является проект производства монтажных работ (ППР).

ППР разрабатывается в соответствии с «Инструкцией по составлению проектов производства работ на монтаж приборов и средств автоматизации»  $\frac{\text{МСН 77 — 65}}{\text{ММСС СССР}}$ .

Этой инструкцией определен следующий состав ППР: пояснительная записка;

рабочие чертежи по уточнению привязки трасс трубных и электрических проводок;

рабочие чертежи и эскизы на нетиповые и неунифицированные узлы, изделия и блоки, не вошедшие в проект автоматизации;

сетевой график на выполнение работ по монтажу приборов и средств автоматизации, который составляется обычно для технически сложных объектов.

Сетевые графики организации и выполнения монтажных работ все больше приходят на смену календарным графикам, применявшимся ранее. При построении сетевого графика определяют все виды выполняемых работ, последовательность их выполнения, затраты времени на каждый вид работы.

На примерном сетевом графике (рис. 39, см. форзац) приведены следующие работы:

- 0—1 — проверка и выдача заданий монтажно-заготовительному участку и смежным организациям;
- 1—2 — доставка отборных устройств;
- 1—3 — доставка труб для командных и импульсных проводок;
- 2—4 — установка отборных устройств;
- 1—5 — изготовление кабельных конструкций;

- 1—6 — изготовление нестандартных конструкций под защитные трубопроводы;
- 1—8 — изготовление нестандартных конструкций под командные и импульсные трубопроводы;
- 5—9 — доставка кабельных конструкций;
- 6—10 — доставка нестандартных конструкций под защитные трубопроводы;
- 7—11 — доставка водогазопроводных труб;
- 1—12 — изготовление конструкций для установки щитов и пультов;
- 8—13 — доставка нестандартных конструкций под командные и импульсные трубопроводы;
- 12—14 — доставка конструкций для установки щитов и пультов;
- 10—19 — установка конструкций под защитные трубопроводы;
- 15—16 — изготовление конструкций под соединительные коробки;
- 16—18 — доставка конструкций под соединительные коробки;
- 14—17 — установка конструкций под щиты и пульты;
- 3—24 — изготовление блоков импульсных и командных трубопроводов;
- 18—25 — установка конструкций под соединительные коробки;
- 11—26 — изготовление блоков защитных труб;
- 20—27 — изготовление нестандартных конструкций под короба;
- 27—28 — доставка нестандартных конструкций под короба;
- 23—29 — доставка местных приборов;
- 25—30 — установка соединительных коробок;
- 9—30 — установка кабельных конструкций;
- 26—32 — доставка блоков защитных труб;
- 21—33 — установка нестандартных конструкций для прокладки линий между щитами и пультами;
- 28—34 — установка конструкций под короба;
- 22—35 — изготовление конструкций для установки местных приборов;
- 17—37 — установка щитов и пультов;
- 33—36 — доставка нестандартных конструкций для прокладки линий между щитами и пультами;
- 36—37 — установка конструкций для прокладки линий между щитами и пультами;
- 24—38 — доставка блоков импульсных и командных трубопроводов;
- 13—39 — установка конструкций под командные и импульсные трубопроводы;
- 35—40 — доставка конструкций под местные приборы;
- 29—41 — стендовая проверка местных приборов;
- 34—42 — установка коробов;
- 19—44 — прокладка одиночных защитных труб;
- 32—44 — монтаж блоков защитных труб;
- 30—45 — прокладка кабелей к приборам и исполнительным механизмам;
- 31—46 — изготовление конструкций под исполнительные механизмы;
- 37—43 — прокладка кабеля между щитами и пультами;
- 40—47 — установка конструкций под местные приборы;
- 46—48 — доставка конструкций под исполнительные механизмы;
- 44—50 — затягивание проводов в защитные трубы;
- 42—50 — прокладка проводов в коробах;

- 48—51 — установка конструкций под исполнительные механизмы;  
 49—52 — доставка щитовых приборов;  
 45—55 — разделка жил кабеля;  
 47—53 — установка приборов по месту;  
 43—54 — разделка жил кабеля;  
 50—55 — разделка концов проводов;  
 51—55 — установка исполнительных механизмов;  
 52—56 — стендовая проверка щитовых приборов;  
 38—57 — монтаж блоков импульсных и командных трубопроводов;  
 39—57 — прокладка одиночных импульсных и командных линий;  
 54—58 — прозвонка жил кабеля и подключение к щитам и пультам;  
 56—59 — установка приборов на щитах и пультах.  
 55—60 — прозвонка жил кабелей и проводов, подключение местных приборов и исполнительных механизмов к коробкам, щитам и пультам;  
 57—60 — испытание трубопроводов;  
 60—61 — индивидуальное опробование всех приборов и средств автоматизации;  
 61—62 — наладка приборов и средств автоматизации;  
 62—63 — комплексное опробование  
 63—64 — сдача объекта в эксплуатацию;  
 0—10 — поставка стандартных конструкций под защитные трубопроводы;  
 0—9 — поставка стандартных кабельных конструкций;  
 0—12 — поставка стандартных конструкций для установки щитов и пультов;  
 0—13 — поставка стандартных конструкций для прокладки командных и импульсных трубопроводов;  
 0—17 — поставка щитов и пультов;  
 0—19 — поставка водогазопроводных труб;  
 0—25 — поставка соединительных коробок;  
 0—28 — поставка стандартных конструкций для установки коробов;  
 0—30 — поставка кабеля;  
 0—34 — поставка коробов;  
 0—35 — поставка стандартных конструкций для установки местных приборов;  
 0—36 — поставка конструкций для прокладки линий между щитами и пультами;  
 0—37 — поставка кабеля;  
 0—42, 0—44 — поставка проводов;  
 0—51 — поставка исполнительных механизмов;  
 0—2 — врезка в технологические трубы;  
 0—17 — устройство вводов в щитовых помещениях;  
 0—57 — заявка на подачу сжатого воздуха и воды.

Критический путь сетевого графика (наибольшая продолжительность монтажных работ): 0—1—3—24—38—57—60—61—62—63—64.

В пояснительной записке ППР содержатся описание технологии, указания по монтажу проводок промышленными методами и по монтажу укрупненных блоков щитов.

тов и пультов. Описываются и обосновываются уточненные места прокладки электрических и трубных трасс со ссылкой на рабочие чертежи основного проекта, а также описываются места установки щитов и пультов, внештатной аппаратуры, отборных устройств, первичных приборов и регулирующих органов. Указываются объем работ, подлежащих выполнению, необходимые мероприятия по охране труда и технике безопасности на данном объекте.

При монтажных работах особое внимание обращается на соблюдение правил техники безопасности.

Лица, ответственные за проведение монтажных работ на объекте (начальник участка, прораб, мастер или бригадир), до начала выполнения монтажных работ и при их проведении должны осуществить ряд организационных мероприятий для повышения безопасности труда: предусмотреть максимальную механизацию монтажных работ, в том числе механизацию подъема и перемещения тяжелых элементов, механизацию погрузочно-разгрузочных работ; наметить также методы работы, при которых сводится к минимуму выполнение сборочных и сварочных работ на высоте или в тесных и неудобных местах; обеспечить наличие и исправность защитных устройств и ограждений на рабочих местах, станках, механизмах, исправность средств индивидуальной защиты, спецодежды и спецобуви, достаточное освещение рабочих мест, а также обеспечить наличие санитарно-бытовых помещений и устройств (гардеробных, обогревалок, санузлов, душевых и комнат отдыха).

Перед началом монтажных работ рабочие должны пройти общий инструктаж по технике безопасности при выполнении монтажных работ, а также инструктаж по безопасным методам труда непосредственно на рабочем месте. Инструктаж должен проводиться при каждом переходе монтажника на другое рабочее место и при изменении условий труда.

Работы на высоте (более 1,5 м от пола или от перекрытия) осуществляют с инвентарных лестниц, стремянок, подмостей или лесов. При этом подмости и леса ограждают перилами высотой не менее 1 м с одним промежуточным брусом и нижним бортом высотой 15 см. Ограждения должны выдерживать нагрузку не менее 90 кг.

К монтажной работе на высоте допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, обучен-

ные по технике безопасности и получившие специальное удостоверение. Медицинский осмотр лиц, допущенных к работе на высоте, должен выполняться ежедневно.

Работу можно осуществлять только исправным инструментом, используя его по прямому назначению. Электроинструмент и переносные осветительные лампы должны иметь напряжение питания:

12 В—в местах с особой опасностью поражения человека электрическим током;

36 В — в местах с повышенной опасностью поражения электрическим током;

127 и 220 В— в нормальных помещениях.

При работе с электроинструментом напряжением 127 или 220 В следует применять диэлектрические перчатки, галоши и коврики, прошедшие испытание в установленные сроки. Изоляцию электроинструментов и переносных ламп необходимо испытывать не реже одного раза в три месяца.

Сварочные работы проводят в соответствии с инструкцией о мерах пожарной безопасности при выполнении огневых работ. Сварщик и работающие совместно с ним рабочие защищают глаза от действия электрической дуги щитком со светофильтром или специальными защитными очками.

Погрузочно-разгрузочные работы необходимо выполнять под наблюдением лица, ответственного за соблюдение техники безопасности. В опасной зоне не должно быть лиц, не имеющих отношения к выполняемым работам. Опасные зоны вблизи прохода людей и проезда транспорта должны ограждаться и охраняться.

Особую осторожность следует проявлять при работе с электрическим током напряжением свыше 36 В. В этом случае требуется строго выполнять ПТЭ и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей.

## **2.2. МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДОВ**

Для монтажа электропроводок систем автоматизации должны, как правило, применять кабели и провода с алюминиевыми жилами минимальным сечением 2,5 мм<sup>2</sup>.

Провода и кабели с медными жилами обязательно используют в измерительных цепях термометров сопротивления и термопар; во всех электропроводках систем автоматизации взрыво- и пожароопасных установок; в ус-

тановках, подверженных вибрации; в цепях измерения, управления, питания, сигнализации и блокировки напряжением до 60 В при сечении жил до 0,75 мм<sup>2</sup>; в проводках для питания электрифицированного инструмента.

Электрические проводки прокладывают в соответствии с проектом открыто и скрыто. При открытых проводках провода или кабели (в защитных оболочках или без них) прокладывают непосредственно по поверхностям строительных конструкций, станинам оборудования и панелям. При скрытых проводках провод или кабель прокладывают по стенам, потолкам, полам под слоем отделочного покрытия (под штукатуркой, настилом пола, декоративным покрытием стен или потолка и т. д. или в замкнутых каналах строительных конструкций).

Для монтажа электропроводок систем автоматики применяют следующие марки проводов с алюминиевой жилой: АПВ—с полихлорвиниловой изоляцией и АПР—с резиновой изоляцией. Из проводов с медной жилой чаще всего используют провод марки ПВ—одножильный с полихлорвиниловой изоляцией, ПГВ—одножильный гибкий, состоящий из большого числа медных проволок диаметром 0,1...0,35 мм, с полихлорвиниловой изоляцией, ПР660—одножильный с резиновой изоляцией (на 660 В переменного или 1000 В постоянного тока), ПРГ660—то же, но с гибкой жилой.

Для внутреннего монтажа приборов применяют специальные монтажные провода с медной жилой ПМВ, ПМВЭ (экранированный), ПМВГ, МГП (с теплостойкой изоляцией) и МГПЭ.

Для присоединения терморпар и радиационных пирометров к милливольтметрам и потенциометрам используют компенсационные провода, которые различаются по маркам в зависимости от изоляции и материала жил:

КПО—компенсационный провод с резиновой изоляцией жил в общей хлопчатобумажной оплетке, пропитанной противогнилостным составом, сечение жилы 2,5 мм<sup>2</sup>;

КПГО—то же, что и КПО, гибкий, сечение жил 1,0; 1,5; 1,8; 2,5 мм<sup>2</sup>, применяют для переносных установок;

КПС—двухжильный, с резиновой изоляцией в общей оплетке, пропитанной противогнилостным составом, и в свинцовой оболочке, сечение жилы 2,5 мм<sup>2</sup>.

В зависимости от того, для присоединения каких терморпар служат провода, жилы выполняют из разных материалов. Для распознавания материала жилы провода

имеют цветные опознавательные нити или цветную оплетку (медь—красную, хромаль—фиолетовую, копель—желтую, константан—коричневую, алюмель—черную и т. д.).

Кабели подразделяются на силовые, контрольные, сигнализации и специальные (монтажные, шланговые). Для кабелей силовых, контрольных и сигнализации установлена многобуквенная маркировка, по которой можно определить материал жилы, конструктивные особенности, материал оболочки, материал изоляции жил и тип защитного покрова. После буквенного обозначения ставится число и сечение жил кабеля. Для силовых кабелей указывают также напряжение, на которое рассчитана изоляция.

Приняты следующие буквенные обозначения кабеля (в порядке следования).

1. Материал жил

СБ — силовой

3. Материал жилы

А — алюминий

С — сталь

В — медь

Н — нейрит

4. Изоляция

Р — резина

В — полихлорвинил

П — полиэтилен

Ц — кабель с нестекающей пропиткой и бумажной изоляцией (ставится впереди обозначения);

В — кабель с обедненной пропиткой и с бумажной изоляцией (ставится в конце обозначения);

кабель с бумажной изоляцией жил, пропитанный маслосиликоновым составом, специального обозначения не имеет.

5. Защитный покров кабеля:

Г — без брони и защитного покрова;

В — без брони с полихлорвиниловым покровом (ставится после обозначения алюминиевой оболочки);

Б — броня из двух стальных лент с защитным наружным покровом, пропитанным битумным составом;

БГ — броня из двух стальных лент без покрова;

БГВ — броня из двух стальных лент с полихлорвиниловым покровом;

П — броня из плоских стальных проволок;

Жилами жилами специального

обозначения не имеет;

(нейрит).

- К — броня из круглых стальных оцинкованных проволок с наружным покровом;  
 КГ — броня из круглых стальных оцинкованных проволок без наружного покрова.

Например, обозначение АКВРГ 19×2,5 расшифровывается как кабель контрольный с алюминиевой жилой, с полихлорвиниловой оболочкой, резиновой изоляцией жил, без наружного защитного покрова, число жил 19, их сечение 2,5 мм<sup>2</sup>.

Провода и кабели прокладывают в соответствии с проектом следующими способами: на кабельных конструкциях, в лотках, в коробах и кабельном коллекторе (рис. 40).

Кроме того, кабели прокладывают в земле (в траншеях). При этом на дно делают подсыпку из песка или просеянной земли (подушку) слоем не менее 100 мм. Глубина заложения кабеля не менее 0,7 м. Кабель в

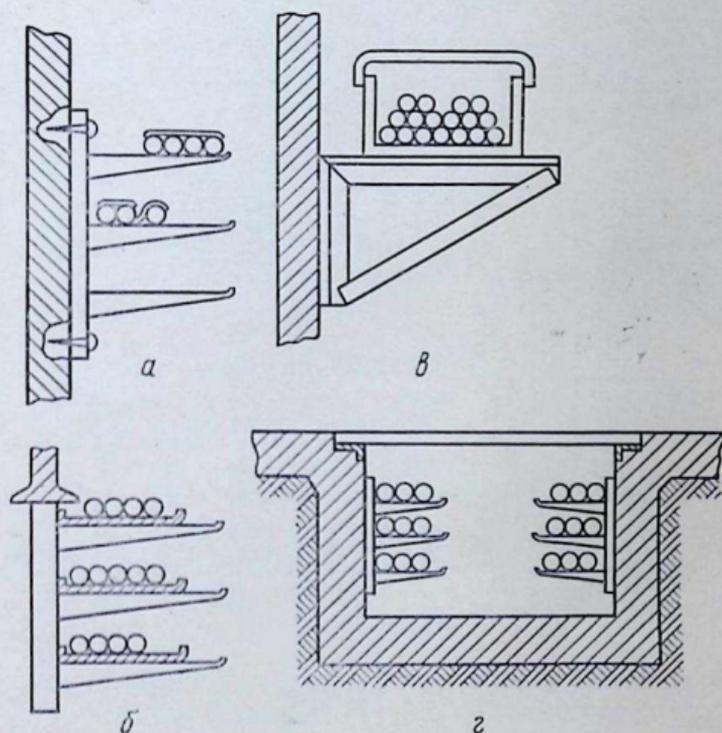


Рис. 40. Способы прокладки электропроводок:

*а* — на кабельных конструкциях; *б* — на лотках; *в* — в коробе; *г* — в кабельном коллекторе.

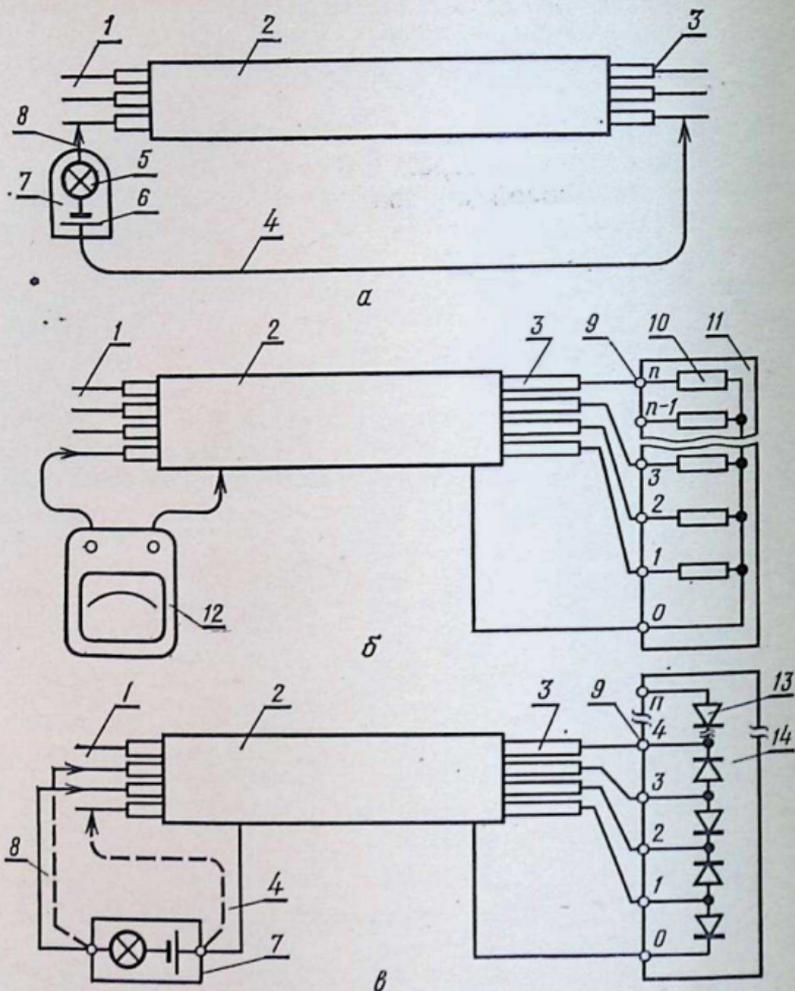


Рис. 41. Схемы для отыскания концов проводов:

*a* — при помощи пробника; *б* — при помощи омметра; *в* — схема с диодами: 1 — жилы кабеля; 2 — оболочка; 3 — изоляция жил; 4 и 8 — провода пробника; 5 — лампа; 6 — батарея; 7 — пробник; 9 — контакты наборов резисторов и диодов; 10 — резисторы; 11 — набор резисторов; 12 — омметр; 13 — диоды; 14 — набор диодов.

траншею укладывают с запасом («змейкой») для компенсации возможных смещений почвы, покрывают слоем красного кирпича и засыпают землей. Перед засыпкой землей кабель принимает комиссия и составляет акт на скрытые работы. Кабельная трасса обозначается опознавательными знаками.

Провода также прокладывают в защитных трубах. Следует выбирать, как правило, трубы из полимерных материалов. В обоснованных случаях принимают стальные тонкостенные трубы (электросварные или легкие водопроводные) с условным проходом 15, 20, 40 и 50 мм. Сначала монтируют трубы, а затем в них затягивают провода. Между собой трубы соединяют при помощи специальных соединительных элементов (на резьбе и др.).

Ответвления проводок в защитных трубах осуществляют в специальных проходных и соединительных коробках.

Для определения концов проводников и жил кабелей применяют схемы для прозвонки проводов и кабелей (рис. 41). Найденные концы маркируют специальными маркировочными колодками.

После окончания монтажа проводок их осматривают и испытывают.

При внешнем осмотре устанавливают, соответствуют ли смонтированные проводки проекту и требованиям СНиП III-34—74. После устранения замеченных дефектов проводят следующие испытания:

для электропроводок всех видов измеряют сопротивление изоляции между всеми жилами кабеля или пучка проводов, а также между каждой жилой и металлической защитной оболочкой электрических проводок (защитной оболочкой кабеля, трубой, коробом, лотком, конструкцией щита, пульта и т. п.). Измерения проводят мегомметром на напряжение 1000 В. При этом сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм;

для силовых цепей и цепей питания, кроме измерения сопротивления изоляции, проверяют фазировку (или полярность) цепей;

для электропроводок в стальных трубах во взрывоопасных помещениях классов В-1, кроме указанных испытаний, проводят испытания трубопроводов на плотность соединений и уплотнений.

### **2.3. МОНТАЖ ТРУБНЫХ ПРОВОДОВ**

Трубными проводками в системах пневмо- и гидроавтоматики называют совокупность труб и трубных кабелей (пневмокабелей) с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями.

Трубные проводки систем автоматизации по своему назначению делятся на:

импульсные—передающие импульсы от отборных устройств к чувствительным элементам приборов;

командные (преимущественно пневматические)—передающие командные импульсы к приборам и средствам автоматизации;

питающие—подводящие газ (чаще воздух) или жидкость для питания приборов и средств автоматизации вспомогательной энергией;

вспомогательные (сливные, обогревные, охлаждающие и др.).

Трубные проводки должны отвечать следующим основным требованиям: необходимой механической прочности, стойкости против воздействия агрессивной среды как транспортируемой, так и окружающей, допустимого времени запаздывания передачи информации.

В качестве трубных проводок систем автоматизации наиболее распространены следующие:

стальные водогазопроводные неоцинкованные и оцинкованные, обыкновенные и легкие трубы с условным проходом 8, 15, 20, 25, 40 и 50 мм (ГОСТ 3262—75);

бесшовные холоднотянутые и холоднокатаные трубы из углеродистых и легированных сталей наружным диаметром 8, 10, 14 и 22 мм с толщиной стенки не менее 1 мм (ГОСТ 8734—75);

медные трубы наружным диаметром 6, 8, 10 мм с толщиной стенки не менее 1 мм (ГОСТ 617—72);

трубы алюминиевые и из алюминиевых сплавов наружным диаметром 8 и 10 мм с толщиной стенки не менее 1 мм (ГОСТ 18475—73);

полиэтиленовые трубы, изготавливаемые по техническим условиям заводов-изготовителей из полиэтилена низкой плотности, размером  $6 \times 1$  и  $8 \times 1,6$  мм;

трубы из полиэтилена низкой и высокой плотности с наружным диаметром 10, 12, 16, 20 и 25 мм;

поливинилхлоридные трубы, изготавливаемые по техническим условиям заводов-изготовителей, размером  $6 \times 1$ ,  $9 \times 2$  и  $11 \times 2$  мм;

резиновые трубы с внутренним диаметром 8 мм и толщиной стенки 1,25 мм (ГОСТ 5496—67);

трубный кабель (пневмокабель) по ТУ 16-505.720—75.

Трубные кабели применяют при монтаже систем пневмоавтоматики, в частности пневматической ветви

государственной системы приборов (ГСП). Наиболее широко используют пневмокабели следующих марок: ТПО (в поливинилхлоридной оболочке), ТПОБГ (в поливинилхлоридной оболочке и в броне из стальных лент с противокоррозионной защитой), ТПОБО (в поливинилхлоридной оболочке, в броне из стальных лент и во второй поливинилхлоридной оболочке). Кроме того, выпускают пневмоэлектрокабель, например ЭПК, в котором наряду с полиэтиленовыми трубами предусмотрены медные жилы для цепей сигнализации или передачи электрических импульсов.

Внешне пневмокабель не отличается от обычного электрического кабеля с пластиковой оболочкой, но внутри него вместо проводников электрического тока заложены полиэтиленовые трубы — проводники пневматических импульсов. Наружный диаметр полиэтиленовых труб 6 и 8 мм, а толщина стенок 1 и 1,6 мм. Пневмокабель с пластиковой оболочкой состоит из 7 или 12 (в некоторых случаях из 19) труб, обмотанных миткалевой лентой или полиамидной пленкой, покрытых амортизирующей оболочкой из невулканизированной резины. Толщина внешней оболочки из поливинилхлоридного пластика 2,5 мм, что обеспечивает достаточную прочность пневмокабелей.

Трубные проводки имеют минимальное абсолютное рабочее давление 4,66 кПа и максимальное избыточное рабочее давление не выше 100 МПа.

Стальные трубы для трубных проводок поставляются длиной не менее 6 м; медные, алюминиевые, полиэтиленовые и полихлорвиниловые — в бухтах по 25 м; резиновые трубы — массой до 10 кг; трубный кабель из труб диаметром 6 мм — длиной не менее 150 м, а из труб диаметром 8 мм — длиной не менее 250 м.

Все трубы, предназначенные для монтажа трубных проводок, подвергаются тщательному внешнему осмотру для выявления трещин, свищей, вмятин и овальности (допускается не более 10%). Овальность определяется по формуле

$$\Delta = \frac{d_{нб} - d_{им}}{d_n} 100\%,$$

где  $d_{им}$ ,  $d_{нб}$ ,  $d_n$  — диаметры соответственно наименьший, наибольший и номинальный.

Трубы, имеющие дефекты, выбраковываются и для монтажа не используются.

Подготовка труб к монтажу (резка, гибка, замеры отрезков, соединения с арматурой и пр.) ведется с использованием соответствующего оборудования вне зоны монтажа. При заготовке трубных элементов необходимо соблюдать требования технических условий на отрезку, изгиб, обработку торцов труб и т. п. Так, плоскость отреза должна быть перпендикулярной оси трубы с точностью до  $\pm 0,5$  мм. При изгибе труб надо следить, чтобы минимальный радиус внутренней кривой изгиба не был меньше четырех диаметров для стальных труб, двух — для медных, шести — для полиэтиленовых и десяти диаметров для трубных кабелей.

Неразъемные соединения трубных проводок осуществляют при помощи газовой, электрической и аргодуговой сварки. Электродуговую сварку применяют для сварки стальных труб с толщиной стенки более 2,5 мм, а газопламенную — для сварки стальных труб толщиной стенки 2,5 мм и менее. Аргодуговую сварку используют для соединения легированных и нержавеющей стальных бесшовных труб.

Медные трубы соединяют при помощи пайки твердыми припоями. Пайку ведут в пламени ацетилено-кислородной горелки с применением буры, припоя и присадочного материала (латуни) или специальных сплавов.

К арматуре, отборным устройствам, приборам и средствам автоматизации трубопроводы присоединяют разъемными соединениями для стальных, медных, полиэтиленовых и других труб.

Трубные проводки прокладывают в соответствии с проектными схемами по кратчайшим расстояниям от отборных устройств до датчиков, а также между средствами автоматизации, включенными в схему автоматического управления и регулирования. В помещениях любой категории трубные проводки выполняют открытым способом. Запрещается прокладывать их под штукатуркой, в заливаемых бетоном перекрытиях, в полу, а также непосредственно в земле (траншеях).

Трубопроводы к несущим конструкциям крепят скобами на метизах. Трубы из цветных металлов на вертикальных участках крепят не менее чем через 1 м, на горизонтальных — через 0,6...0,7 м. Трубопроводы из стальных труб в зависимости от диаметра трубы на горизонтальных участках крепят на расстоянии от 0,7 до 2 м, на вертикальных участках — от 1,5 до 3 м.

Трубные кабели прокладывают по кабельным конструкциям, в коробах, лотках и защитных трубопроводах. Расстояние между опорами (кабельными полками и стойками) при монтаже трубного кабеля выбирают в пределах: на горизонтальных участках 0,5...0,7 м, на вертикальных — до 1 м. Трубные кабели на горизонтальных участках укладывают в лотках и коробах, если температура транспортируемой или окружающей среды выше 40° С.

Трубные проводки из пластмассовых труб прокладывают в лотках и коробах. Крепят трубы к лоткам скобами, под которые укладывают эластичный картон. Расстояние между крепежными скобами зависит от числа труб. Например, при десяти трубах на горизонтальных участках это расстояние составляет 0,3 м, на вертикальных — 0,5 м; при 40 трубах на горизонтальных участках — 0,7 м, на вертикальных — 1,2 м.

Технология монтажа трубных проводок систем автоматизации предусматривает два этапа: на первом этапе прокладывают магистральные трубопроводы, а на втором — одиночные трубные проводки (подключение отдельно стоящих приборов, исполнительных механизмов, а также подключение датчиков к отборным и измерительным устройствам, установленным на технологическом оборудовании).

Полностью смонтированные трубопроводы подвергаются внешнему осмотру и испытаниям. Трубные проводки из пластмассовых труб, рассчитанные на рабочее давление 0,14 МПа, испытывают давлением 0,3 МПа. Трубные проводки из стальных и медных труб при рабочем давлении среды ( $P_p$ ) до 0,5 МПа испытывают пробным давлением 1,5  $P_p$ , но не менее 0,2 МПа;  $P_p$  свыше 0,5 МПа — пробным давлением 1,25  $P_p$ , но не менее ( $P_p + 0,3$ ) МПа.

При гидравлических испытаниях трубопроводов в качестве испытательной среды применяют воду или раствор хлористого кальция (при низких температурах).

При пневматических испытаниях трубопроводов в качестве испытательной среды используют очищенный от влаги и масла воздух, а также азот или инертный газ.

Трубопровод и трубная проводка считаются годными к эксплуатации, если при гидравлическом (пневматическом) испытании в течении 5 мин по манометру не обнаруживается падение пробного давления.

## 2.4. МОНТАЖ ЩИТОВ И ПУЛЬТОВ

Щиты и пульты на монтаж должны поставляться подготовленными к установке и подключению внешних электрических и трубных проводок. На них должны быть размещены необходимая аппаратура и комплектующие изделия, смонтирована вся проводка, установлены конструкции для крепления вводимых кабелей и труб, а также подготовлены все крепежные изделия для сборки и установки щитов и пультов на объекте. Для тех приборов и аппаратов, которые устанавливаются в процессе выполнения монтажных работ, на щитах и пультах должны быть предусмотрены конструкции для их размещения и крепления.

Панельные щиты крепят к вертикальным металлическим стойкам, которые закрепляют между полом и потолком помещения. При большой высоте помещения верхний конец стойки крепят не к потолку, а к стене на уровне верхней кромки щита. Нижнюю часть щита закрепляют на опорной балке (швеллере). При установке щитов необходимо, чтобы расстояние от стены до наиболее выступающих токоведущих частей приборов было не менее 0,8 м.

Шкафные щиты устанавливают на заранее подготовленные фундаменты, закрепляют анкерными болтами и подливают цементный раствор.

На установленных щитах монтируют приборы, выполняют внутрищитовые соединения и подключают внешние проводки.

Провода и трубы в местах присоединения к приборам и клеммным наборам, а также приборы маркируют в соответствии с монтажной схемой.

Щиты и пульты в процессе монтажа до окончательного закрепления выверяют по отвесу и уровню.

На лицевой стороне щитов наносят пояснительные надписи масляной краской или при помощи табличек. В верхней части щита делают надпись, определяющую, к какому агрегату (поточной линии) он относится.

Смонтированные щиты и пульты заземляют (при подведении напряжения свыше 36 В переменного и 110 В постоянного тока, а также все щиты и пульты во взрывоопасных установках). Заземляющий стальной провод диаметром 5 мм или профильный прокат с толщиной стенок 2 мм приваривают к щиту или присоеди-

няют болтами. В щитах, состоящих из нескольких секций, заземляют две крайние секции. При этом проверяют наличие надежного электрического контакта между отдельными секциями.

После окончания монтажа проверяют, соответствуют ли монтажные работы проекту, техническим условиям и СНиП III-34—74.

## **2.5. МОНТАЖ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Приборы и средства автоматизации принимают в монтаж только после прохождения стендовой поверки. При этом они должны быть снабжены актом о стендовой поверке по установленной форме. При стендовой поверке проверяют отдельные характеристики и элементы приборов и средств автоматизации, необходимые для обнаружения возможных неисправностей, вызванных условиями хранения и транспортирования приборов и средств автоматизации; проверяют целостность электрических цепей и трубных проводок, сопротивление изоляции, срабатывание регулирующей части и переключателей, работу механизмов передвижения диаграммной бумаги и качество записи.

Стендовую поверку приборов и средств автоматизации проводит заказчик или привлекаемые им специализированные организации, выполняющие работы по наладке приборов и средств автоматизации с учетом требований инструкций Госстандарта и инструкций заводов-изготовителей приборов и средств автоматизации.

Приборы и средства автоматизации на щитах и пультах, а также на элементах зданий, сооружений и технологическом оборудовании должны крепиться способами, предусмотренными конструкцией приборов и средств автоматизации и деталями, входящими в их комплект.

При наличии вибраций в местах установки приборов резьбовые крепежные детали должны иметь приспособления, исключающие самопроизвольное их отвинчивание (пружинные шайбы, контргайки, шплинты и т. п.).

Корпуса приборов и средств автоматизации заземляются в соответствии с требованиями монтажно-эксплуатационных инструкций заводов-изготовителей, указаниями проекта и соответствующими нормативными положениями.

При установке датчиков необходимо следить за тем, чтобы их чувствительные элементы располагались в центре массы (потока) измеряемой среды.

Исполнительные механизмы устанавливают после размещения регулирующих органов. При их установке должно быть обеспечено правильное взаимное расположение осей и валов, исключающее перекосы и заедания при работе в сочлененном состоянии.

Перед монтажом приборов и средств автоматизации, устанавливаемых или встраиваемых в технологическое оборудование и трубопроводы (термопары, термометры сопротивления, регулирующие клапаны счетчиков и т. п.), необходимо это оборудование и трубопроводы очистить и промыть.

После монтажа щитов, пультов, приборов и средств автоматизации нужно смонтировать защитное заземление в соответствии с ПУЭ и СНиП III-34—74.

Минимально допустимое сечение медных заземляющих проводников  $1 \text{ мм}^2$  (или  $2 \times 0,75 \text{ мм}^2$ ), алюминиевых —  $2,5 \text{ мм}^2$ . Минимальная толщина стенок металлических труб, используемых в качестве заземляющих проводников, —  $1,5 \text{ мм}$ . Заземляющие провода или жилы кабеля должны присоединяться к узлу заземления конструкции при помощи болта или винта.

## **2.6. ПРАВИЛА СДАЧИ СМОНТИРОВАННЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

После окончания монтажных работ до сдачи объекта заказчику и до начала пусконаладочных работ проводят индивидуальное опробование смонтированных приборов и средств автоматизации. Индивидуальное опробование выполняет монтажная организация. Иногда к этой работе привлекают специалистов-наладчиков из наладочных организаций.

Индивидуальное опробование приборов и средств автоматизации, как правило, осуществляют при неработающем технологическом оборудовании. Целью опробования является проверка правильности и качества монтажа, а также нормального функционирования приборов и средств автоматизации.

При этом проверяют:

соответствуют ли выполненные монтажные работы проекту, правильно ли размещены приборы и регулято-

ры, верно ли они включены в схемы измерения или регулирования, правильно ли выполнены трубные и электрические проводки, соответствуют ли выполненные работы СНиПам и монтажно-эксплуатационным инструкциям. В случае обоснованного отклонения от проекта в рабочие чертежи проекта должны быть внесены соответствующие изменения;

соответствуют ли значения сопротивления электрических проводок значениям, указанным в паспортах или инструкциях к приборам, рассчитанным на определенные внешние сопротивления; при несоответствии подгоняют внешние сопротивления при помощи подгоночных катушек на зажимах приборов или сборках зажимов щитов (пультов);

правильно ли функционируют приборы и средства автоматизации при подаче на вход прибора или элемента автоматической системы искусственного воздействия (электрического или пневматического сигнала, механического воздействия и т. п.);

комплектность и полностью ли оформлена сдаточная документация.

После окончания индивидуального опробования приборов и средств автоматизации оформляют акт об окончании монтажных работ по установленной форме. К акту прилагаются следующие документы:

рабочие чертежи проекта с изменениями, внесенными в процессе монтажа;

перечень документов, разрешающих отступление от рабочих чертежей проекта;

акты на скрытые работы;

акты испытаний на прочность и плотность трубных проводок;

акты измерения сопротивления изоляции проводов и кабелей электрических проводок;

акты прогрева кабелей перед прокладкой в зимних условиях;

акты стендовых поверок приборов и средств автоматизации от заказчика вместе с приборами;

паспорта, инструкции, чертежи и схемы заводов-изготовителей приборов и средств автоматизации, полученные монтажниками от заказчика вместе с приборами;

ведомость смонтированных приборов и средств автоматизации по установленной форме;

акты испытания на плотность разделительных уплотнений защитных трубопроводов электрических проводов во взрывоопасных помещениях и установках.

После составления акта об окончании монтажных работ системы автоматизации принимает рабочая комиссия для комплексного опробования в соответствии с требованиями СНиП III-3—76 по приемке в эксплуатации законченного строительством предприятий, зданий и сооружений. При этом составляется акт приемки оборудования для комплексного опробования. С этого момента смонтированные системы и средства автоматизации считаются переданными заказчику.

Готово ли смонтированное оборудование к приемке в эксплуатацию и пусконаладочным работам, комиссия устанавливает только в том случае, если имеющиеся недоделки монтажа не препятствуют нормальной технологической эксплуатации оборудования. При этом намечаются конкретные сроки устранения каждой недоделки, назначается ответственный исполнитель.

Комплексное опробование и пусконаладочные работы осуществляют заказчик или специализированные пусконаладочные организации по договору с заказчиком за счет средств освоения производства. К участию в комплексном опробовании могут привлекаться и представители монтажной организации, выполнявшей работы на объекте.

## **2.7. ОРГАНИЗАЦИЯ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ**

Пусконаладочные работы проводят после окончания монтажа и комплексного опробования смонтированных контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации. Эти работы выполняют специализированные пусконаладочные организации. В каждом тресте «Спецсельхозмонтаж» системы Госкомсельхозтехники имеется пусконаладочное управление.

В 1975 г. пусконаладочные управления страны выполнили работ на 40 млн. руб., что составляет около 4% от объема монтажных работ. Удельный вес пусконаладочных работ будет возрастать в связи с усложнением оборудования и увеличением пусконаладки по КИПиА. В ближайшие годы удельный вес пусконаладки возрастет до 8% от объема монтажных работ. В настоящее время пусконаладка включает в себя энергетиче-

скую, механическую, теплотехническую наладки и наладку КИПиА. Причем наладка КИПиА составляет примерно 30% от общего объема наладочных работ.

В общей цепи «проектирование — монтаж — наладка — эксплуатация» наладка хотя и занимает промежуточное положение между монтажом и эксплуатацией, но является чрезвычайно важным этапом в организации нового производства. От квалифицированной наладки зависит последующая надежная работа оборудования приборов и средств автоматизации.

В задачу наладки входит не только настройка КИПиА, но и доведение производства до нормального эксплуатационного режима, а также обучение эксплуатационного персонала (операторов, прибористов) работе на автоматизированном объекте.

В процессе пусконаладочных работ необходимо знать и учитывать опыт наладки и эксплуатации аналогичных автоматических систем на других предприятиях. Перед началом пусконаладочных работ подбирают и изучают инструкции по монтажу, наладке и эксплуатации; организуют техническую учебу наладчиков, инструктаж по охране труда и технике безопасности при проведении пусконаладочных работ, проводят подготовку устройств и приспособлений для наладки. Для технически сложных и громоздких по объему наладки объектов составляют сетевой график выполнения пусконаладочных работ.

## **2.8. НАЛАДКА ОТДЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Каждый из видов приборов и средств автоматизации требует определенного характера и перечня наладочных работ. Это определяется соответствующими инструкциями. Вместе с тем при наладке многих приборов имеется перечень общих работ (применительно к электрическим приборам и средствам электроавтоматики):

- внешний осмотр и проверка правильности монтажа;
- испытание изоляции средств электроавтоматики;
- измерение электрического сопротивления катушек, добавочных сопротивлений, соединительных проводов;
- снятие характеристик приборов и средств автоматизации, их настройка (регулировка) для получения нужных показателей или требуемого режима и т. п.

## 2.8.1. Наладка датчиков автоматики

**Датчики температуры.** Сначала рассмотрим наладку термоэлектрических приборов и термометров сопротивления для измерения и контроля температуры. Термоэлектрический термометр состоит из термопары и электроизмерительного прибора (милливольтметра или автоматического потенциометра), соединенных между собой при помощи электрических проводов.

*Термоэлектрические измерители температуры* сначала осматривают с точки зрения исправности отдельных элементов и правильности монтажа системы в целом. Затем измеряют сопротивление изоляции термопары и сопротивление соединительных проводов. Далее при помощи контрольного прибора проверяют, правильно ли работает вся система.

Аналогичным образом проверяют работы термометров сопротивления.

Осматривают чувствительную часть при снятом кожухе. Измеряют сопротивление изоляции мегомметром на 500 или 1000 В при комнатной температуре (сопротивление должно быть не менее 20 МОм). Затем проверяют сопротивление термометра при температурах  $0^{\circ}\text{C}$  (в термостате) и  $100^{\circ}\text{C}$  путем его погружения в кипящую воду. Эти показания сравнивают с табличными. Они не должны отличаться больше, чем требуется для соответствующего класса точности. Затем собирают схему и проверяют ее работу в целом.

У *дилатометрических датчиков температуры* типа Тр-200 (рис. 42) можно регулировать температурную уставку в пределах  $25...200^{\circ}\text{C}$ . Для увеличения уставки температуры следует ослабить регулировочный винт 1,

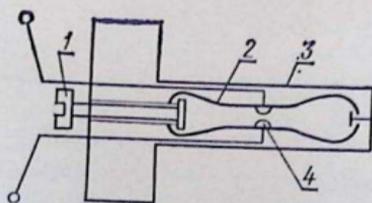


Рис. 42. Термореле ТР-200.

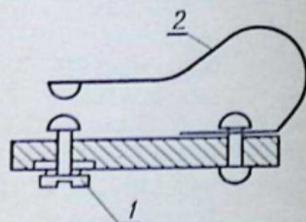


Рис. 43. Биметаллический датчик температуры Т-50.

1 — регулируемый контакт; 2 — биметаллическая пружина.

при этом пружина из инвара 2 ослабится и потребуются большая температура для большего удлинения латунной трубки 3 и срабатывания (размыкания) контактов 4, которые в обычных температурных условиях замкнуты. У биметаллических датчиков температуры типа Т-50 (рис. 43) для уменьшения температуры, при которой размыкаются контакты, необходимо заглубить регулируемый контакт 1.



Рис. 44. Температурные характеристики терморезистора.

**Терморезисторные датчики температуры.** Терморегуляторы типа ПТР-2, ПТР-3 работают с терморезисторными датчиками строго определенного сопротивления. При выходе датчика из строя его можно заменить другим этого же номинала. Однако при этом, как правило, необходима подгонка. Если сопротивление датчика несколько меньше нужного, то последовательно подключают резистор с небольшим сопротивлением. Если сопротивление больше нужного, то параллельно присоединяют резистор с большим сопротивлением.

Для рабочего диапазона при параллельном соединении

$$R_d = \frac{R_{\text{потр}} R_{\text{трраб}}}{R_{\text{трраб}} - R_{\text{потр}}}, \quad (86)$$

где  $R_d$ ,  $R_{\text{потр}}$ ,  $R_{\text{трраб}}$  — значения сопротивлений резисторов соответственно добавочного, потребного и терморезистора в рабочем режиме. При последовательном соединении  $R_d = R_{\text{потр}} + R_{\text{трраб}}$ .

При включении подгоночного сопротивления чувствительность датчика снижается (датчик заглубляется). На рисунке 44 показаны статические характеристики скорректированного и нескорректированного датчиков при последовательном соединении.

Подобного рода подгонка применима также к фоторезисторам, гирристорам, позисторам, психрометрическим датчикам влажности (с терморезисторами) и др.

У датчиков уровня мембранного типа в процессе наладки можно изменить уставку срабатывания (рис. 45). Для увеличения уставки необходимо проложить прокладку между мембраной и корпусом; для уменьшения —

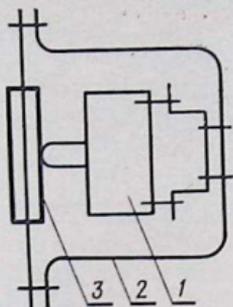


Рис. 45. Мембранный датчик уровня:

1 — микропереключатель; 2 — кожух; 3 — мембрана.

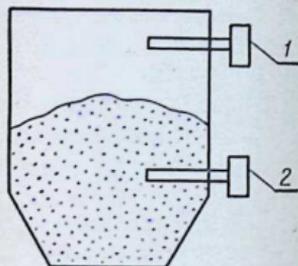


Рис. 46. Датчик уровня электродного типа:

1 — электрод верхнего уровня; 2 — электрод нижнего уровня.

прокладку под микропереключатель в месте его крепления.

При наладке датчиков уровня электродного (рис. 46) и емкостного типов необходимо правильно установить датчики, чтобы они удовлетворяли не только технологическим требованиям, но и требованиям качества функционирования АСУ и качества регулирования. Местом установки этих датчиков определяется ширина петли релейной статической характеристики, что сказывается в конечном счете на качестве регулирования.

**Тахогенераторы** являются датчиками частоты вращения валов машин. В процессе наладки тахогенераторов можно изменить их чувствительность. У тахогенератора постоянного тока с независимым возбуждением это достигается путем изменения силы тока возбуждения. При увеличении силы тока чувствительность тахогенератора повышается.

Изложенные примеры наладки и регулировки датчиков далеко не исчерпывают всего многообразия датчиков и видов регулировки и наладки. Подробнее с этими вопросами можно ознакомиться в специальной литературе [45, 46], а также по лабораторным работам данного учебного пособия.

### 2.8.2. Наладка управляющих элементов

**Реле автоматики.** Проверку и настройку реле начинают с осмотра. При осмотре проверяют, соответствует ли тип реле предусмотренному проектом, наличие плом-

бы завода-изготовителя, тщательно ли очищено реле от консервирующей смазки, пыли и посторонних предметов; комплектность реле; отсутствие перекосов, заеданий и затираний подвижной системы; состояние контактов (они должны быть чистыми, с соответствующими закруглениями по ГОСТ).

Сопротивление изоляции катушки и контактной системы проверяют мегомметром на напряжение 1000 В. Исправные реле должны иметь сопротивление изоляции не ниже 10 МОм. При пониженном сопротивлении изоляции реле следует просушить при температуре не выше 80° С.

Иногда измеряют омическое сопротивление катушек реле при помощи мостов Уитстона класса точности 0,2, но не ниже 0,5. Полученные результаты не должны расходиться с данными заводов-изготовителей более чем на  $\pm 10\%$ . Уменьшенное сопротивление может указывать на наличие витковых замыканий в катушке.

Затем проверяют напряжение (ток) срабатывания и напряжение (ток) отпускания. При этом определяют коэффициент возврата  $k_v = \frac{U_{отп}}{U_{сраб}}$ , где  $U_{сраб}$ ,  $U_{отп}$  — напряжения соответственно срабатывания и отпускания. Для изменения параметров срабатывания и отпускания у реле регулируют натяжение отбрасывающих пружин, а также прокладывают немагнитные (латунные) прокладки на магнитную систему. Проверяют также четкость срабатывания реле при пониженном на 15% напряжении.

Электросекундомером проверяют время срабатывания и время отпускания.

Если необходимо увеличить время срабатывания, то применяют схемные способы (рис. 47).

Схемные методы замедления отпускания реле показаны на рисунке 48.

На рисунке 49 приведены электрические схемы для искрогашения на контактах. В момент отключения контактов происходит заряд или разряд конденсатора С и напряжение между контактами уменьшается.

**Наладка и регулировка поляризованных реле.** Поляризованные реле отличаются от нейтральных наличием дополнительного поля от постоянных магнитов (рис. 50).

Для повышения чувствительности поляризованного реле его контакты перемещают ближе к оси реле (сбли-

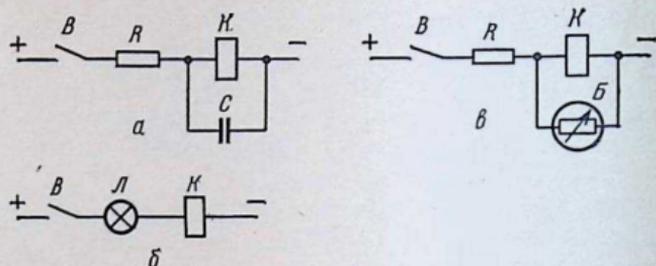


Рис. 47. Схемы замедления срабатывания реле:

*a* — с конденсатором; *б* — с лампой накаливания; *в* — с бареттером.

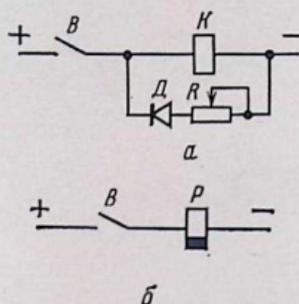


Рис. 48. Схемные способы замедления отпуска реле:

*a* — шунтирование диодом и резистором; *б* — короткозамкнутые витки на магнитной системе.

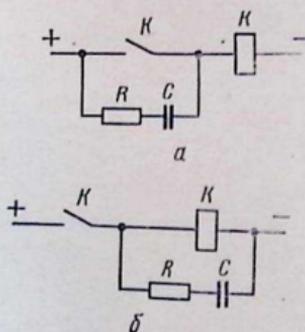


Рис. 49. Электрические способы искрогашения на контактах:

*a* — включение  $RC$  параллельно контактам; *б* — включение  $RC$  параллельно катушке.

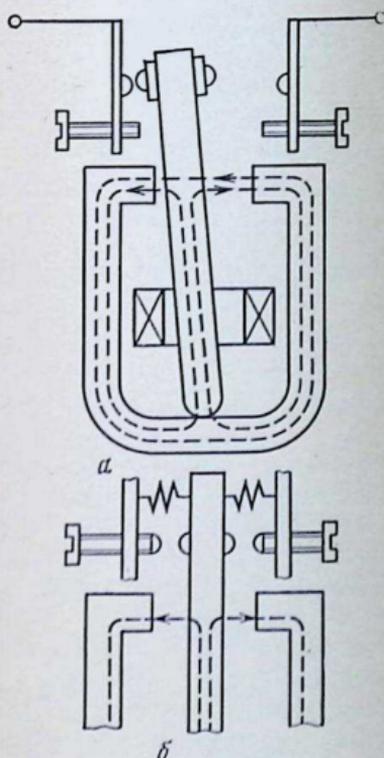


Рис. 50. Устройство поляризованных реле:

*a* — двухпозиционного; *б* — трехпозиционного.

жают). Если напряжения на катушке нет, то трехпозиционные контакты поляризованного реле должны быть в нейтральном положении.

Наладка магнитных усилителей преследует прежде всего цель изменения статической характеристики в рабочей зоне усилителя (рис. 51). Если управляющий ток магнитного усилителя  $I_y$  изменяется от нуля в прямом и обратном направлениях, то желательно иметь в этой области линейную статическую характеристику. Это достигается подачей тока в обмотку смещения. Значение этого тока может быть определено по формуле

$$I_{см} = I'_y \frac{W_y}{W_c}, \quad (87)$$

где  $W_y$  — обмотка управления;  $W_c$  — обмотка смещения.

На рисунке 51, б пунктиром показана откорректированная статическая характеристика магнитного усилителя.

Для наладки логических элементов и схем управления с логическими элементами оказывается непригодным основной прием наладки обычных контактных систем управления — прозвонка, так как цепи с транзисторами и другими полупроводниковыми приборами очень чувствительны к полярности напряжения и при подаче на них даже низкого напряжения неправильной полярности элементы могут выйти из строя.

Основным приемом наладки является контроль выходного набора сигналов при подаче на вход заданного

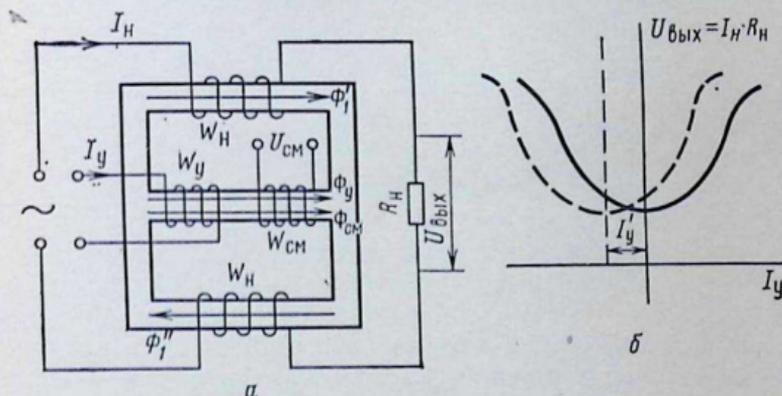


Рис. 51. Магнитный усилитель:  
а — схема; б — статические характеристики.

входного набора. Этот прием называется методом функциональных проб.

Для проверки бесконтактных станций управления используют специальные тестовые программы или испытательные карты, которые прилагаются к заводским инструкциям по монтажу и эксплуатации.

Наладчикам желательно иметь специальные блоки или стенды-имитаторы входных воздействий. Это значительно облегчает процесс проверки и испытания логических элементов и станций управления.

Напряжения на входных и выходных ячеек элементов нужно измерять магнитоэлектрическими или детекторными вольтметрами с высоким входным сопротивлением. В противном случае могут быть сделаны ошибочные выводы об исправности и работе элементов.

### 2.8.3. Наладка исполнительных механизмов

Перед началом наладочных работ на электрических исполнительных механизмах проверяют сопротивление изоляции обмоток электродвигателя относительно корпуса при помощи мегомметра на 500 В. Затем проверяют, правильно ли выполнены монтажные работы (механические и электрические). Если монтаж механической части выполнен правильно, то выходной вал от ручного привода поворачивается плавно.

При наладке исполнительного механизма сначала регулируют его ход. Для этого ослабляют сочленение исполнительного механизма с регулирующим органом и регулирующий орган устанавливают в крайнее положение (например, «Закрывается»). Исполнительный механизм переводят также в соответствующее крайнее положение, после чего фиксируют сочленение. Затем ручным приводом перемещают вал исполнительного механизма в другое крайнее положение. При этом регулирующий орган должен сделать полный ход и переместиться в другое крайнее положение («Открыто»). Убедившись в правильности сочленения исполнительного механизма и регулирующего органа, налаживают работу конечных выключателей. Затем налаживают работу дистанционного указателя положения. Стрелка указателя положения должна находиться при крайних положениях регулирующего органа на отметках 0 и 100 делений.

На качество процесса регулирования существенное

влияние оказывает «выбег» исполнительного механизма под действием инерционных сил. Обычно «выбег» не должен превышать 2% максимального хода исполнительного механизма. Уменьшить значение выбега можно более точной настройкой тормозных устройств или механизма упреждения отключения.

## 2.9. НАЛАДКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Качество функционирования САР в значительной мере зависит от свойств объекта регулирования и характеристики автоматического управляющего устройства.

По динамическим свойствам объекты управления подразделяют на объекты с самовыравниванием (статические) и объекты без самовыравнивания (астатиические). Типовые характеристики переходных процессов (разгонные характеристики) объектов показаны на рисунке 52. Передаточная функция объекта с самовыравниванием

$$W(p) = \frac{k_0}{T_0 p + 1} e^{-p\tau_0}, \quad (88)$$

то есть разгонная характеристика объекта представляется в виде двух последовательно соединенных элементарных динамических звеньев (апериодического первого порядка и запаздывающего).

По динамической характеристике (рис. 52, а) параметры объекта с самовыравниванием находят следующим образом:

коэффициент передачи объекта

$$\left( \frac{\text{единицы измерения регулируемой величины}}{\% \text{ хода регулирующего органа}} \right) k_0 = \frac{x_{\text{вых.уст}} - x_{\text{вых0}}}{x_{\text{вхисп0}}}, \quad (89)$$

постоянная времени  $T_0$ , с, определяется отрезком на оси абсцисс (оси времени) от точки пересечения касательной с осью абсцисс до вертикали, опущенной из точки пересечения касательной с линией установившегося значения выходной величины. Касательная проводится к кривой разгона в точке перегиба кривой;

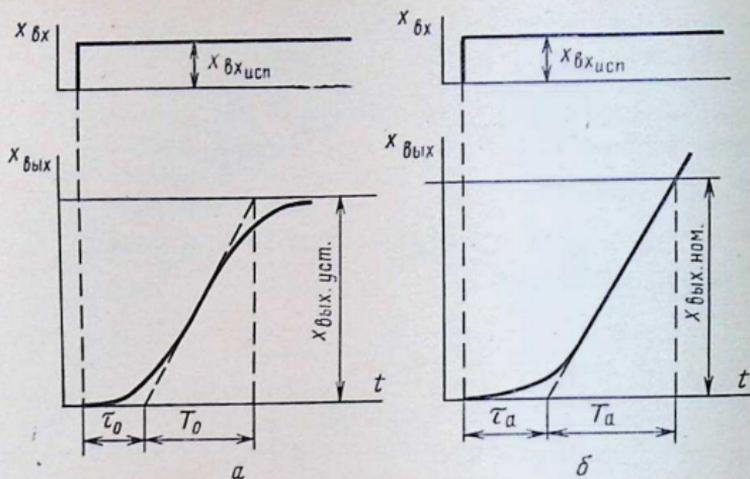


Рис. 52. Разгонные характеристики объектов:

*a* — с самовыравниванием (статического); *б* — без самовыравнивания (астатического).

время запаздывания  $\tau_0$ , с, определяется отрезком оси времени (абсцисс) от начала приложения входного воздействия до точки пересечения касательной с осью абсцисс.

Передаточная функция объекта без самовыравнивания

$$W(p) = \frac{k_a}{T_a p} e^{-\tau_a p}. \quad (90)$$

Параметры объекта без самовыравнивания находят по разгонной кривой (рис. 52, б):

время разгона  $T_a$ , с, регулируемой (выходной) величины до номинального значения определяется отрезком оси абсцисс от точки пересечения касательной с осью абсцисс до перпендикуляра, опущенного из точки пересечения разгонной кривой (или касательной к кривой) с линией номинального значения регулируемой величины;

время запаздывания  $\tau_a$ , с, определяется отрезком оси времени (абсцисс) от начала приложения входного воздействия до точки пересечения касательной с осью абсцисс;

скорость разгона объекта

$$\left( \frac{\text{единицы измерения регулируемой величины}}{\text{с} \cdot \% \text{ хода РО}} \right)$$

$$\varepsilon = \frac{x_{\text{выхном}} - x_{\text{вых0}}}{x_{\text{вхисп}} T_a} \quad (91)$$

Иногда пользуются еще величиной, обратной скорости разгона:

$$T_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} = T_a \frac{x_{\text{вхисп}}}{x_{\text{выхном}} - x_{\text{вых0}}} \quad (92)$$

Измеряется эта величина в единицах, обратных размерности скорости разгона. Величина  $T_\varepsilon$  численно равна времени разгона  $T_a$  при 100%-ном перемещении регулирующего органа (при подаче номинального испытательного входного воздействия), если и входные и выходные величины представлены в относительных единицах.

Таким образом, через скорость разгона объекта передаточная функция объекта без самовыравнивания имеет вид

$$W(p) = \frac{\varepsilon}{p} e^{-\tau_a p} \quad (93)$$

Если отношение  $\frac{x_{\text{выхном}} - x_{\text{вых0}}}{x_{\text{вхисп}}}$  обозначить через  $k_a$ ,

то передаточная функция объекта примет вид передаточной функции двух последовательно соединенных звеньев (интегрирующего и запаздывающего)

$$W(p) = \frac{k_a}{T_a p} e^{-\tau p} \quad (94)$$

Чтобы обеспечить требуемое качество регулирования, недостаточно правильно выбрать вид регулятора. Необходимо его еще должным образом настроить, то есть установить и отрегулировать передаточный коэффициент, постоянные времени (применительно к регуляторам непрерывного действия), а также параметры нелинейных и импульсных элементов (применительно к релейным и импульсным регуляторам).

### 2.9.1. Настройка регуляторов непрерывного действия

Рассмотрим требования к настройке регуляторов непрерывного действия: пропорциональных (П-регуляторы), интегральных (И-регуляторы), пропорционально-интегральных (ПИ-регуляторы), пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД-регуляторы).

Закон регулирования П-регуляторов выражается уравнением

$$x_{\text{ВЫХ}} = kx_{\text{ВХ}}. \quad (95)$$

Его передаточная функция в операторной форме  $W(p) = k$ .

Закон регулирования И-регуляторов выражается зависимостью

$$x_{\text{ВЫХ}} = \frac{k}{T_{\text{И}}} \int x_{\text{ВХ}} dt, \quad (96)$$

а его передаточная функция уравнением

$$W(p) = \frac{k}{T_{\text{И}} p}. \quad (97)$$

Закон регулирования ПИ-регуляторов, которые иногда называют изодромными, описывается уравнением

$$x_{\text{ВЫХ}} = kx_{\text{ВХ}} + \frac{k}{T_{\text{И}}} \int x_{\text{ВХ}} dt, \quad (98)$$

где  $T_{\text{И}}$  — постоянная времени интегрирующего звена (называется временем издрома).

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W(p) = k + \frac{k}{T_{\text{И}} p}. \quad (99)$$

Структурная алгоритмическая схема ПИ-регулятора представляет собой параллельное соединение безынерционного и интегрирующего звеньев.

Закон регулирования ПИД-регулятора описывается уравнением

$$x_{\text{ВЫХ}} = kx_{\text{ВХ}} + kT_{\text{Д}} \frac{dx_{\text{ВХ}}}{dt}, \quad (100)$$

где  $T_{\text{Д}}$  — постоянная времени дифференцирующего звена, которую

И

регулятора

$$+ \frac{k}{T_{\text{И}} p} + kT_{\text{Д}} p. \quad (101)$$

Структурная алгоритмическая схема этого регулятора представляет собой параллельное соединение трех динамических звеньев: безынерционного, интегрирующего и идеального дифференцирующего.

Для управления объектами с самовыравниванием можно применять все перечисленные регуляторы; для объектов без самовыравнивания используют П-, ПИ- и ПИД-регуляторы. Для управления объектом без самовыравнивания (астатическим) нельзя применять И-регулятор, так как в результате получается структурно неустойчивая автоматическая система, в которой никакими настройками параметров регулятора не удастся получить систему с устойчивым переходным процессом.

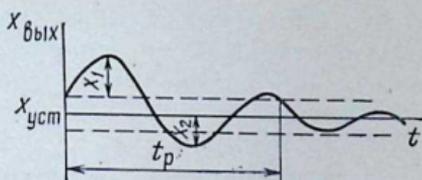


Рис. 53. Кривая переходного процесса.

Правильно налаженный регулятор должен обеспечивать оптимальное протекание процесса регулирования. Процесс регулирования характеризуется следующими показателями (рис. 53): максимальным динамическим отклонением регулируемой величины от заданного значения —  $x_1$ ; временем регулирования  $t_p$ , определяемым как промежуток времени от момента подачи воздействия до момента установления регулируемой величины при воздействии регулятора на объект; перерегулированием, определяемым как отношение соседних амплитуд (разного знака  $x_2$  и  $x_1$ ), выраженное в процентах; остаточным отклонением, которое проявляется в том, что новое установившееся значение регулируемой величины отклоняется от значения, которое было до начала регулирования (это отклонение называют статической ошибкой).

Следует отметить, что И-, ПИ-, ПИД-регуляторы обеспечивают регулирование без статической ошибки. Статическая ошибка появляется лишь при регулировании при помощи П-регулятора.

Значение статической ошибки зависит от значения внешнего воздействия (нагрузки) на объект и передаточного коэффициента регулятора.

Переходный процесс в автоматической системе должен по возможности иметь минимальное время регулирования, сравнительно небольшое динамическое отклонение регулируемой величины, небольшое перерегулирование и минимальную статическую ошибку. Однако удовлетворить все перечисленные требования одновременно ни одним регулятором невозможно. Поэтому параметры

регуляторов принято настраивать на один из трех типовых переходных процессов регулирования (рис. 54): апериодический, с 20%-ным перерегулированием, с минимальной площадью между кривой переходного процесса и осью времени ( $F_{\min} = \int x_{\text{вых}}^2 dt$ ).

**Апериодический переходный процесс** характеризуется минимальным временем регулирования для объектов с самовыравниванием (для объектов без самовыравнивания — время регулирования велико), отсутствием перерегулирования, небольшим управляющим воздействием. Вместе с тем динамическое отклонение в этом процессе максимально. Такой тип переходного процесса рекомендуется в тех случаях, когда объект имеет несколько регулируемых величин и необходимо, чтобы регулирующее воздействие для рассматриваемой величины не оказывало нежелательного влияния на другие регулируемые величины.

**Процесс с 20%-ным перерегулированием** характеризуется наличием перерегулирования и уменьшенным динамическим отклонением регулируемой величины. Применяется к объектам, допускающим перерегулирование, но чувствительным к большим динамическим отклонениям.

**Процесс с минимальной площадью отклонения регулируемой величины** характеризуется малым значением динамического отклонения; однако перерегулирование здесь больше и достигает 40...45%, увеличивается время регулирования и требуется значительное управляющее воздействие на объект. Этот процесс применяют для тех объектов, в которых по технологическим требованиям

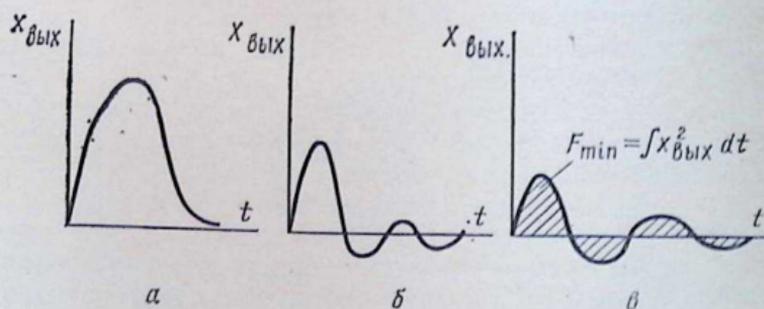


Рис. 54. Характеристики типовых переходных процессов: а — апериодический; б — с 20%-ным перерегулированием; в — с минимальной площадью под кривой переходного процесса.

Таблица 11. Параметры настройки регуляторов для объектов с самовыравниванием

Тип регулятора	Процесс регулирования		
	апериодической	с 20%-ным перерегулированием	с минимальной площадью отклонения регулируемой величины
П	$k_p = \frac{0,3}{k_0 \tau_0 / T_0}$	$k_p = \frac{0,7}{k_0 \tau_0 / T_0}$	$k_p = \frac{0,9}{k_0 \tau_0 / T_0}$
И	$k_p = \frac{1}{4,5 k_0 T_0}$	$k_p = \frac{1}{1,7 k_0 T_0}$	$k_p = \frac{1}{1,7 k_0 \tau_0}$
ПИ	$k_p = \frac{0,6}{k_0 \tau_0 / T_0}$ $T_{II} = 0,5 T_0 + 0,8 \tau_0$ ( $T_{II} = 0,6 T_0$ )	$k_p = \frac{0,7}{k_0 \tau_0 / T_0}$ $T_{II} = 0,3 T_0 + \tau_0$ ( $T_{II} = 0,7 T_0$ )	$k_p = \frac{1}{k_0 \tau_0 / T_0}$ $T_{II} = 0,35 T_0 + \tau_0$ ( $T_{II} = T_0$ )
ПИД	$k_p = \frac{0,95}{k_0 \tau_0 / T_0}$ $T_{II} = 2,4 \tau_0$ $T_D = 0,4 \tau_0$	$k_p = \frac{1,2}{k_0 \tau_0 / T_0}$ $T_{II} = 2 \tau_0$ $T_D = 0,4 \tau_0$	$k_p = \frac{1,4}{k_0 \tau_0 / T_0}$ $T_{II} = 1,3 \tau_0$ $T_D = 0,5 \tau_0$

не допускается большое отклонение регулируемой величины.

Таким образом, задача наладки регулятора заключается в том, чтобы применительно к данному объекту выбрать (рассчитать) и установить такие настроечные параметры (коэффициенты усиления, постоянные времени интегрирования и дифференцирования), которые обеспечили бы процесс регулирования, близкий к оптимальному. Расчетные значения параметров настройки регуляторов для объектов с самовыравниванием приведены в таблице 11.

Для объектов без самовыравнивания в литературе [46] имеется аналогичная таблица для расчета параметров настройки П-, ПИ- и ПИД-регуляторов.

Параметры настроек регуляторов могут быть также определены по специальным графикам, имеющимся в справочной литературе по наладке (настройке) регуляторов [45, 46].

Значения коэффициентов усиления и постоянных времени в электрических регуляторах устанавливаются путем

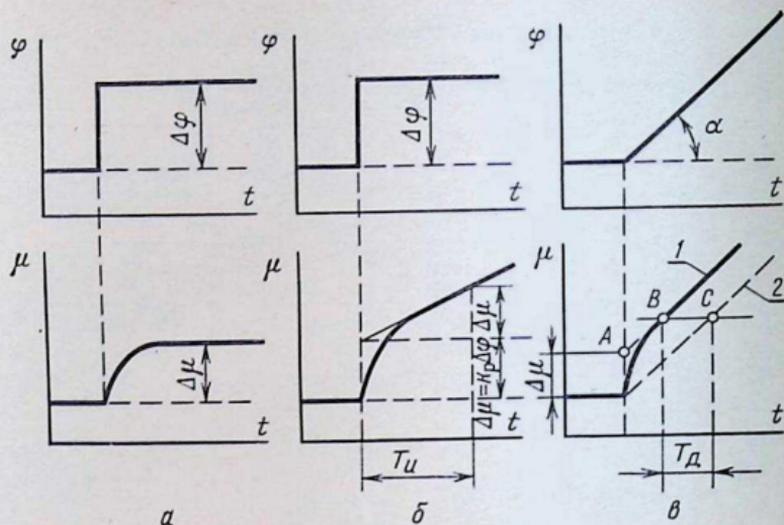


Рис. 55. Динамические характеристики:  
 а — П-регулятора; б — ПИ-регулятора; в — ПИД-регулятора.

изменения сопротивления соответствующих переменных резисторов.

Регуляторы можно настроить без объекта в лаборатории на специально приспособленном стенде. При этом на вход регулятора необходимо подавать воздействия в виде изменяющейся регулируемой величины (температуры, влажности, уровня жидкости и т. п.). На выходе регулятора должны быть установлены приборы, регистрирующие изменение управляющего воздействия. На рисунке 55 приведены динамические характеристики П-, ПИ- и ПИД-регуляторов.

При настройке П-регуляторов значение коэффициента усиления  $k_p$  определяют по динамической характеристике как отношение приращения выходной величины  $\Delta\mu$  к изменению входной величины  $\Delta\varphi$  (рис. 55, а).

Приступая к настройке ПИ-регулятора, сначала отключают интегральную часть и градуируют устройство для настройки  $k_p$ . Затем, включив интегральную часть одновременно с пропорциональной, градуируют приспособление для настройки  $T_{ин}$  при том же значении  $k_p$ . Как видно из рисунка 55, б, выходной сигнал регулятора вначале изменяется на  $\Delta\mu = k_p \Delta\varphi$  за счет действия пропорциональной части, а затем он нарастает под действием

интегральной части. Время, за которое произойдет удвоение выходного сигнала пропорциональной части характеристики, и будет временем изодрома  $T_{II}$ .

*ПИД-регуляторы* градуируют вначале при отключенной интегральной и дифференциальной части, то есть устанавливают величину  $k_p$ . Затем подключают интегральную часть и аналогично ПИ-регуляторам градуируют устройство для настройки  $T_{II}$ . Для настройки времени предварения  $T_d$  включают пропорциональную и дифференциальную части регулятора (при отключенной интегральной части). Устанавливают известное  $k_p$  и на вход регулятора подают непрерывно возрастающее воздействие (рис. 55, в), скорость нарастания которого постоянна, и регистрируют изменение выходной величины. Вначале выходная величина изменяется резко (совершает скачок) за счет действия дифференциальной части, а затем нарастает под действием пропорциональной части.

Время предварения  $T_d$  определяют [45] как разность времени достижения одних и тех же значений выходной величины регулятора при включенной и выключенной дифференциальной части. При выключенных интегральной и дифференциальных частях ПИД-регулятор превращается в П-регулятор (характеристика 2). Чтобы найти значение  $T_d$ , проводят прямую, параллельную оси времени выше точки А так, чтобы она пересекла характеристики 1 и 2. Отрезок ВС в масштабе времени определяет время предварения  $T_d$  при данном положении настроечных устройств.

В тех случаях, когда градуировку и настройку выполняют непосредственно на месте установки регулятора, предварительно разъединяют исполнительный механизм и регулирующий орган. Если исполнительный механизм не имеет указателя положения, то его снабжают шкалой, градуированной в процентах хода регулирующего органа.

Необходимо иметь в виду, что рассчитанные по таблице и выбранные по графикам настроечные параметры регуляторов вследствие неточности снятия и обработки характеристик объектов, ряда упрощений при математической обработке результатов и по другим причинам могут несколько отличаться от оптимальных значений, которые обеспечивают требуемый вид переходного процесса. Поэтому в процессе наладки необходима корректировка параметров настройки. Однако при этом следует

помнить, что любое изменение настройки регулятора для улучшения одних показателей может привести к ухудшению других. Например, уменьшение коэффициентов усиления приводит к уменьшению колебательности системы, уменьшению времени регулирования, но увеличивает статическую ошибку (для П-регуляторов). Увеличение времени изотропа ( $T_{и}$ ) способствует увеличению степени затухания переходного процесса, но при чрезмерном увеличении времени изотропа начинает проявляться статическая ошибка. Увеличение времени предварения  $T_{д}$  (постоянной времени дифференцирующего элемента) до некоторых значений улучшает качество регулирования, но вместе с тем чрезмерное увеличение  $T_{д}$  ухудшает показатели переходного процесса.

Чрезмерное увеличение передаточного коэффициента (коэффициента усиления) или уменьшение времени интегрирования и увеличение времени предварения способствуют увеличению колебательности процесса и может привести к возникновению незатухающих колебаний системы, то есть к неустойчивому режиму автоматической системы.

### 2.9.2. Наладка релейных регуляторов

Наиболее распространенными релейными регуляторами являются двухпозиционные.

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).

Если имеется астатический (без самовыравнивания) объект с передаточной функцией

$$W(p)_{об} = \frac{k_a}{T_a p},$$

где  $k_a$ ,  $T_a$  — передаточный коэффициент и постоянная времени объекта

то при ступенчатой подаче на вход объекта управляющего воздействия, регулируемая величина будет изменяться по линейному закону:

для положительного входного воздействия (приток)

$$x_{вых} = \frac{k_a}{T_a} x_{вх} t; \quad (102)$$

для отрицательного входного воздействия (отток)

$$x_{\text{вых}} = -\frac{k_a}{T_a} x_{\text{вх}} t. \quad (103)$$

Если в автоматической системе двухпозиционный регулятор с петлевой статической характеристикой (рис. 56), то управляемая величина будет изменяться периодически и в системе наступит режим автоколебаний (рис. 57). При отсутствии в объекте запаздывания амплитуда автоколебаний равна половине ширины петли статической характеристики, так как выходная величина начинает нарастать в момент включения регулятора и спадать сразу после отключения.

Из простых геометрических построений следует, что период автоколебаний

$$T_{\text{ак}} = \frac{4a T_a}{k_a C}. \quad (104)$$

В релейных автоматических системах с астатическим объектом при наличии запаздывания динамика процесса регулирования несколько отличается от динамики регулирования объекта без запаздывания, хотя в этом случае, как и ранее, будет существовать режим автоколебаний (рис. 58). В самом деле, поскольку имеется запаздывание, регулируемая величина продолжает увеличиваться после прекращения притока в течение времени  $\tau_1$  (время запаздывания для условий притока). Только

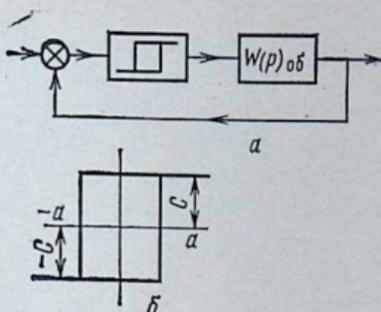


Рис. 56. Нелинейная система: а — структурная схема; б — статическая характеристика релейного элемента.

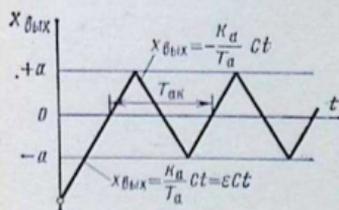


Рис. 57. Динамика двухпозиционного регулирования астатического объекта без запаздывания.

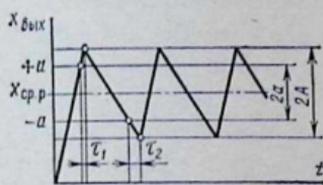


Рис. 58. Динамика двухпозиционного регулирования астатического объекта с запаздыванием.

после истечения  $\tau_1$  регулируемая величина начинает уменьшаться из-за наличия оттока, причем и после появления притока уменьшение будет продолжаться 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 объекта для режимов притока и оттока.

В этом случае передаточная функция объекта

$$W(p) = \frac{k_{1,2}}{T_{1,2} p} e^{-\tau_{1,2} p}. \quad (105)$$

Из геометрических построений (рис. 58) следует, что амплитуда автоколебаний больше половины ширины петли статической характеристики и имеет вид

$$A_{\text{ак}} = a + \frac{C}{2} \left( \frac{k_1 \tau_1}{T_1} + \frac{k_2 \tau_2}{T_2} \right). \quad (106)$$

В частном случае, когда  $k_1 = k_2$ ,  $\tau_1 = \tau_2$ ,  $T_1 = T_2$ ,

$$A_{\text{ак}} = a + \frac{Ck\tau}{T}. \quad (107)$$

В общем случае период автоколебаний

$$T_{\text{ак}} = 2a \frac{k_1 T_2 + k_2 T_1}{k_1 k_2 C} + \tau_1 + \tau_2. \quad (108)$$

В частном случае

$$T_{\text{ак}} = \frac{4aT}{kC} + 2\tau. \quad (109)$$

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  $x_{\text{ср.р.}}$ .

Более сложная кривая регулируемой величины получается при работе двухпозиционного регулятора со статическим объектом при наличии запаздывания (рис. 59).

В этом случае передаточная функция объекта

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau_{1,2} p}}{T_{1,2} p + 1}. \quad (110)$$

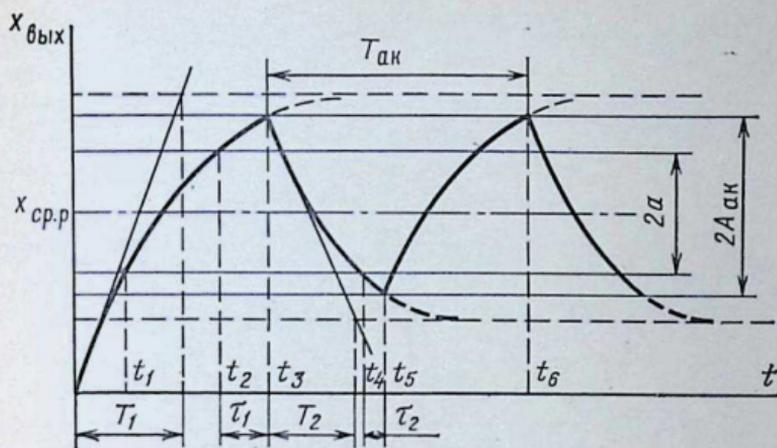


Рис. 59. Динамика двухпозиционного регулирования статического объекта с запаздыванием.

На участке нарастания кривой (при наличии притока) регулируемая величина изменяется согласно соотношению

$$x_{\text{вых}} = kC \left( 1 - e^{-\frac{t-\tau_1}{T_1}} \right). \quad (111)$$

На участке убывания регулируемой величины

$$x_{\text{вых}} = kC e^{-\frac{t-\tau_2}{T_2}}. \quad (112)$$

Путем математических выкладок и преобразований можно получить выражения для определения амплитуды и периода автоколебаний.

Амплитуду автоколебаний в общем случае можно найти из соотношения (при  $k_1 = k_2 = k$ )

$$2A_{\text{ак}} = kC - (x_{\text{ср.р.}} - a)\lambda_2 - (kC - x_{\text{ср.р.}} - a)\lambda_1, \quad (113)$$

$$\text{где } \lambda_1 = e^{-\frac{\tau_1}{T_1}}; \quad \lambda_2 = e^{-\frac{\tau_2}{T_2}}.$$

В частном случае при  $\tau_1 = \tau_2$  и  $T_1 = T_2$

$$A_{\text{ак}} = kC(1 - \lambda) + 2a. \quad (114)$$

Период автоколебаний может быть определен из выражения

$$T_{\text{ак}} = T_1 \ln \frac{kC - (x_{\text{ср.р}} - a) \lambda_2}{(kC - x_{\text{ср.р}} - a) \lambda_1} + T_2 \ln \frac{kC - (kC - x_{\text{ср.р}} - a) \lambda_1}{(x_{\text{ср.р}} - a) \lambda_2} \quad (115)$$

Если динамика нарастания и убывания регулируемой величины одинакова, то есть если  $T_1 = T_2$  и  $\tau_1 = \tau_2$ , то зависимость для  $T_{\text{ак}}$  значительно упрощается

$$T_{\text{ак}} = T \ln \frac{\left(\frac{kC}{\lambda} - x_{\text{ср.р}} + a\right) \left(\frac{kC}{\lambda} - kC + x_{\text{ср.р}} + a\right)}{(kC - x_{\text{ср.р}} - a) (x_{\text{ср.р}} - a)} \quad (116)$$

При наладке релейных регуляторов чаще всего бывает необходимо изменить частоту и амплитуду автоколебаний. При этом используют три принципиально разных способа: изменяют зону нечувствительности (ширины 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. Уменьшить ширину петли можно, например, путем изменения натяжения отбрасывающей пружины электромагнитного реле и другими способами.

Из выражений для амплитуды и периода автоколебаний видно также, что повысить точность регулирования можно путем уменьшения притока и оттока. Некоторые системы автоматического управления построены на принципе регулирования притока и оттока.

С целью повышения точности регулирования в контуре регулирования используют дифференцирующие элементы и на охвате релейного регулятора вводят отрицательную обратную связь.

Динамические элементы в контур можно вводить по-разному. Если в схеме имеется элемент с большим значением отклонения регулятора, то помимо него, включают датчик, реагирующий на скорость отклонения регулируемой ве-

личины. В этом случае суммарный сигнал поступает в регулятор, и он срабатывает с упреждением, компенсируя, таким образом, влияние запаздывания объекта.

Ввести в регулятор положительную инерционную связь можно, например, следующим образом. Если объект снабжен электронагревательным устройством и необходимо регулировать температуру объекта, то в цепь питания электронагревателя последовательно включают катушку дополнительного подогрева пластины биметаллического датчика температуры. В этом случае регулятор работает раньше, чем без дополнительной катушки и таким упреждением уменьшит амплитуду автоколебаний и повысит точность регулирования. Причем такого рода обратная связь учитывает также изменение притока регулирующего воздействия и снижает его влияние на точность регулирования.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

### 3.1. ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ КИПиА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

#### 3.1.1. Задачи службы КИПиА

Чтобы контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации четко и надежно работали на объектах сельскохозяйственного производства, необходимо систематически квалифицированно их обслуживать, своевременно и качественно ремонтировать, наладживать и проверять. С этой целью организуется специальная служба КИПиА.

В задачи службы КИПиА входят:

- текущее обслуживание (ежедневное и периодическое), ремонт и поверка КИП и средств автоматизации;
- участие в монтаже, наладке и пробной эксплуатации вновь внедряемых систем автоматизации;

- обобщение опыта и анализ результатов эксплуатации технических средств и систем автоматизации, разработка рекомендаций по увеличению срока службы средств и систем автоматизации, разработка и осуществление предложений по реконструкции и совершенствованию действующих систем контроля и управления;

- составление заявок на технические средства автоматизации, запасные части, лабораторное оборудование и материалы;

- учет имеющихся и прием поступающих по заявкам приборов и средств автоматизации, составление рекламаций по дефектам приборов, обеспечение надлежащего хранения КИПиА;

- повышение квалификации работников службы.

### 3.1.2. Структура и состав службы КИПиА

Эксплуатация контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации на сельскохозяйственных предприятиях может осуществляться:

собственными силами сельскохозяйственного предприятия;

силами предприятия с привлечением специализированных служб системы Госкомсельхозтехники;

силами специализированных служб системы Госкомсельхозтехники.

При создании собственной службы КИПиА она, как правило, возглавляется инженером по автоматизации и подчиняется главному инженеру или главному энергетiku сельскохозяйственного предприятия (комплекса). Служба должна состоять как минимум из двух групп (бригад или звеньев): группы (бригады, звена) эксплуатации и группы (бригады, звена) ремонта и поверки приборов и средств автоматизации (рис. 60).

В задачу эксплуатационной группы входит систематическое профилактическое обслуживание технических средств и приборов автоматики непосредственно на местах их установки. При этом группа наблюдает за исправностью работы средств автоматизации, выполняет мелкий (текущий) ремонт, очищает контакты, заправляет самопишущие приборы диаграммной бумагой, чернилами и т. п. Кроме того, эксплуатационный персонал ведет журнал учета работы средств автоматизации, где фиксируется техническое состояние и необходимость проведения среднего или капитального ремонтов или замены приборов и средств автоматизации.

Текущий ремонт эксплуатационный персонал выполняет без снятия приборов и средств автоматизации с мест их установки. К текущему ремонту относятся: замена деталей, сигнальных ламп, прочистка контак-



Рис. 60. Структура службы эксплуатации КИПиА на объекте.

тов, восстановление оборванных проводов и нарушенных паек, чистка реохордов, контактных роликов, пишущих перьев. Текущий ремонт проводится по мере необходимости.

### **3.1.3. Техническое оснащение службы эксплуатации**

Эксплуатационный персонал должен иметь переносные лабораторные приборы (потенциометры, мосты, магазины сопротивлений, контрольные термометры и манометры и т. п.), а также набор слесарного инструмента, паяльник, электродрель, переносную лампу, запас диаграммной бумаги и чернил, пипетки, перочистки, проводниковые и изоляционные материалы, крепежные изделия, предохранители, запасные детали приборов и средств автоматизации, смазочные материалы, бензин, керосин, обтирочный материал. Кроме того, должны быть предусмотрены резервные приборы и технические средства автоматики для замены вышедших из строя в процессе эксплуатации.

Эксплуатационный персонал должен иметь в своем распоряжении необходимую техническую документацию: рабочие чертежи, принципиальные и монтажные схемы систем контроля и управления, инструкции заводов-изготовителей, журнал учета эксплуатации (с указанием видов и причин отказов устройств автоматики, проводимых мероприятий по повышению надежности работы приборов и средств автоматизации и т. п.), графики технического обслуживания, текущих ремонтов, демонтажа и замены приборов, инструкцию по охране труда и технике безопасности.

В задачу ремонтно-поверочной группы (бригады, звена) входит выполнение средних и капитальных ремонтов, а также осуществление периодических проверок приборов и СА.

При среднем ремонте чистят приборы, смазывают или заменяют подшипники и другие детали с трущимися поверхностями, подтягивают винтовые и болтовые соединения, заменяют электролампы, батареи питания и т. п. Средние ремонты осуществляются в плановом порядке по графикам, составленным службой КИПиА.

Капитальный ремонт предусматривает полное восстановление прибора, замену всех основных деталей, подверженных износу. После капитального ремонта на

специальном стенде проводится наладка прибора, его регулировка, настройка и осуществляются необходимые испытания в условиях, близких к рабочему режиму.

Ремонтно-поверочная группа организует регулярную сдачу приборов и средств автоматизации на государственную поверку в соответствии с установленными правилами и нормами (сроками поверки). Ведомственные поверки может проводить группа своими силами при условии, если она имеет разрешение местных органов Государственного комитета стандартов СССР на проведение ведомственных поверок.

Государственной поверке подлежат:

образцовые меры и приборы, применяемые для поверки рабочих мер и приборов;

рабочие измерительные приборы, предназначенные для выполнения учетных операций отпуска и приемки продукции, расчетов с потребителями, взаимных расчетов;

рабочие измерительные приборы, обеспечивающие безопасность (аварийные сигнализаторы концентрации ядовитых, взрыво- и пожароопасных паров и газов, уровня воды и давления в паровых котлах и т. п.);

средства измерений, используемые для исследований по стандартизации справочных данных о свойствах веществ, измерений при государственной аттестации качества продукции и измерений, связанных с регистрацией национальных и международных рекордов.

Государственную поверку проводят, как правило, в лабораториях системы Госстандарта. Однако если приборы громоздки и являются неотъемлемой частью технологического оборудования и их невозможно доставить в лабораторию Госстандарта, их проверяют на месте установки. Для этого на предприятие выезжает госповеритель с передвижной лабораторией.

Ведомственной поверке подлежат все рабочие приборы, находящиеся в эксплуатации на предприятии (комплексе).

Перечень приборов, подлежащих поверке, и периодичность государственной и ведомственной поверки установлены ГОСТ 8.002—71 «Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений». Кроме того, приборы поверяются после ремонта.

Не подлежат поверке индикаторные приборы, к которым относятся приборы, не имеющие класса точно-

сти, или приборы, используемые в качестве сигнализаторов о наличии материала, о работе оборудования, не дающие информации о количественных и качественных показателях.

Ремонтно-поверочная группа (бригада, звено) оснащается необходимым оборудованием и инструментами (настоольными металлообрабатывающими станками, электро- и газосварочными аппаратами, тисками, слесарным инструментом, монтажно-демонтажными приспособлениями), а также измерительными приборами, техническими средствами прозвонки цепей и т. п.

Для выполнения поверочных работ необходимо иметь: стенды для проверки датчиков систем автоматизации; образцовые магазины сопротивлений, амперметры, вольтметры и другие электроизмерительные приборы;

образцовые манометры, термометры, люксметры и другие приборы;

мегомметры на напряжение 500 и 1000 В для измерения сопротивления изоляции обмоток электрических исполнительных механизмов, магнитных пускателей, электромагнитных реле, проводов внутрищитовой коммутации и контрольных кабелей;

мегомметры на 2500 В для измерения сопротивления изоляции силовых кабелей;

измерители сопротивления заземления.

Следует помнить, что образцовые приборы должны иметь класс точности в 4...5 раз выше класса точностиверяемых рабочих приборов. Например, прибор класса точности 1,0 должен поверяться при помощи образцового прибора класса точности 0,2 и выше.

Численный состав групп (бригад, звеньев) службы КИПиА определяется объемом работ по эксплуатации, ремонту и проверке приборов и средств автоматизации. Служба КИПиА укомплектовывается электромонтерами, электрослесарями, слесарями-наладчиками, слесарями по ремонту КИПиА, слесарями-инструментальщиками. В эксплуатационной группе квалификация рабочих должна быть III...V разряда, а в ремонтно-поверочной III...VI разряда.

Квалификационный состав рабочих службы КИПиА может быть приближенно определен в процентах к их общему числу так: рабочих VI разряда — 10...15%, V раз-

ряда — 25...35%, IV разряда — 40...60%, III разряда — 10...20%. Профессиональный состав определяется характером выполняемых работ.

Инженерно-технический персонал службы составляет 10...25% от числа рабочих (руководитель службы, заместители, мастера должны быть инженерами или техниками).

Служба КИПиА размещается, как правило, в специальном помещении. Помещение должно быть сухим, светлым, не содержать источников выделения пыли, паров, газов и т. п. В нем не должна ощущаться вибрация от работы технологического и транспортного оборудования. Полы в помещении покрывают электроизоляционным материалом.

Общая площадь помещения службы определяется из расчета 4 м<sup>2</sup> на одно рабочее место. Помещение оборудуется рабочими столами, верстаками, стеллажами и шкафами.

Кроме того, в нем устанавливают поверочные и испытательные стенды, размещают необходимое оборудование.

Наряду с естественным освещением рабочих мест в помещении службы КИПиА предусматривается общее и местное электрическое освещение. Общее освещение выполняют лампами накаливания или люминесцентными. Местное освещение нужно осуществлять лампами накаливания от сети напряжением до 36 В. Освещенность на рабочем месте должна быть не менее 150 лк. Температура в помещении должна составлять +20° С, влажность 60...80%.

В помещении должен быть установлен телефон.

Если эксплуатация КИПиА осуществляется силами предприятия с привлечением организации Госкомсельхозтехники, то на предприятии организуется только группа (бригада, звено) эксплуатации КИПиА, которая выполняет текущие работы по техническому обслуживанию КИПиА. Эта группа подчиняется главному или старшему энергетнику предприятия (комплекса). Работы же по среднему и капитальному ремонтам, а также работы по монтажу, демонтажу, наладке и регулировке приборов и средств автоматизации, по организации ведомственных и государственных проверок выполняются службой Госкомсельхозтехники по договорам с хозяйствами (предприятиями).

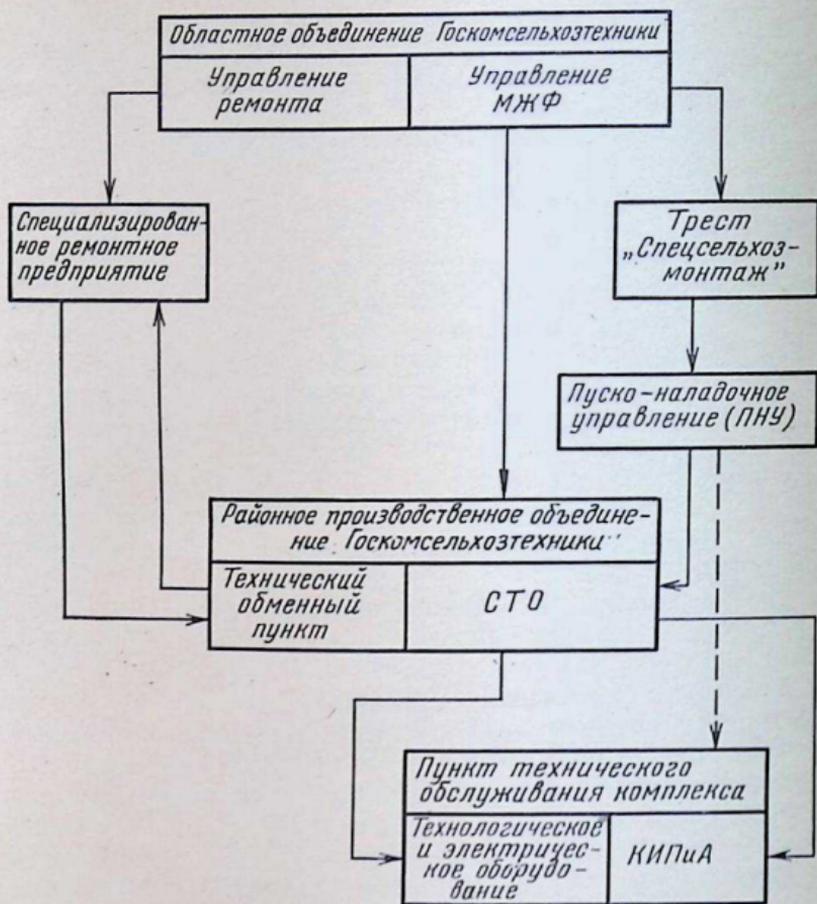


Рис. 61. Схема организации технического обслуживания оборудования в системе Госкомсельхозтехники.

В тех случаях, когда эксплуатация КИПиА целиком осуществляется силами специализированных организаций системы Госкомсельхозтехники, на предприятии организуется пункт технического обслуживания оборудования, в том числе и КИПиА. На пункте технического обслуживания (ТО) выделяется группа (звено) по эксплуатации КИПиА.

Пункты технического обслуживания, как правило, входят в состав пусконаладочных управлений трестов «Спецсельхозмонтажа» системы Госкомсельхозтехники (рис. 61).

### **3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Персонал группы (бригады, звена) эксплуатации должен хорошо представлять особенности автоматизированного технологического процесса и в совершенстве знать принципы действия и устройство всех средств и систем автоматического контроля и управления, применяемых в технологическом процессе. Он должен знать расположение на технологическом оборудовании всех датчиков, чувствительных элементов, отборных устройств, регулирующих органов, их связь с местными первичными приборами, связь местных приборов со вторичными приборами и автоматическими регулирующими устройствами, а также расположение трубных и электрических проводок.

Эксплуатационный персонал должен быть знаком с действующими на предприятии и на каждом участке инструкциями по технике безопасности и противопожарной технике при обслуживании технологического процесса и средств автоматического контроля и управления.

Во время дежурства прибористы обязаны наблюдать за работой элементов и систем контроля и управления, обеспечивать их работоспособное состояние. На протяжении смены необходимо не менее двух-трех раз осмотреть все датчики, приборы на местном щите, регуляторы, регулирующие органы, запорную арматуру, щитовые приборы и коммутацию, поддерживать их в чистоте и порядке. Осматривая регулирующие органы и запорную арматуру, нужно проверять состояние сальников и при необходимости устранять течь.

Во время дежурства персонал проверяет установку стрелок измерительных приборов на нуль. У регистрирующих приборов при проверке нуля и при других видах работ, связанных с перемещением пера, не зависящим от изменения величины измеряемого параметра, необходимо помечать появившиеся кривые краткими надписями, объясняющими причины появления отклонений на диаграмме.

Дежурный персонал обязан проводить мелкий ремонт и наладку приборов и регуляторов в процессе их эксплуатации. Если же выявляются неисправности, кото-

рые дежурный не в состоянии исправить своими силами, он ставит в известность об этом руководителя службы КИПиА или старшего по службе работника. По требованию работников технологической службы дежурный службы КИПиА отключает неисправные приборы и регуляторы, включает в работу исправные и в соответствии с требованиями технологического процесса настраивает приборы, регуляторы и регулирующие органы.

Дежурный персонал должен вести записи в журнале обо всей работе, проделанной за смену, о появившихся неисправностях и о мерах, принятых по их устранению, о необходимости проведения профилактических и ремонтных работ.

Дежурный службы КИПиА должен следить за тем, чтобы технологический персонал правильно пользовался приборами, и не допускать включения неисправных приборов. Он не должен разрешать работы, связанные с поверкой, настройкой и ремонтом приборов, лицам, не имеющим к ним непосредственного отношения по службе.

Наряду с систематическими осмотрами, техническими обслуживанием и текущими ремонтами специалисты по приборам выполняют работы по демонтажу датчиков, приборов и регуляторов, доставке их в лабораторию и мастерскую, а также по установке приборов и регуляторов после их ремонта и поверки. Наиболее ответственные работы выполняются под руководством и наблюдением руководителя группы эксплуатации (бригадира, мастера).

Руководитель группы должен хорошо знать технологический процесс, иметь четкое представление о назначении оборудования и свойствах машин и аппаратов как объектов управления, в совершенстве знать функциональные и принципиальные схемы автоматического контроля, регулирования и сигнализации.

Руководитель группы ежедневно выдает задание на работу каждому работнику группы эксплуатации и проверяет своевременное и качественное выполнение порученных работ, контролирует соблюдение подчиненными правил и инструкций по охране труда и технике безопасности. Подробные правила выполнения работ по эксплуатации конкретных приборов и средств автоматизации излагаются в заводских инструкциях, которые должны строго соблюдаться обслуживающим персоналом.

### 3.3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТОВ КИПиА

Различают три вида ремонтов КИПиА:  
планово-предупредительный (ППР);  
послеосмотровый;  
послеаварийный.

Плановые ремонты КИПиА проводятся периодически, через определенное число отработанных часов или дней эксплуатации в соответствии с графиком планово-предупредительных ремонтов. Периодичность ремонтов (межремонтные сроки) устанавливается на основе опыта эксплуатации приборов и СА в данной отрасли (подотрасли) народного хозяйства.

ППР получили распространение в химической, металлургической, пищевой, легкой и других отраслях промышленности, где условия эксплуатации достаточно хорошо изучены, что позволило установить межосмотровые и межремонтные сроки, а также нормативы на проведение работ по ремонту и эксплуатации КИПиА.

В тех же отраслях народного хозяйства, где недостаточно хорошо изучено влияние воздействия окружающей среды и режимов работы на износ приборов и средств автоматизации, применяют систему послеосмотровых ремонтов. К таким отраслям относятся и сельское хозяйство. На автоматизированных предприятиях сельскохозяйственного производства регулярно проводят периодические осмотры КИПиА, устанавливают состояние приборов и по результатам осмотров назначают сроки и объем проведения ремонтов.

Учитывая, что в сельском хозяйстве имеет место сезонность и периодичность выполнения работ как в растениеводстве, так и в животноводстве (птицеводстве), проведение средних и капитальных ремонтов желательно приурочивать к межсезонным (межпериодным) срокам. Например, ко времени между снятием и посадкой птицы и проведением работ по чистке и дезинфекции помещения. В это время должно приводиться в порядок технологическое оборудование, а также электрооборудование, КИПиА.

В период работы технологического оборудования работоспособность КИПиА следует поддерживать мероприятиями технического текущего обслуживания и ремонта. Причем последний проводится без снятия прибо-

ров и средств автоматизации с мест их установки. Послеосмотровые ремонты — это временная мера. Необходимо изучать условия и опыт эксплуатации, определять для каждого прибора межремонтные сроки с тем, чтобы со временем можно было бы и для сельского хозяйства разрабатывать систему ППР. Если же прибор или автоматическое устройство приходит в негодность в результате аварии, то проводится внеплановый послеаварийный ремонт. При планировании объема работ и численности ремонтного персонала следует учитывать трудоемкость аварийного ремонта в объеме до 8% от общего объема ремонтных работ. На подлежащий ремонту прибор или устройство автоматики составляют дефектную карту, в которой указывают наименование, тип и заводской (инвентарный) номер прибора, пределы измерения, место установки, перечень дефектов и указания по ремонту.

Поступление приборов в ремонт и выдачу их из ремонта регистрируют в журнале учета ремонта. К приборам, направляемым в ремонт, прилагают паспорта, аттестаты и дефектные карты [69].

На месте ремонта прибор осматривают более тщательно, дополняют дефектную карту, уточняют объем и вид ремонта.

Ремонт КИПиА проводят двумя способами: индивидуальным и обезличенным.

Индивидуальный способ применяют для приборов, поступающих в ремонт небольшими партиями. Он заключается в том, что основные детали и узлы после ремонта устанавливают на те приборы, с которых они были сняты.

При обезличенном способе отдельные детали и узлы в приборах могут быть заменены отремонтированными деталями и узлами, ранее снятыми с других приборов, или новыми. Обезличенный способ ремонта приборов является более прогрессивным, так как он позволяет максимально механизировать работы, ускорить их и снизить трудоемкость ремонта.

При организации ремонтных работ ремонтные мастерские должны быть обеспечены запасными деталями и узлами. Норму запаса однотипных деталей или узлов на группу одинаковых приборов можно определить по формуле

$$H = \frac{\kappa n d T_{\text{хр}}}{T_{\text{сл}}}, \quad (117)$$

где  $\kappa$  — коэффициент снижения запаса однородных деталей в группе однотипных приборов;  $n$  — число однотипных приборов;  $d$  — число однородных деталей или узлов в приборе;  $T_{\text{хр}}$  — установленная продолжительность хранения однородных узлов и деталей;  $T_{\text{сл}}$  — срок службы узлов и деталей до очередного ремонта.

Коэффициент  $\kappa$  зависит от числа однотипных приборов:

Число однотипных приборов . . .	До 20	21...40	41...80	81...150	151...350	Свыше 350
Коэффициент $\kappa$ . . .	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Рабочее место слесаря по ремонту КИПиА оборудуется столом или верстаком, в котором должны быть ящики для мелких деталей, запасных частей и инструмента. Стол (верстак) должен быть хорошо освещен, на нем предусматривается местное освещение (не менее 150 лк).

Для питания электрических приборов и средств электроавтоматики необходимо предусмотреть универсальный источник электропитания с разными напряжениями переменного и постоянного тока.

Слесарь-ремонтник должен иметь следующий набор инструмента: настольные тиски, стальную плиту, наждачный круг, ножовку, слесарный молоток, напильники прямоугольного, квадратного, треугольного и круглого (полукруглого) сечений; отвертки разные, разводной гаечный ключ, торцевые ключи, плоскогубцы, круглогубцы, кусачки, пинцеты прямые и кривые, кернер, дрель, электропаяльник с принадлежностями, набор метчиков и плашек, набор сверл и др.

Для окраски металла, дерева, бумаги, стекла, стрелок приборов, мест пайки применяют нитролаки № 951 (бесцветный), № 955 (черный), № 956 (красный), № 959 (зеленый), № 964 (синий) и др.

Корпуса приборов окрашивают масляными эмалями или молотковой эмалью типа ПЭ (серая).

Пропитку и склеивание обмоток и катушек, окраску деталей из гетинакса и текстолита выполняют специальным лаком.

Ремонт отдельных приборов и средств автоматизации осуществляется в соответствии с заводскими инструкциями и пособиями по ремонту приборов и средств автоматизации.

### **3.4. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРОК КИПиА**

От точности и достоверности измерительной информации зависят качество выпускаемой продукции и эффективность работы автоматизированного производства. Поэтому при эксплуатации систем и технических средств автоматизации технологических процессов большое внимание уделяется метрологическому обеспечению необходимой точности измерений приборов и средств автоматизации.

Все мероприятия по обеспечению единства и достоверности измерений в стране разрабатываются, осуществляются и направляются Государственной метрологической службой Государственного комитета СССР по стандартам (Госстандарта).

Метрологическая служба СССР представляет собой сеть государственных и ведомственных метрологических органов. Их деятельность направлена на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений в стране.

Нормативно-правовой основой деятельности Государственной метрологической службы является Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).

Государственная система обеспечения единства измерений представляет собой комплекс регламентированных стандартами взаимоувязанных правил и положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений, результаты которых используются государственными органами, предприятиями и учреждениями СССР.

Государственная метрологическая служба Госстандарта СССР контролирует выполнение правил законодательной метрологии (метрологический надзор). Основные положения метрологического надзора определяет ГОСТ 8. 002.—71.

Одна из основных задач метрологического надзора состоит в поддержании средств измерения в постоянной

готовности к выполнению измерений с требуемой точностью. Метрологический надзор включает в себя государственные испытания и ведомственный надзор. Основные положения системы государственных испытаний регламентируются ГОСТ 8.001.—71 ГСИ. «Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений».

К использованию в народном хозяйстве допускаются только те средства измерений, которые признаны пригодными к применению по результатам государственных или ведомственных поверок, проведенных в соответствии с требованиями метрологического надзора. За надлежащее состояние и исправность средств измерений, правильность проводимых измерений, организацию и качество ведомственного метрологического надзора отвечают руководители предприятий, организаций и учреждений.

Органы ведомственных метрологических служб создаются во всех отраслях народного хозяйства соответствующими министерствами и ведомствами. Основной задачей ведомственных метрологических служб является обеспечение единства и достоверности измерений в каждой отрасли народного хозяйства, на каждом предприятии путем повсеместного строгого соблюдения требований нормативно-технических документов ГСИ; планомерного внедрения наиболее совершенных методик измерений; обеспечивающих выпуск продукции высокого качества; постоянного контроля за состоянием и правильностью применения средств измерения.

Важнейшей формой метрологического надзора является государственная и ведомственная поверка средств измерений, служащая для установления их метрологической исправности (пригодности).

Поверка — это определение метрологическим органом погрешностей средств измерения и установление его пригодности к применению. Поверка средств измерения проводится в строгом соответствии с требованиями государственных стандартов на методы и средства поверки.

Средства измерений подвергаются *первичной, периодической, внеочередной и инспекционной* поверке.

*Первичная* поверка проводится при выпуске средств измерений в обращение после изготовления или ремонта.

*Периодическая* поверка средств измерений осуществляется в процессе эксплуатации и хранения через

определенные межповерочные интервалы времени, установленные из расчета надежного обеспечения исправности средств измерений на период между поверками. Периодические поверки проводятся в соответствии с годовыми календарными графиками поверок.

*Внеочередная* поверка проводится при эксплуатации (или хранении) средств измерений вне зависимости от сроков периодической поверки, когда необходимо удостовериться в исправности средств измерений, а также при повреждении поверительного клейма, пломбы и утрате документов, подтверждающих прохождение средствами измерения периодической поверки, и в других случаях.

Инспекционная поверка осуществляется вышестоящим метрологическим органом для контроля исправности средств измерений, находящихся в эксплуатации, при проведении метрологической ревизии на предприятиях, складах, базах снабжения.

В приложениях к ГОСТ 8.002 — 71 приведен номенклатурный перечень подлежащих обязательной государственной поверке рабочих средств измерений, предназначенных для целей учета, расчетов с потребителями, торговли, охраны здоровья и обеспечения техники безопасности. В этом перечне указаны сроки проведения периодических поверок. Кроме того, в приложениях помещены сведения о периодичности проведения поверок образцовых средств измерений.

Органы государственной метрологической службы имеют право:

контролировать соблюдение предприятиями всех министерств и ведомств требований нормативно-технических документов ГСИ и давать обязательные к выполнению предложения по устранению нарушений этих требований;

запрещать выпуск в обращение средств измерений, типы которых не утверждены Госстандартом СССР;

давать обязательные к исполнению предписания об изъятии из обращения средств измерений, непригодных к применению;

контролировать качество изготовления и ремонта средств измерений и запрещать их выпуск.

Ведомственные метрологические службы обязаны:

повсеместно соблюдать требования нормативно-технических документов ГСИ;

плановмерно внедрять методики измерений, отвечаю-

щие современным требованиям производства, обеспечивающие выпуск продукции высокого качества;

постоянно контролировать состояние и правильность применения средств измерений;

устанавливать оптимальную периодичность проведения поверок средств измерений;

планировать и осуществлять ведомственные поверки средств измерений;

изучать эксплуатационные свойства средств измерений и информировать органы государственной метрологической службы, а также разработчиков и изготовителей о дефектах, обнаруженных в средствах измерений, и о соответствии средств измерений условиям эксплуатации.

Под средством измерения в соответствии с ГОСТ 16263 — 70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения» понимается техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Средства измерений подразделяются на меры и измерительные приборы.

К мерам относятся средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера (гиря — мера массы, измерительный резистор — мера электрического сопротивления, кварцевый генератор — мера частоты электрических колебаний и т. п.).

Под измерительным прибором понимается средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы бывают аналоговые и цифровые, показывающие и регистрирующие (в том числе самопишущие и печатающие), интегрирующие и суммирующие и др.

Предприятия и подразделения предприятий, изготавливающие, ремонтирующие и эксплуатирующие средства измерений, для получения права проведения поверочных работ должны быть зарегистрированы в органах Государственной метрологической службы с оформлением специального удостоверения (форма удостоверения приведена в приложении к ГОСТ 8.002 — 71).

Незарегистрированные предприятия и службы должны представлять приборы и средства измерений на поверку в вышестоящие ведомственные органы метроло-

гической службы или в органы Государственной метрологической службы. Предприятия и подразделения, получившие право поверки по ограниченной номенклатуре приборов, остальные приборы должны представлять на поверку в вышестоящие ведомственные или в государственные органы метрологической службы.

К проведению поверки средств измерений допускаются лица, прошедшие специальное обучение и сдавшие экзамены в учебных заведениях Госстандарта СССР.

В качестве руководящего материала при проведении поверок используют государственные стандарты ГСИ по методам и средствам поверки измерительных устройств, например ГОСТ 8.156—75 «ГСИ. Счетчики холодной воды. Методы и средства поверки», ГОСТ 8.014—72 «ГСИ. Методы и средства поверки фотоэлектрических люксметров» и др.

Кроме того, Госстандарт СССР рекомендует использовать при осуществлении поверок целый ряд методик и методических указаний по поверкам отдельных средств измерений. Некоторые положения являются общими для всех или многих средств измерений, другие специфичны.

Перед поверкой измерительный прибор очищают от пыли, грязи, проверяют исправность механизма, соответствие внешнего вида прибора, шкал и указателей требованиям ГОСТ, установку прибора на нуль, регулировку дополнительного хода и плавность хода указателя.

Основной операцией поверки измерительного прибора является определение его погрешности и вариации показаний. Под погрешностью (абсолютной) измерительного прибора понимают разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины, определяемой по показателям образцового прибора.

Вариацией показаний называется наибольшая разность между повторными показаниями измерительного прибора, соответствующая одному и тому же значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях.

Порядок проведения поверки рассмотрим на примере ряда измерительных средств.

**Поверка приборов для измерения электрических величин.** Амперметры, вольтметры и ваттметры проверяют на соответствие тем техническим условиям и стандартам, по которым они были выпущены. На всех приборах, на-

ходящихся в эксплуатации, должны быть указаны наименование прибора или сокращенное его обозначение, заводской номер, пределы измерения, класс точности, условный знак системы прибора, условное обозначение рода тока, номинальная частота переменного тока.

При выпуске прибора из ремонта, кроме того, указывают год ремонта, наименование и марку ремонтной организации.

При внешнем осмотре прибора убеждаются в отсутствии таких дефектов, которые могут привести к ошибкам в измерении или дальнейшей порче прибора. Прибор признается непригодным к применению, если испорчен корректор, не работает регулировка нулевого положения указателя, разбивка шкалы на деления между основными числовыми отметками выполнена явно не в соответствии с характером всей шкалы.

Сопротивление изоляции должно быть не меньше, а погрешность и вариация приборов не больше значений, указанных в технических условиях или стандартах, по которым они выпущены. Проверяется влияние наклона прибора на указатель при его нахождении на нулевой отметке шкалы. Смещение указателя с нулевой отметки не должно превосходить значения, допускаемого для класса точности прибора (если он отклоняется от указанного на нем рабочего положения в любом направлении на угол, нормируемый соответствующими стандартами).

Погрешности рабочих измерительных приборов классов 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 определяют методом сличения с образцовыми приборами. Разность показаний приборов для одной и той же измеряемой величины представляет собой абсолютную погрешность:  $\Delta A = A_{исп} - A_{обр}$ .

Определять абсолютную погрешность можно двумя способами: измеряемая величина устанавливается по поверяемому прибору, а погрешность отсчитывается по образцовому прибору как отклонение от соответствующей отметки шкалы и, наоборот, измеряемая величина устанавливается по образцовому прибору, а погрешность определяется по показаниям поверяемого прибора.

Первый способ позволяет более точно определять погрешность, так как шкала образцового прибора обычно имеет большее число делений. Преимуществом второго способа является возможность проводить одновременную

поверку нескольких приборов при помощи одного образцового.

В практике измерений чаще пользуются понятием относительной погрешности, которая представляет собой отношение абсолютной погрешности к показанию образцового прибора  $A_{обр}$ , %,

$$\alpha = \frac{A_{исп} - A_{обр}}{A_{обр}} 100\%, \quad (118)$$

Для установления точности прибора пользуются понятием приведенной погрешности, которая представляет собой отношение абсолютной погрешности  $\Delta A$  к верхнему пределу измерений  $A_{max}$ , %,

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{max}} 100\%. \quad (119)$$

Под классом точности понимают предел допустимой основной и дополнительной погрешности, выраженной в процентах.

Класс точности образцовых приборов должен быть по крайней мере в четыре раза выше класса точности испытываемых.

Приборы самопишущие, сигнализирующие и интегрирующие поверяют еще на точность хода диаграммной бумаги, на срабатывание контактов сигнализатора, на точность действия интегратора и др.

**Поверка приборов для измерения давления и разрежения.** Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие и самопишущие поверяют в соответствии с ГОСТ 15614—70 на методы и средства их поверки.

В процессе поверки прибор внешне осматривают, поверяют положение стрелки у нулевой отметки, устанавливают стрелку на нулевую отметку, определяют погрешность и вариацию, находят перестановочное усилие контрольной стрелки, определяют погрешность и вариацию срабатывания сигнального устройства, находят погрешность хода диаграммы, поверяют самопишущее устройство.

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

температура поверяемого прибора и окружающего воздуха должна равняться  $+20^{\circ}\text{C}$  (или значению с допустимым отклонением, указанному в инструкции на прибор);

относительная влажность окружающего воздуха должна быть не более 80% при поверке показывающих и не более  $60 \pm 15\%$  при поверке самопишущих приборов;

вибрация (тряска) не должна вызывать размах колебаний стрелки или пера самописца более допустимого значения, установленного стандартом или техническими условиями на поверяемый прибор.

Для приборов с верхним пределом измерений 0,245 МПа рабочей средой, создающей давление в приборе, должен быть воздух или нейтральный газ; для остальных приборов — жидкость.

Поверку начинают с внешнего осмотра. Приборы, забракованные при внешнем осмотре, дальнейшей поверке не подлежат. Имеющиеся на приборах клейма гасят специальным знаком и владельцу выдают справку с указанием причин непригодности прибора. В паспорте также делают запись о непригодности прибора.

Основную абсолютную погрешность поверяемого прибора определяют по образцовому прибору, класс точности которого должен быть выше класса точности поверяемого прибора по крайней мере в четыре раза.

Давление на приборе повышают плавно и отсчитывают показания не менее чем на пяти отметках, равномерно расположенных на шкале. При давлении, соответствующем верхнему пределу измерений, прибор выдерживают в течение 5 мин. После этого начинают плавно понижать давление, отсчитывая показания на тех же значениях делений шкалы прибора.

Значения основных погрешностей на любой отметке шкалы как при прямом, так и при обратном ходе указателя (стрелки) не должны превышать 80% значения допускаемой основной погрешности прибора.

Вариация показаний прибора определяется как разность его показаний при прямом и обратном ходе стрелки. Вариация также не должна превышать ранее указанных значений для основной погрешности.

При положительных результатах поверки на прибор наносят поверительное клеймо и в паспорте (выпускном аттестате) или документе, его заменяющем, делают запись о его пригодности.

**Поверка приборов для измерения температуры.** Поверка термометров сопротивления (медных и платиновых) включает осмотр, измерение сопротивления изоля-

ции и поверку постоянства градуировочной характеристики.

При внешнем осмотре проверяют состояние защитной арматуры, головки, зажимов и чувствительного элемента термометра. Сопротивление изоляции измеряют мегомметром с рабочим напряжением 500 В.

Электрическое сопротивление термометра измеряют для контрольных точек 0 и 100° С ( $R_0$  и  $R_{100}$ ), вычисляют отношение  $R_{100}/R_0$  и сравнивают полученные значения со значениями градуировочной таблицы.

Погрешность при измерении сопротивления термометра при поверке не должна превышать 0,2% от значения измеряемого сопротивления. Сила измерительного тока должна быть не более 5 мА. Перед испытанием чувствительный элемент термометра помещают в пробирку, которую плотно закрывают ватой.

Сопротивления термометров лучше измерять двойным мостом, в котором контрольный (образцовый) термометр включается как известное сопротивление, а поверяемый — в качестве неизвестного.

Мост уравнивают дважды: первый раз после 30-минутной выдержки контрольного и поверяемого термометров в насыщенных парах кипящей воды; второй раз после 30-минутной выдержки в тающем льду. Глубина погружения термометров в тающий лед и в кипящую воду должна не менее чем на 20 см превышать длину чувствительного элемента.

На термометры, удовлетворяющие всем требованиям инструкции по их поверке, ставят поверочное клеймо.

Автоматические мосты и логометры перед поверкой прогревают в течение 30 мин при включении на номинальное напряжение. К зажимам прибора вместо термометра сопротивления подключают образцовый магазин сопротивлений и дополнительные сопротивления  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$ .

При этом

$$R_{д1} = 0,5R_{вн} - R_{к1},$$

$$R_{д2} = 0,5R_{вн} - R_{к2},$$

где  $R_{вн}$  — внешнее сопротивление линии по паспорту прибора (5 или 15 Ом);  $R_{к1}$ ,  $R_{к2}$  — сопротивления уравнивательных катушек.

Поверку ведут на оцифрованных точках шкалы. Изменяя сопротивление магазина, подводят стрелку на поверяемую отметку и отсчитывают сопротивление мага-

зна. Поверку сначала ведут вверх по шкале, а затем в обратном направлении. По полученным данным магнитоэлектрических сопротивлений и градуировочным значениям термометров сопротивления для поверяемых отметок шкалы определяют основную погрешность и вариацию прибора.

На прибор, удовлетворяющий требованиям, ставят поверочное клеймо.

Для проведения работ по поверке средств измерений в лабораториях служб КИПиА оборудуют специальные установки — поверочные стенды, на которых располагают необходимые приспособления, образцовые приборы, источники питания и т. д. Число и номенклатуру стендов определяют парком приборов, находящихся в эксплуатации, ремонте и на хранении и подлежащих поверке. Наиболее распространены следующие поверочные стенды: стенд для поверки манометров, вакуумметров и мановакуумметров; стенд для поверки дифференциальных манометров и тягонапорометров; стенды для поверки жидкостных термометров, манометрических термометров, термометров сопротивления и термопар; стенды для поверки логометров, пирометрических милливольтметров, автоматических электронных мостов и потенциометров; стенды для поверки электроизмерительных приборов и др.

Поверочные стенды либо изготавливают силами службы КИПиА, либо заказывают на приборостроительных заводах. Наши заводы выпускают ряд типовых поверочных стендов. Среди них установка для поверки термопар и термометров сопротивления УТТ-5, установка для поверки вторичных приборов теплового контроля УВПТ-2А, тахометрическая установка ТХ1-60 для поверки тахогенераторов и др.

Для более детального ознакомления с вопросами организации проведения поверок следует обратиться к специальной литературе [35].

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНИЯ, КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### 4.1. СЕМИНАРСКИЕ ЗАНИЯ. СОДЕРЖАНИЕ СЕМИНАРСКИХ ЗАНИЙ

Цель семинарских занятий по курсу — закрепление теоретического материала, излагаемого на лекциях. На семинарских занятиях должны быть рассмотрены вопросы, разрабатываемые в курсовых работах по данной дисциплине: проектирование и расчет службы эксплуатации КИПиА, проектирование пункта технического обслуживания средств автоматизации на животноводческом комплексе, птицефабрике, тепличном комбинате и т. п., разработка проекта производства монтажных работ на объекте, разработка проекта организации и выполнения пусконаладочных работ, разработка проекта организации и проведения ведомственных проверок приборов и средств автоматизации на объекте, расчет параметров настройки средств и систем автоматизации и др.

Практические занятия не обязательно проводить по всем перечисленным темам курсовых проектов. Можно ограничиться изложением краткого плана-проспекта курсового проекта с указанием перечня рекомендуемой литературы. Остальные практические занятия можно посвятить вопросам проектирования отдельных технических средств и систем автоматизации технологических процессов. Однако при этом тематику и содержание занятий необходимо тщательно скоординировать с содержанием практических занятий по курсу «Автоматизация технологических процессов», который изучается параллельно.

Далее излагается примерное содержание отдельных семинарских занятий по курсу.

Семинарское занятие 1. Разработка вопросов курсовой работы по проектированию службы эксплуатации КИПиА.

1. **Производственная и техническая характеристика автоматизированного объекта.** Необходимо указать местонахождение объекта (хозяйства, комплекса, птицефабрики и т. п.), связь с райцентром и близлежащими городами, климатические условия, основное направление ведения хозяйства (или назначение объекта), производственно-хозяйственные показатели объекта (поголовье животных, птицы, площади, выработка продукции, ее себестоимость, перспективы увеличения производства и др.), сведения о постройках, сооружениях и помещениях. Изменяющиеся показатели приводятся не только по состоянию на момент обследования, но и на перспективу 5...7 лет.

Из технических показателей указывается состав проектируемого объекта, принятая технология производства, краткое описание и основные характеристики технологического оборудования, установок и агрегатов, характеристика производственных помещений и наружных установок с точки зрения пожаро- и взрывоопасности, запыленности, влажности, температуры окружающей среды, наличия агрессивных элементов в окружающей среде, уровня вибрации и т. п. Дается характеристика энергоснабжения производства (электроэнергией, водой, теплом, газом, сжатым воздухом и т. п.).

В заключение этой части приводится характеристика состояния автоматизации технологических процессов и перспективы ее развития на ближайшие 5...7 лет.

2. **Значение и задачи службы КИПиА.** Служба эксплуатации КИПиА на объекте отвечает за бесперебойную работу средств и систем автоматизации. В ее задачи входит:

текущее обслуживание, поверка и ремонт средств автоматизации;

монтажные и наладочные работы в процессе эксплуатации и перед каждым пуском сезонно работающих объектов в сельском хозяйстве;

разработка и осуществление мероприятий по усовершенствованию и развитию автоматизации технологических процессов;

заказ и прием новой контрольно-измерительной аппаратуры, средств автоматизации, материалов и запас-

Таблица 12. Ведомость приборов и средств автоматизации

№ п/п	Наименование приборов	Число	Коэффициент относительной трудоемкости	Общее число приведенных приборов	Периодичность выполнения работ по обслуживанию		
					текущие ремонты	капитальные ремонты	поверка

ных частей, ведение необходимой документации, составление и предъявление при необходимости рекламации заводам-изготовителям, соблюдение правил хранения этих технических средств;

контроль за выполнением работ по автоматизации, монтажу и наладке КИПиА, проводимых специализированными организациями при строительстве или реконструкции объекта.

Задачи технического обслуживания КИПиА таковы: ежедневные технические осмотры и уходы;

периодическое техническое обслуживание и текущие ремонты;

ремонт и поверка приборов и средств автоматизации.

Для определения структуры и размеров службы эксплуатации КИПиА, кроме видов работ, нужно знать их объем, то есть необходимо знать прежде всего парк обслуживаемых приборов и средств автоматизации и затраты труда на выполнение работ по эксплуатации и ремонту КИПиА. Это устанавливается на основании ведомости приборов и средств автоматизации.

3. Ведомость приборов и средств автоматизации, подлежащих обслуживанию, целесообразно составлять по форме таблицы 12.

4. Определение категории службы КИПиА. По общему объему работ, выполняемых КИПиА, ее можно классифицировать по четырем категориям (табл. 13).

Таблица 13. Категории службы КИПиА [78]

Категория службы КИПиА	Число приведенных приборов, шт.	Ориентировочная численность персонала, чел.
I	800...2 500	4...5
II	2 500...5 000	15...30
III	5 000...8 500	30...50
IV	8 500...14 000	50...80

Таблица 14. Значения коэффициента относительной трудоемкости

Средства контроля и автоматизации	Значение коэффициента относительной трудоемкости
Датчики и измерительные элементы, простые	1,0
То же, сложные	3,5
Регуляторы прямого действия, простые	4,0
Регуляторы непрямого действия, сложные	6,0
Вторичные приборы, регуляторы приборного типа	10,0
Устройства контроля качества	15,0
Исполнительные механизмы	3,0
Вспомогательные устройства (редукторы, задатчики, блоки питания)	0,5
Электромагнитные реле, ключи управления, сигнальная арматура, кнопки и т. д.	0,02

Для приведения контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации различных типов к условному (приведенному) прибору по трудоемкости обслуживания используют так называемый коэффициент относительной трудоемкости. Этот коэффициент определен из сопоставления нормативов на техническое обслуживание (табл. 14).

**5. Определение структуры службы КИПиА.** В службе эксплуатации КИПиА как минимум должно быть два отделения (две группы):

отделение (группа) эксплуатации;

отделение (группа) ремонта и поверки.

Но при больших коллективах службы может быть дополнительно выделено:

группа развития автоматизации;

группа поверок и наладок приборов;

группа учета приборов;

складское хозяйство.

**6. Подчиненность службы КИПиА и взаимоотношения с другими службами.** На предприятиях со значительным числом приборов и средств автоматизации организуется самостоятельное структурное подразделение — служба КИПиА.

Административно-хозяйственное и техническое руководство службой осуществляет ее руководитель — инженер (техник) по автоматизации, который подчиняется непосредственно главному инженеру (главному энер-

гетику) комплекса или хозяйства. Если служба КИПиА системы Госкомсельхозтехники, то она подчиняется местному районному производственному объединению Госкомсельхозтехники.

Внутри предприятия (хозяйства) служба КИПиА работает в тесном контакте с электротехнической службой и механической мастерской предприятия, а также со службой энергоснабжения.

Кроме того, служба КИПиА в процессе развития автоматизации принимает участие в проведении разного рода экспериментов, в монтаже и наладке, а также осуществляет ведомственные поверки приборов и средств автоматизации и др.

По вопросам государственной поверки приборов служба контактирует с органами Государственного комитета СССР по стандартам.

**7. Рекомендации по организации ежедневных техуходов и текущих ремонтов.** В данном разделе указывается объем работ, технология и организация их проведения.

**8. Организация и проведение планово-предупредительных работ (ППР).** Нужно указать значение ППР, содержание планов, отдельных работ, периодичность их проведения с учетом условий эксплуатации приборов и средств автоматизации. На основании известной периодичности средних и капитальных ремонтов, а также государственных и ведомственных поверок, составляются графики ППР. При этом учитывается территориальное размещение приборов и средств автоматизации.

В курсовой работе составляются планы ремонтных работ.

**9. Проведение ремонтных работ.** Текущие ремонты выполняет персонал группы эксплуатации без снятия приборов и средств автоматизации с мест их установки. Периодичность текущих ремонтов зависит от вида приборов и от условий их эксплуатации и находится в пределах от 1 до 6 месяцев [78]. Как правило, проведение текущих ремонтов совмещается с проведением периодических технических обслуживаний. Средние (капитальные) ремонты выполняет персонал группы ремонта службы КИПиА со снятием приборов и средств автоматизации с мест их установки. Ремонтуют приборы в специально приспособленном помещении (лаборатории, мастерской).

Периодичность проведения ремонтов приборов определяют по специальным таблицам справочной литературы [78]. Кроме плановых ремонтов, ремонтная группа выполняет и внеплановые, а также аварийные ремонты. Объем этого рода ремонтов по опыту существующих служб КИПиА составляет 8...10% от месячного фонда времени [78].

В курсовой работе дается описание ремонтных работ, оборудования лаборатории, приводится перечень инструмента.

**10. Организация и проведение поверок приборов.** Ведомственные поверки могут проводиться как на самом объекте, так и централизованно органами Государственного комитета СССР по стандартам. Для осуществления ведомственных поверок необходимо иметь разрешение органов Госстандарта, а поверители должны иметь специальное удостоверение.

Ведомственным поверкам подвергаются рабочие приборы и средства автоматизации через установленные сроки. Государственную поверку проходят в основном образцовые приборы, которые служат эталоном при поверке рабочих приборов. Госповерки осуществляются, как правило, в лабораториях местных органов Госстандарта. Периодичность проведения ведомственных и государственных поверок установлены соответствующими нормами [78].

В курсовой работе составляются графики и планы выполнения ведомственных и государственных поверок.

**11. Организация работ по расширению автоматизации производства.** Одной из важных задач службы КИПиА является работа по расширению автоматизации производства. Работа группы автоматизации состоит из трех частей: экспериментально-исследовательской, проектно-конструкторской и внедрения проектов в производство.

Работы по расширению выполняются по плану, который составляется ежегодно. В плане указываются наименование работ, сроки выполнения и ответственные исполнители.

В курсовой работе составляется план работ по расширению автоматизации процессов на объекте (если необходимо).

**12. Рекомендуемая литература [30, 31, 49, 78].**

**Семинарское занятие 2. Разработка вопро-**



сов курсовой работы по проектированию пункта технического обслуживания КИПиА.

1. Производственная и техническая характеристика автоматизированного объекта. Содержание этого раздела такое же, как и при проектировании службы эксплуатации КИПиА.

2. Ведомость приборов и средств автоматизации может иметь разную форму в зависимости от типа пункта технического обслуживания (с ремонтом КИПиА на месте или без ремонта). В ведомости указываются периодичность обслуживания и ремонта приборов и средств автоматизации, нормы времени и разряды работ.

Наиболее полная ведомость имеет форму таблицы 15.

Ведомость приборов и средств автоматизации (СА) для проведения лишь периодического технического обслуживания (без ремонтов, которые выполняются в специализированных мастерских) имеет форму таблицы 16.

Таблица 16. Упрощенная ведомость приборов и СА

Наименование приборов	Тип	Число	Число технических осмотров в году	Нормы времени	Общие затраты времени (объем работ)	Разряд работ
Итого	—	—	—	—	Σ	—

В том числе объем работ по разрядам:

III разряда

IV разряда

V разряда

### 3. Определение численности и квалификации обслуживающего персонала:

бригады (группы) технического обслуживания;

бригады (группы) ремонта КИПиА.

Определение расчетного (эффективного) фонда рабочего времени  $\mathcal{E}$  (продолжительность рабочей недели 41 ч).

Номинальный годовой фонд рабочего времени ( $H$ ) 2070 ч.

Потери времени на отдых, болезни и прочее (11% от номинального фонда) составляют 230 ч.

Эффективный фонд рабочего времени 1840 ч.

Расчет штатов группы технического обслуживания (эксплуатационной группы). Явочная численность группы

$$A_{я.э} = \frac{\sum N_i t_i p_i K_э}{H}, \quad (120)$$

где  $N_i$  — число приборов данного типа, подлежащих техническому обслуживанию;  $t_i$  — норма времени на обслуживание;  $p_i$  — число обслуживаний в году;  $K_э$  — коэффициент запаса ( $K_э=1,1$ ), учитывающий непредвиденные работы, не предусмотренные нормами времени.

Списочная численность персонала определяется с учетом замены работников, находящихся в отпусках, отсутствующих по болезни и т. д.:

$$A_{сп.э} = A_{я.э} K_c, \quad (121)$$

где  $K_c = \frac{H}{э} = 1,13$ .

Аналогично определяется численность ремонтно-поверочной группы, только подставляются затраты времени на ремонт и проверки

$$A_{я.р} = \frac{T_{рп} K_э}{H}; \quad A_{сп.р} = A_{я.р} K_c.$$

По этим формулам можно определить и квалификацию рабочих по разрядам.

Если определить объем работы по разрядам трудно, то приближенно считают, что рабочие VI разряда составляют 10...15%, V разряда — 25...30%, IV разряда — 40...60%, III разряда — 10...20%.

Число ИТР службы КИПиА определяется в зависимости от численности слесарей-наладчиков. Оно составляет от 10% для больших служб до 25% для малых служб.

**4. Расчет площадей и планировка помещений пункта.** Производственная площадь для группы (бригады) технического обслуживания должна составлять 10...15 м<sup>2</sup>.

Для ремонтно-поверочной группы (бригады) производственную площадь определяют из расчета 5 м<sup>2</sup> на одного работающего и 3,5...4 м<sup>2</sup> на один стандартный стенд, установку.

К этой площади прибавляют площадь, занимаемую вспомогательными службами (кладовыми, бытовыми комнатами и т. п.).

К помещениям службы КИПиА предъявляют следующие требования:

помещения должны быть сухими, теплыми, защищенными от проникания паров агрессивных газов и пыли; температура в помещениях должна быть 18...20° С, относительная влажность 60...80%, отопление водяное; освещенность должна быть равномерной (100...150 лк);

напряжение в помещении должно подаваться трехфазного переменного тока 380, 220 В и однофазного 127, 36 и 12 В;

в помещении необходимо оборудовать умывальники с горячей и холодной водой, канализацию.

В курсовой работе должно быть показано, как обеспечиваются необходимые условия.

**5. Техническое оснащение службы КИПиА.** Здесь должно быть указано и описано:

стационарное и переносное оборудование и приборы группы технического обслуживания (перечень и количество);

оборудование рабочих мест ремонтных групп;

необходимые стенды для поверки и испытаний приборов и СА (наименование, размещение, электрические схемы, описание работы и т. п.);

приборы и инструмент, находящийся в распоряжении ремонтной группы.

Пункт технического обслуживания КИПиА может находиться в составе пункта технического обслуживания оборудования на комплексе, а также при ремонтно-механических мастерских.

**6. Охрана труда и техника безопасности на пункте.**

Для обеспечения безопасных условий труда должны быть указаны проходы, расстояния от оборудования до стен; противопожарные меры; меры производственной санитарии; меры электробезопасности; защитные средства против поражения электрическим током и др.

Рекомендуемая литература (см. семинарское занятие № 1).

**Семинарское занятие 3. Разработка вопросов курсовой работы по проекту производства монтажных работ.**

**1. Производственная и техническая характеристика объекта.** Содержание этого раздела примерно такое же, как в аналогичном разделе курсовой работы по проектированию службы эксплуатации КИПиА.

**2. Общая характеристика проектной документации по автоматизации объекта. Замечания к проекту. Рекламации к проектной организации.** Если на объекте в настоящее время монтажные работы не ведутся, но сохранился проект автоматизации, то необходимо изучить и оценить его качество с точки зрения, правильно ли выполнены монтажные работы. Следует отметить недостатки и ошибки проекта и сформулировать рекламации к проектной организации.

Если проект автоматизации на объекте не сохранился, то необходимо выяснить, какая проектная организация его выполняла с тем, чтобы после возвращения с практики перед началом выполнения курсовой работы познакомиться с этим проектом, проанализировать его и сделать нужные выводы и заключения.

Если нет никакой возможности ознакомиться с проектом, то необходимо тщательно изучить фактическую реализацию проекта автоматизации непосредственно на объекте и оценить качество проекта по его реализации.

При оценке качества проекта обращают внимание на:  
ВСН 281—76

соответствие проекта требованиям Минприбор ,  
содержащим указания по проектированию автоматизации технологических процессов, а также требованиям СН III-34—74;

сметы, составленные по рабочим чертежам или технорабочему проекту (сметы должны соответствовать фактическому объему работ).

Если в проектах обнаружены недочеты, то группа ИТР монтажного подразделения составляет дефектную ведомость или акт рекламации, которые предъявляются проектной организации для исправления.

**3. Составление ведомости объемов работы с указанием стоимости монтажных работ и затрат времени по каждому виду работ.** Ведомости объемов работ необходимы для определения численного состава и квалификации монтажных бригад, а также для составления графика выполнения монтажных работ (табл. 17).

Ведомости объемов работ составляют по сметам рабочих чертежей или технорабочего проекта, а также по

Таблица 17. Ведомость объема монтажных работ

№ п/п	Наименование и тип оборудования КИП и СА или видов монтажных работ	Единица измерения		Стоимость монтажа, руб.		Затраты, руб., на					Затраты труда, ч	Профессия и квалификация	
		Число		стоимость монтажа единицы оборудования	общая стоимость монтажа	основную зарплату	зарплату по эксплуатации машин	эксплуатацию машин	материалы	общие затраты			
I. Заготовительные работы													
1.	Изготовление металлоконструкций												
2.													
II. Монтажные работы													
10.													
11.													

Итого по заготовительным работам

Итого по монтажным работам

ценникам на монтаж оборудования, приборов и средств автоматизации и по сборникам укрупненных норм на сооружение и монтаж отдельных объектов, установок и агрегатов сельскохозяйственного производства.

В некоторых монографиях и учебных пособиях по монтажным работам встречаются другие формы ведомостей (табл. 18).

Зарплата определяется по затратам времени (ч), часовой зарплате рабочего I разряда данной профессии (руб.) и тарифному коэффициенту, учитывающему квалификацию (разряд) работы:

$$Z = Z_{\text{ч}} SK_{\text{т}}, \quad (122)$$

где  $Z_{\text{ч}}$  — часовая зарплата рабочего I разряда, руб.;  $S$  — затраты времени, ч;  $K_{\text{т}}$  — тарифный коэффициент.

Таблица 18. Ведомость объема монтажных работ

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Число	Профессия	Квалификация	Трудоемкость, ч	Зарплата	Стоимость монтажа, тыс. руб.		Номер чертежа
								материалов и оборудования	общая	

I. Заготовительные работы

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

II. Монтажные работы

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Итого по заготовительным работам

Итого по монтажным работам

Всего

4. Спецификация на приборы, аппаратуру, исполнительные механизмы и регулирующие устройства, подлежащие монтажу, приведена в таблице 19.

Таблица 19. Спецификация на приборы и СА

№ п/п	Наименование и тип (марка) прибора и СА	Число	Место установки	Наличие приборов и их местонахождение	Примечание

Эту таблицу заполняют по материалам проекта и по данным заказчика о наличии приборов и СА.

5. Ведомость приборов, подлежащих предмонтажным испытаниям, составляют по форме таблицы 20.

Данную таблицу заполняют по заводским инструкциям на приборы и средства автоматизации и по справочным пособиям.

6. Ведомость монтажного оборудования и приспособлений для проведения монтажных работ составляют по форме таблицы 21.

Таблица 20. Ведомость приборов, подлежащих испытаниям

№ п/п	Наименование и тип (марка) приборов и СА	Режим испытаний	Место проведения и оборудование для испытаний	Примечание

Таблица 21. Ведомость монтажного оборудования

№ п/п	Наименование монтажного оборудования	Потребное количество монтажного оборудования	Наличие монтажного оборудования	Необходимо изготовить или приобрести	Наличие чертежей на изготовленное оборудование

Эту ведомость составляют на основе имеющихся инструкций и рекомендаций по производству монтажных работ с максимальным использованием индустриальных методов.

**7. Календарный план выполнения монтажных работ и сетевой график монтажа.** Сетевой график выполнения монтажных работ (рис. 39) строят для сложных монтажных работ, требующих строгой увязки последовательности выполнения отдельных видов работ и сроков их окончания.

Сетевой график представляет собой модель организации и проведения монтажных работ.

Основными элементами сетевого графика являются «событие» и «работа».

«Событие» — это факт начала или окончания работы. «Работа» — это производственный процесс, требующий затрат времени, труда и ресурсов.

В сетевом графике выделяется «критический путь» — это наибольшая продолжительность выполнения последовательно выполняемых работ. Он совпадает с продолжительностью строительно-монтажных работ. Уменьшив продолжительность работ, лежащих на критическом пути, можно сократить сроки монтажа и ускорить ввод объекта в действие.

**8. Расчет численности монтажных звеньев и бригад** выполняют по объему и продолжительности монтажных





исходят из объема работ по разрядам и эффективного годового фонда рабочего времени — 1840 ч (см. семинарское занятие 2). При этом принимается во внимание коэффициент запаса рабочего времени, учитывающий непредвиденные работы.

**5. Оснащение пусконаладочных групп (бригад).** В этом разделе рассчитывают необходимое число стационарных и переносных установок, приборов и инструментов, необходимых для выполнения пусконаладочных работ. Описывают нестандартные установки и наладочные стенды, применяемые при наладке и регулировке приборов и СА, а также помещение для размещения стационарного оборудования пусконаладочных групп (бригад).

**6. Методы наладочных работ.** Описывают методы и технические средства, применяемые при выполнении наладочных и регулировочных работ разных групп приборов и средств автоматизации.

**7. Методы расчета параметров настройки промышленных регуляторов и их реализация.** Описываются и приводятся характеристики промышленных регуляторов, а также описываются динамические характеристики и параметры объектов управления. По параметрам и характеристикам объекта рассчитывают параметры настройки регуляторов [45, 46]. Затем указывается, как осуществляется наладка (настройка) регуляторов, какие при этом применяются стенды и приборы, какие необходимы источники питания.

**8. Техника безопасности при проведении пусконаладочных работ.** В заключительной части курсовой работы подробно излагают вопросы охраны труда и техники безопасности при проведении пусконаладочных работ.

Рекомендуемая литература [30, 43, 44, 45, 46].

## 4.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ\*

**Лабораторная работа 1. Наладка полупроводникового терморегулятора ПТР-2. Цель работы.** Изучить принцип действия полупроводникового терморегулятора, а также работы по его наладке и переналадке.

**Методические указания.** Полупроводниковый регу-

---

\* В разработке лабораторных работ принимал участие канд. техн. наук Лысенко В. Ф.

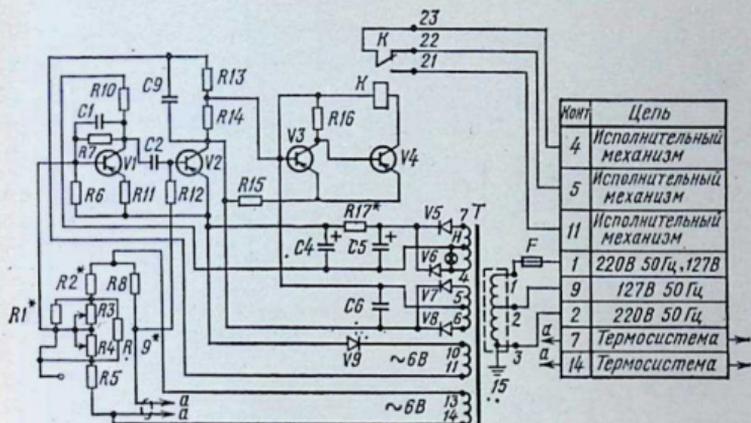


Рис. 62. Принципиальная электрическая схема ПТР-2.

лятор температуры — двухпозиционный ПТР-2, предназначенный для автоматического регулирования температуры жидких и газообразных сред в установках кондиционирования и холодильной технике.

Приборы ПТР позволяют регулировать температуру сред в пределах от минус 30 до плюс 100° С (в зависимости от модификации прибора). В частности, для регулирования температуры воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях используют ПТР-2-04 (диапазон регулирования от +5 до +35° С).

Конструктивно прибор ПТР-2 выполнен в пластмассовом корпусе, в котором размещена монтажная панель. На монтажной панели расположены: блок питания, реле, плата усилителя, плата выпрямителя, блок настройки. На лицевой стороне панели находятся: ручка шкалы температуры и зоны нечувствительности, предохранитель. В нижней части корпуса расположены разъем для подключения питания прибора, датчика, исполнительного механизма и клемма «Земля».

Функционально прибор ПТР-2 состоит из измерительного моста, усилителя, фазочувствительного каскада, переключающего устройства и блока питания. Принципиальная электрическая схема ПТР-2 показана на рисунке 62.

Чувствительным элементом прибора является терморезистор, включенный в плечо измерительного моста. Мост реагирует на отклонение температуры регулируемого объекта от заданной температуры по шкале при-

исходят из объема работ по разрядам и эффективного годового фонда рабочего времени — 1840 ч (см. семинарское занятие 2). При этом принимается во внимание коэффициент запаса рабочего времени, учитывающий непредвиденные работы.

**5. Оснащение пусконаладочных групп (бригад).** В этом разделе рассчитывают потребное число стационарных и переносных установок, приборов и инструментов, необходимых для выполнения пусконаладочных работ. Описывают нестандартные установки и наладочные стенды, применяемые при наладке и регулировке приборов и СА, а также помещение для размещения стационарного оборудования пусконаладочных групп (бригад).

**6. Методы наладочных работ.** Описывают методы и технические средства, применяемые при выполнении наладочных и регулировочных работ разных групп приборов и средств автоматизации.

**7. Методы расчета параметров настройки промышленных регуляторов и их реализация.** Описываются и приводятся характеристики промышленных регуляторов, а также описываются динамические характеристики и параметры объектов управления. По параметрам и характеристикам объекта рассчитывают параметры настройки регуляторов [45, 46]. Затем указывается, как осуществляется наладка (настройка) регуляторов, какие при этом применяются стенды и приборы, какие необходимы источники питания.

**8. Техника безопасности при проведении пусконаладочных работ.** В заключительной части курсовой работы подробно излагают вопросы охраны труда и техники безопасности при проведении пусконаладочных работ.

Рекомендуемая литература [30, 43, 44, 45, 46].

## 4.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ\*

**Лабораторная работа 1. Наладка полупроводникового терморегулятора ПТР-2. Цель работы.** Изучить принцип действия полупроводникового терморегулятора, а также работы по его наладке и переналадке.

**Методические указания.** Полупроводниковый регу-

---

\* В разработке лабораторных работ принимал участие канд. техн. наук Лысенко В. Ф.

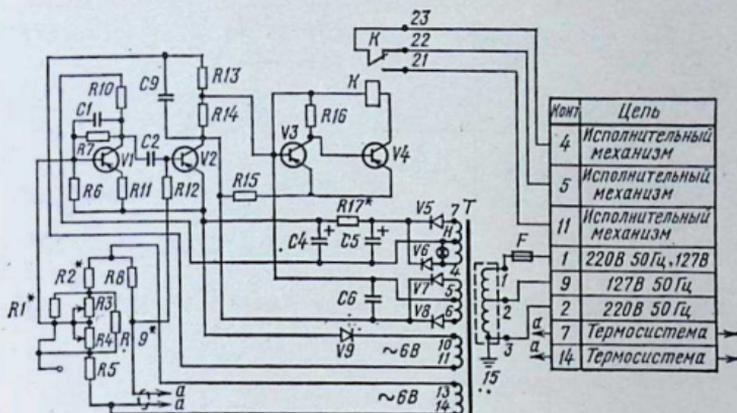


Рис. 62. Принципиальная электрическая схема ПТР-2.

лятор температуры — двухпозиционный ПТР-2, предназначенный для автоматического регулирования температуры жидких и газообразных сред в установках кондиционирования и холодильной технике.

Приборы ПТР позволяют регулировать температуру сред в пределах от минус 30 до плюс 100°С (в зависимости от модификации прибора). В частности, для регулирования температуры воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях используют ПТР-2-04 (диапазон регулирования от +5 до +35°С).

Конструктивно прибор ПТР-2 выполнен в пластмассовом корпусе, в котором размещена монтажная панель. На монтажной панели расположены: блок питания, реле, плата усилителя, плата выпрямителя, блок настройки. На лицевой стороне панели находятся: ручка шкалы температуры и зоны нечувствительности, предохранитель. В нижней части корпуса расположены разъем для подключения питания прибора, датчика, исполнительного механизма и клемма «Земля».

Функционально прибор ПТР-2 состоит из измерительного моста, усилителя, фазочувствительного каскада, переключающего устройства и блока питания. Принципиальная электрическая схема ПТР-2 показана на рисунке 62.

Чувствительным элементом прибора является терморезистор, включенный в плечо измерительного моста. Мост реагирует на отклонение температуры регулируемого объекта от заданной температуры по шкале при-

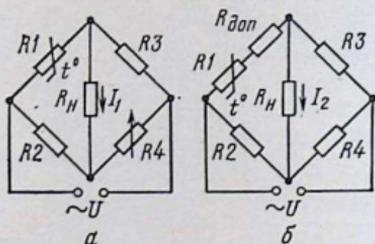


Рис. 63. Схема измерительного моста ПТР-2:

*а* — без дополнительного резистора;  
*б* — с дополнительным резистором.

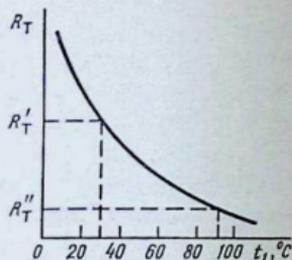


Рис. 64. Статическая характеристика ММТ-1.

бора. При отклонении температуры объекта от заданной мост разбалансируется и сигнал разбаланса поступает на вход усилителя, усиливается и сравнивается в фазочувствительном каскаде с сигналом постоянного тока. Если фаза сигнала разбаланса совпадает с сигналом постоянного тока, то открывается транзистор  $V2$ , в результате чего срабатывает переключающее устройство, выполненное по схеме триггера, нагрузкой которого являются электромагнитное реле, управляющее исполнительным механизмом. При равенстве температуры регулируемого объекта температуре, установленной по шкале прибора, схема переходит в исходное состояние\*.

При подключении прибора необходимо следить, чтобы номер прибора совпадал с номером датчика. Ошкаливание прибора проводится по градуировочной таблице датчика, индивидуального для каждого прибора, так как датчики не взаимозаменяемы.

В качестве соединительной линии между прибором и датчиком можно использовать любой двухжильный экранированный провод или провод, проложенный в заземленной трубе, выполняющий роль экрана. Сопротивление каждой жилы провода не должно превышать 5 Ом.

В процессе эксплуатации необходимо соблюдать следующие условия: прибор должен быть заземлен; провода питания прибора и исполнительного механизма нужно подключать только в обесточенном состоянии.

Как уже упоминалось, основной модификацией полупроводникового двухпозиционного терморегулятора, пос-

\* Более подробно работа полупроводникового терморегулятора ПТР-2 описана в заводской инструкции к прибору.

тавляемого для нужд сельского хозяйства, является ПТР-2-04. Но иногда в сельскохозяйственных объектах автоматизации требуется регулировать температуры, на которые ПТР-2-04 не рассчитан (в частности, табакосушилки, в которых температура изменяется в пределах 25...80°C). Для расширения диапазона регулирования ПТР-2-04 можно использовать дополнительные резисторы, включаемые последовательно с терморезистором регулятора, что позволяет в широких пределах изменить уставку прибора. Так, согласно рисунку 63, сила тока в диагонали моста

$$I_1 = U \frac{\frac{R_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_3}}{R_{\text{н}} + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}}, \quad (123)$$

где  $R_{\text{н}}$  — сопротивление нагрузки;  $R_1$  — сопротивление терморезистора;  $R_2, R_3, R_4$  — сопротивления плеч моста.

При включении дополнительного резистора  $R_{\text{доп}}$  последовательно с терморезистором  $R_1$  эквивалентное сопротивление

$$R_0 = R_1 + R_{\text{доп}}. \quad (124)$$

Если в противоположном плече моста изменить сопротивление резистора  $R_4$  на  $R_4'$ , то ток в диагонали моста

$$I_2 = U \frac{\frac{R_2}{R_2 + R_4'} - \frac{R_0}{R_0 + R_3}}{R_{\text{н}} + \frac{R_0 R_3}{R_0 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}}. \quad (125)$$

Поскольку в одном из плеч моста сопротивление увеличивается за счет включения дополнительного резистора, то в противоположном плече следует уменьшить сопротивление резистора. При этом путем соответствующего выбора значений сопротивления можно добиться выполнения следующего условия:

$$\frac{\frac{R_2}{R_2 + R_4'} - \frac{R_0}{R_0 + R_3}}{R_{\text{н}} + \frac{R_0 R_3}{R_0 + R_3} + \frac{R_2 R_4'}{R_2 + R_4'}} > \frac{\frac{R_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_3}}{R_{\text{н}} + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}}, \quad (126)$$

согласно которому ток в измерительной диагонали моста увеличивается, то есть расширяется диапазон регулирования.

**Программа работы.** 1. Изучить принцип действия и конструкцию полупроводникового терморегулятора ПТР-2-04.

2. Снять статическую характеристику (рис. 64) полупроводникового терморезистора  $R_T = f(t^\circ\text{C})$ . Для этого поместить терморезистор в нагреваемую среду и фиксировать омметром его сопротивление через каждые  $10^\circ$  до  $100^\circ\text{C}$ .

3. Проверить регулятор ПТР-2-04. Для этого необходимо поместить его датчик в нагреваемую среду и включить прибор в сеть по схеме, показанной на рисунке 65. Затем установить на регуляторе температуру срабатывания и зафиксировать ее по ртутному термометру. Погрешность регулятора определить для нескольких значений температур по формуле

$$\Delta = \frac{t_1 - t_2}{t_k - t_n} 100\%, \quad (127)$$

где  $t_1$  — температура срабатывания по контрольному термометру;  $t_2$  — температура по шкале регулятора;  $t_k, t_n$  — конечная и начальная температуры регулирования по шкале прибора.

5. Расширить шкалу регулирования регулятора ПТР-2-04 до  $80^\circ\text{C}$ . Для этого по статической характеристике  $R_T = f(t^\circ\text{C})$  найти сопротивление терморезистора

при определенной температуре, например при  $25^\circ\text{C}$  и при  $80^\circ\text{C}$ . Определить их разность:  $\Delta R_T = R'_T - R''_T$ . Ввести дополнительное сопро-

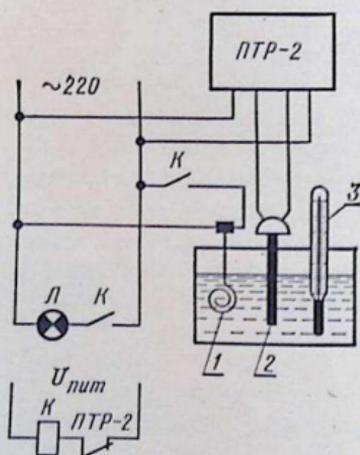


Рис. 65. Схема включения для проверки ПТР-2:

1 — нагревательный элемент; 2 — терморезистор ММТ-1; 3 — контрольный термометр.

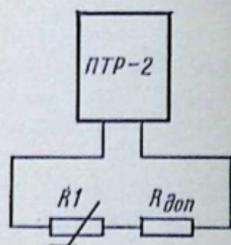


Рис. 66. Схема подключения дополнительного сопротивления к регулятору.

тивление последовательно с воспринимающим элементом при подключении элемента к регулятору (рис. 66) и проверить экспериментально, при какой температуре прибор работает. Для этого необходимо на шкале регулятора установить температуру  $25^{\circ}\text{C}$  и провести опыт по пункту 3.

6. Составить отчет, в котором привести принципиальную схему регулятора ПТР-2-04, его техническую характеристику, экспериментальные данные и схемы, используемые в ходе выполнения лабораторной работы.

**Рекомендуемая литература** [9, 17, 30, 37, 45, 46, 68].

**Лабораторная работа 2. Наладка логометра пирометрического типа ЛР-64-02 с двухпозиционным регулирующим устройством.**

**Цель работы.** Ознакомиться с работами по монтажу и наладке логометра типа ЛР-64-02, а также изучить принцип его действия.

**Методические указания.** Логометр типа ЛР-64-02 (пирометрический щитовой профильный прибор магнитоэлектрической системы класса 1,5 с внутрирамочной магнитной системой) предназначен для измерения и двухпозиционного регулирования температуры объекта при температуре окружающего воздуха от  $10$  до  $35^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности до  $80\%$ . Технические данные ЛР-64-02 приводятся в заводской инструкции на прибор. Принципиальная электрическая схема логометра ЛР-64-02 показана на рисунке 67.

Прибор состоит из двух основных блоков: блока измерения и блока регулирования. Для измерительного блока воспринимающим элементом является термометр сопротивления ТСМ-6097 (градунровка 23), а для регулирующего — высокочастотный автогенератор с индуктивными обмотками на ферритовых стержнях. Кроме того, регулирующая часть прибора включает в себе также и усилитель на трех транзисторах  $V2...V4$ .

В коллекторную цепь выходного транзистора  $V4$  включена обмотка управляющего реле, контакты которого используются для управления объектом регулирования.

Принцип действия регулирующей части основан на срыве и восстановлении генерации при вводе и выводе экрана, жестко укрепленного на стрелке измерительной части прибора, в зазор между контурными катушками автогенератора  $L1$  и  $L2$ .

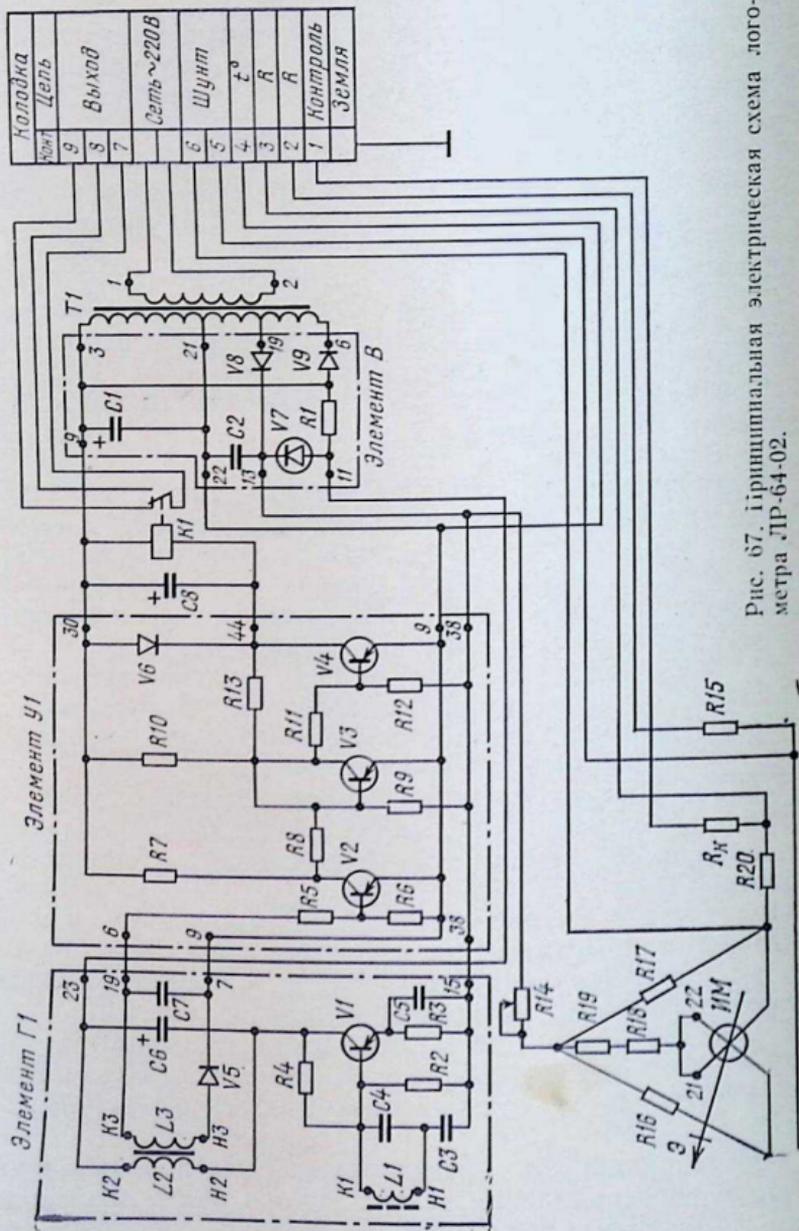


Рис. 67. Принципиальная электрическая схема логометра ЛР-64-02.

Чтобы обеспечить заданную температуру на объекте, указатель регулирующего устройства устанавливается на соответствующую отметку шкалы. Датчик (автогенератор), жестко связанный с указателем, занимает положение, обусловленное местонахождением указателя. При температуре, ниже заданной указателем, автогенератор генерирует высокочастотные колебания (экран находится вне катушек  $L1$  и  $L2$ ), которые после выпрямителя поступают на усилитель постоянного тока (транзистор  $V4$  открыт). Ток через обмотку управляющего реле увеличивается, и оно срабатывает. Контакты реле соединены с цепью промежуточного реле или непосредственно с управляемым объектом.

При достижении на объекте заданной температуры стрелка прибора установится против указателя датчика; экран, размещенный на стрелке измерителя, входит в зазор между контурными катушками автогенератора  $L1$  и  $L2$ , генерация срывается, транзистор  $V4$  закрывается, реле обесточивается и его контакты замыкаются (при температуре ниже заданной указателем датчика выходные контакты реле регулирующего устройства замкнуты, при температуре выше заданного значения — разомкнуты). При понижении температуры весь процесс регулирования повторяется в обратном порядке.

Исполнительное реле воздействует на объект, температуру которого регулируют путем включения дополнительных элементов (при замкнутых контактах реле) или путем их отключения (при разомкнутых контактах реле). Таким образом, двухпозиционное регулирующее устройство работает по принципу «включено—отключено».

Конструктивно логометр выполнен в плоскопрофильном корпусе и предназначен для утопленного монтажа. Приводной механизм состоит из винтовой пары, рычага и кронштейна. На кронштейне установлен экран и жестко закреплен указатель в виде стрелки, выведенной на шкалу прибора. Для перемещения кронштейна на лицевую сторону выведен стержень со шлицем. На экране укреплен упор, который ограничивает перемещение стрелки прибора вправо так, что при достижении стрелкой этого упора состояние электронного датчика остается неизменным. При транспортировке прибора этот упор выполняет роль арретира подвижной части, для чего необходимо его вместе с указателем датчика перемес-

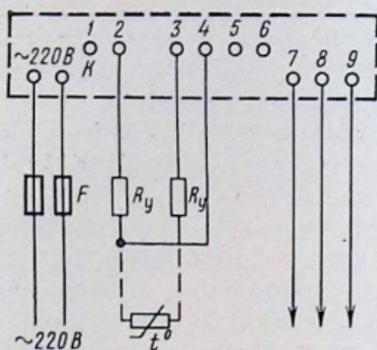


Рис. 68. Схема внешних соединений логометра при двухпроводном включении термометра сопротивления.

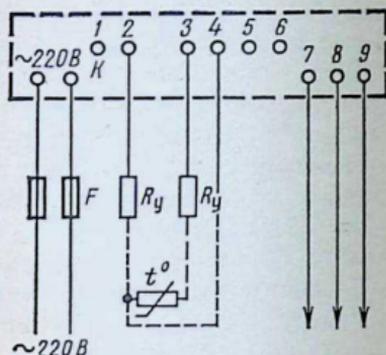


Рис. 69. Схема внешних соединений логометра при трехпроводном включении термометра сопротивления.

тить в начало шкалы. На стержне укреплен легкий флажок (экран), который при перемещении стрелки проходит между катушками датчика. Шкала прибора градуирована в градусах Цельсия.

Логометр ЛР-64-02 может быть использован в трехпроводной и двухпроводной схемах включения. При двухпроводной схеме включения (рис. 68) сопротивление обоих проводов, соединяющих термометр с логометром, должно быть равно половине сопротивления линии, указанной на циферблате логометра (например, 5 Ом). Необходимое значение сопротивления линии в этом случае достигается путем уменьшения сопротивления  $R_y$  катушки, подключаемой к зажиму 3 логометра. Сопротивление катушки, подключаемой к зажиму 2, должно быть оставлено без изменения.

При трехпроводной схеме включения (рис. 69) каждый из проводов линии, соединяющих термометр с логометром, вместе со своей уравнивающей катушкой должен иметь сопротивление, равное половине сопротивления линии, указанного на циферблате логометра. Необходимое значение сопротивления каждого из проводов линии достигается путем сматывания части провода с соответствующей уравнивающей катушки ( $R_y$ )\*.

Правильность подгонки линии необходимо контроли-

\* Сопротивление катушек, прилагаемых к логометру, равно половине сопротивления линии, указанного на циферблате логометра.

ровать путем измерения ее сопротивления мостом постоянного тока класса не ниже 0,05.

**Программа работы.** 1. Изучить принцип действия и конструкцию логометра типа ЛР-64-02 с двухпозиционным регулирующим устройством.

2. Для трехпроводной системы включения (рис. 69) подобрать  $R_{y1}$  и  $R_{y2}$  таким образом, чтобы выполнялось условие

$$R_{y1} + R_{л1} = R_{y2} + R_{л2} = 0,5R_{вн}.$$

Подгонку уравнивательных сопротивлений  $R_{y1}$  и  $R_{y2}$  проводить при помощи одинарного моста постоянного тока путем удаления части манганинового провода, так как сопротивление катушек, выпущенных заводом-изготовителем, равно  $0,5 R_{вн}$  ( $R_{вн}$  — внешнее сопротивление, подключаемое к прибору).

3. Проверить, соответствует ли градуировка логометра градуировке термометра сопротивления, работающего в комплекте с логометром, а также обратить внимание на отклонение стрелки логометра за начальную отметку шкалы при включенном питании.

4. Проверить правильность показаний логометра. Для этого необходимо сначала его разарретировать (снять перемычку с зажимов 5 и 6 на колодке логометра) и отвести указатель задатчика на конец шкалы (вправо). Затем до включения источника питания замкнуть провода линии на зажимах термометра сопротивления, и провод, подключенный к зажиму 3 логометра, перенести на зажим 1 (К). Включить питание. При этом стрелка должна установиться на красной контрольной отметке с погрешностью не более  $\pm 2$  мм.

5. Определить погрешность логометра. Для этого к прибору вместо термометра сопротивления подключают магазин сопротивлений, стрелку прибора подводят к проверяемой отметке шкалы слева и справа и каждый раз отсчитывают сопротивление, полученное на магазине сопротивлений.

Аналогично снимают показания на всех оцифрованных отметках шкалы.

Основную погрешность вычисляют по формуле

$$j = \frac{R_{гр} - R}{R_k - R_n} 100\%, \quad (128)$$

где  $R_{гр}$  — сопротивление, соответствующее проверяемой отметке по градуировочной таблице (табл. 24);  $R$  — сопротивление, под-

ключенное к зажимам логометра вместо термометра сопротивление для установки стрелки логометра на проверяемую отметку;  $R_k$  — сопротивление, соответствующее конечной отметке шкалы по ГОСТ 6651—59;  $R_n$  — сопротивление, соответствующее начальной отметке шкалы по ГОСТ 6651—59.

Таблица 24. Градуировочная таблица для ТСМ-6097 (гр. 23) ГОСТ 6651—59

$t, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{ГР}}, \text{Ом}$	$t, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{ГР}}, \text{Ом}$	$t, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{ГР}}, \text{Ом}$
-50	41,71	30	59,77	110	77,84
-40	43,97	40	62,03	120	80,09
-30	46,23	50	64,29	130	82,35
-20	48,48	60	66,55	140	84,61
-10	50,74	70	68,81	150	86,87
0	53,00	80	71,06	160	89,13
10	55,26	90	73,32	170	91,38
20	57,52	100	75,58	180	93,64

Погрешность не должна превышать  $\pm 1,5\%$  от рабочего диапазона измерения.

6. Проверить погрешность срабатывания регулирующего устройства. Для этого к зажимам «выход» последовательно с внешним источником питания необходимо подключить сигнальную лампу.

Указатель регулирующего устройства установить на проверяемую отметку шкалы и плавно изменять сопротивление до тех пор, пока не погаснет сигнальная лампа (то есть до срабатывания контактов). При этом измерить действительное значение сопротивления, соответствующее моменту срабатывания. Показания снять трижды как при плавном увеличении, так и при уменьшении сопротивления. Среднее из трех полученных показаний сравнить с номинальным значением, соответствующим проверяемой отметке шкалы (ГОСТ 6651—78).

Погрешность регулирующего устройства

$$j_1 = \frac{R - R_{\text{ср1}}}{R_k - R_n} 100\%; \quad (129a)$$

$$j_2 = \frac{R - R_{\text{ср2}}}{R_k - R_n} 100\%; \quad (129б)$$

где  $R$  — сопротивление, соответствующее проверяемой отметке по ГОСТ 6651—59;  $R_{\text{ср1}}$ ,  $R_{\text{ср2}}$  — сопротивление контрольного магазина в момент срабатывания контактов регулирующего устройства при подходе к проверяемой отметке слева и справа;  $R_k$ ,  $R_n$  — значения те же, что в формуле (128).

Погрешность регулирующего устройства не должна превышать 1,5 абсолютного значения допускаемой основной погрешности показаний.

7. Составить отчет, в котором привести принципиальную схему логметра ЛР-64-02, его техническую характеристику, экспериментальные данные и технические характеристики используемого оборудования.

Рекомендуемая литература [9, 17, 30, 37, 45, 46].

**Лабораторная работа 3. Настройка автоматического самопишущего электронного равновесного моста на заданный интервал температур.**

**Цель работы.** Освоить методику расчета и наладки элементов измерительной схемы электронного равновесного моста КСМ2-020И на заданные пределы измерения температур.

**Методические указания.** Автоматический самопишущий электронный равновесный мост КСМ2-020И предназначен для непрерывного измерения, записи и регулирования температуры при работе в комплекте с одним из электрических термометров сопротивления стандартной градуировки.

Измерительная схема автоматического электронного равновесного моста КСМ2-020И показана на рисунке 70. Эта схема позволяет определить температуру среды

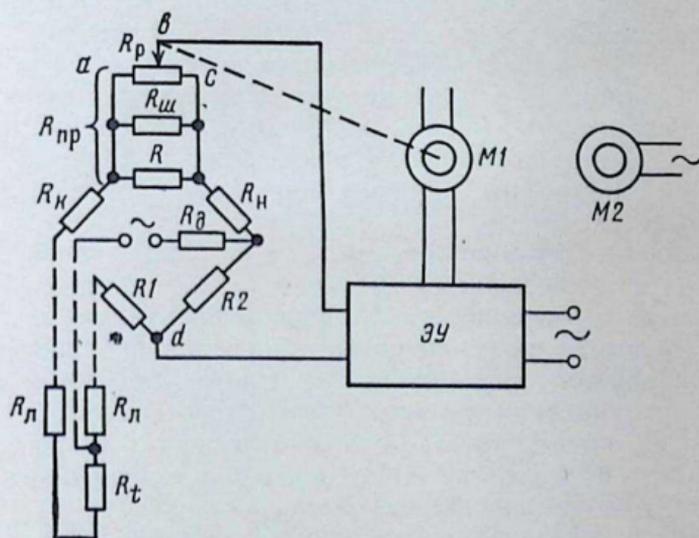


Рис. 70. Измерительная схема автоматического электронного равновесного моста КСМ2-020И.

по значению электрического сопротивления термометра сопротивлением  $R_t$ , являющегося одним из плеч мостовой схемы.

Измерение значения изменяющегося электрического сопротивления посредством мостовой схемы основано на сравнении разности потенциалов двух промежуточных точек в параллельно включенных ветвях.

Измерительная схема моста получает питание от обмотки силового трансформатора напряжения ( $U_{\max} = 6,3 \text{ В}$ ).

Измерительная схема равновесного моста включает четыре плеча, три из которых представляют собой постоянные сопротивления  $R_n$ ,  $R_1$  и  $R_2$ , а четвертое — термометр сопротивления  $R_t$  с последовательно с ним соединенным приведенным сопротивлением реохорда  $R_{пр}$ . Последнее состоит из параллельно соединенных сопротивлений реохорда  $R_p$ , шунта реохорда  $R_{ш}$  и сопротивления  $R$ , служащего для подгонки сопротивления реохорда к расчетному значению. Кроме того, в это плечо включено сопротивление  $R_k$ , необходимое для подгонки нижнего предела измерений прибора.

Термометр сопротивления  $R_t$  к прибору присоединяется по трехпроводной схеме через сопротивление  $R_d$ , служащее для подгонки сопротивления соединительных проводов до  $2,5 \text{ Ом}$ . Электронный усилитель ЭУ является индикатором нарушения равновесия в измерительной схеме. При равенстве потенциалов точек  $b$  и  $d$  напряжение небаланса, подаваемое на электронный усилитель ЭУ, равно нулю. Движок реохорда в этом случае неподвижен, а стрелка прибора показывает измеряемое значение температуры, пропорциональное сопротивлению термометра  $R_t$ ;

При отсутствии равенства потенциалов точек  $b$  и  $d$  на выходе мостовой схемы появляется напряжение небаланса, которое после усиления в электронном усилителе подается на реверсивный двигатель  $M1$ , перемещающий движок реохорда до восстановления равновесия.

Сопротивления измерительной схемы  $R_n$ ,  $R$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_{ш}$  и  $R_d$  представляют собой катушки с бифилярной намоткой из манганина. Реохорд  $R_p$  выполнен в виде калиброванного манганинового сопротивления.

Для расчета измерительной схемы равновесного моста должны быть заданы минимальный ( $t_{\min}$ ) и максимальный ( $t_{\max}$ ) пределы измерения температуры тер-

мометра сопротивления в градусах Цельсия. Расчет проводится следующим образом.

Зная пределы измерения и тип термометра сопротивления, находят по градуировочным таблицам (см. табл. 25) минимальное ( $R_{t\min}$ ) и максимальное ( $R_{t\max}$ ) значения сопротивления термометра.

При измерении  $R_{t\min}$  движок реохорда должен находиться в точке  $c$ , соответствующей началу шкалы. Учитывая, что термометр сопротивления  $R_t$  включен последовательно с реохордом в одно из плеч моста, достичь равновесия измерительной схемы в этом случае можно при удовлетворении равенства

$$R_2(R_{t\min} + R_{\text{л}} + R_{\text{к}} + R_{\text{пр}}) = (R_1 + R_{\text{л}})R_{\text{н}}. \quad (130)$$

При измерении  $R_{t\max}$  движок реохорда должен находиться в точке  $a$ , соответствующей концу шкалы. При этом равновесие измерительной схемы соблюдается, если выполняется следующее условие:

$$R_2(R_{t\max} + R_{\text{к}} + R_{\text{л}}) = (R_1 + R_{\text{л}})(R_{\text{н}} + R_{\text{пр}}). \quad (131)$$

Вычитая равенство (130) из (131), получим

$$R_2(R_{t\max} - R_{t\min}) = R_{\text{пр}}(R_1 + R_2 + R_{\text{л}}), \quad (132)$$

откуда

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{\text{л}}}(R_{t\max} - R_{t\min}). \quad (133)$$

Из уравнения (132) следует, что пределы измерения прибора можно сделать иными, изменяя значение приведенного сопротивления реохорда  $R_{\text{пр}}$ , состоящего из параллельно включенных сопротивлений  $R_{\text{р}}$ ,  $R_{\text{ш}}$ ,  $R$  и определяемого по уравнению

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{р}} R_{\text{ш}} R}{R_{\text{р}} R_{\text{ш}} + R_{\text{р}} R + R_{\text{ш}} R}. \quad (134)$$

В автоматических равновесных мостах сопротивление реохорда и его шунта — величины постоянные (для КСМ2-020И  $R_{\text{р}}=126$  Ом, а  $R_{\text{ш}}=315$  Ом). Поэтому подгонка сопротивления до требуемого значения осуществляется изменением значения сопротивления  $R$ . Сопротивление  $R$  предназначено для подгонки *верхнего предела измерения прибора*:

$$R = \frac{R_{\text{пр}} R_{\text{р}} R_{\text{ш}}}{R_{\text{р}} R_{\text{ш}} - R_{\text{пр}} R_{\text{р}} - R_{\text{пр}} R_{\text{ш}}}. \quad (135)$$

Из уравнения (130) при  $R_{\text{д}}=0$  и  $R_2=R_{\text{н}}$  определяем значение сопротивления  $R_{\text{пр}}+R_{\text{к}}$ . Здесь  $R_{\text{к}}$  предназначено для подгонки *нижнего предела измерения прибора*:

$$R_{\text{пр}} + R_{\text{к}} = R1 - R_{t\text{min}}. \quad (136)$$

Принимаем, что  $R_{\text{к}}=6,3$  Ом.

Сопротивление  $R1$  выбирается из условия получения равенства сопротивлений плеча  $R1$  и плеча  $R_t$ , в которое включены термометр сопротивления и реохорд при среднем положении движка на реохорде:

$$R1 = R_{t\text{min}} + \frac{R_{t\text{max}} - R_{t\text{min}}}{2} + \frac{R_{\text{пр}}}{2}, \quad (137)$$

или, принимая во внимание уравнение (132) и учитывая, что для увеличения чувствительности измерительной схемы сопротивление  $R2$  выбирается равным сопротивлению  $R_{\text{н}}$ , а  $R1 \gg R_{\text{л}}$ , получим, что

$$R1 = R_{t\text{min}} + 1,1 (R_{t\text{max}} - R_{t\text{min}}). \quad (138)$$

Максимальное значение тока, протекающего через термометр сопротивления, определяется по уравнению

$$I_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}}{R_{t\text{min}} + R_{\text{л}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{н}} + R_{\text{д}} + R_{\text{к}}}. \quad (139)$$

Максимально допустимое значение тока, исключающее самонагрев термометра, равно 7...8 мА. При прочих равных условиях значение  $I_{\text{max}}$  зависит от значения сопротивления  $R_{\text{д}}$ , определяемого по уравнению

$$R_{\text{д}} = \frac{U_{\text{max}}}{I_{\text{max}}} - (R_{t\text{min}} + R_{\text{л}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{н}} + R_{\text{к}}). \quad (140)$$

Минимальное значение сопротивления  $R_{\text{д}}$  рассчитывается по формуле (140) при  $I_{\text{max}}=7...8$  мА. Действительное значение сопротивления  $R_{\text{д}}$  должно превышать  $R_{\text{д min}}$ .

Схема установки для экспериментальной проверки рассчитанных сопротивлений измерительной схемы при изменении пределов измерения равновесного моста показана на рисунке 71.

**Программа работы.** 1. В соответствии с заданием на пределы измерения и градуировку шкалы моста найти минимальное ( $R_{t\text{min}}$ ) и максимальное ( $R_{t\text{max}}$ ) сопротивления термометра по градуировочной таблице (табл. 25).

2. Рассчитать значение сопротивлений  $R1$ ,  $R2$ ,  $R$ ,  $R_{\text{н}}$ ,  $R_{\text{д}}$  и записать их в таблицу 26.

Таблица 25. Градуировочные таблицы термометров сопротивлений

Платиновый термометр сопротивления ( $R_{t=0} =$ $=46 \text{ Ом}$ ), гр. 21		Платиновый термометр сопротивления ( $R_{t=0} = 100 \text{ Ом}$ ), гр. 22		Платиновый термометр сопротивления ( $R_{t=0} = 53 \text{ Ом}$ ), гр. 23	
$t, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{гр}}, \text{ Ом}$	$t, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{гр}}, \text{ Ом}$	$t, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{гр}}, \text{ Ом}$
0	46,00	0	100,00	0	53,00
10	47,82	10	103,96	10	55,26
20	49,64	20	107,91	20	57,52
30	51,45	30	111,85	30	59,77
40	53,26	40	115,73	40	62,03
50	55,06	50	119,70	50	64,29
60	56,86	60	123,60	60	66,55
70	58,65	70	127,49	70	68,81
80	60,43	80	131,37	80	71,06
90	62,21	90	135,24	90	73,32
100	63,99	100	139,10	100	75,58
110	65,76	110	142,95	110	77,84
120	67,52	120	146,78	120	80,09
130	69,28	130	150,60	-10	50,74
140	71,03	140	154,41	-20	48,48
150	72,73	150	158,21	-30	46,22
160	74,52	160	162,00	-40	43,97
170	76,26	170	165,73	-50	41,71
180	77,99	180	169,54		
190	79,71	190	173,29		
200	81,43	200	177,03		
210	83,15	210	180,76		
220	84,86	220	184,48		
230	86,56	230	188,18		
240	88,26	240	191,88		
250	89,96	250	195,56		
260	91,64	260	199,23		
270	93,33	270	202,89		
280	95,00	280	206,53		

Таблица 26. Значения сопротивлений Ом

Обозначение сопротивления	Расчетные	Действительные
$R1$		
$R2$		
$R$		
$R_{\text{н}}$		
$R_{\text{д}}$		

3. Подобрать соответствующие сопротивления и подключить их к мосту.

4. Проверить, соответствуют ли заданные пределы измерения моста полученным, набирая на магазине  $R_t$

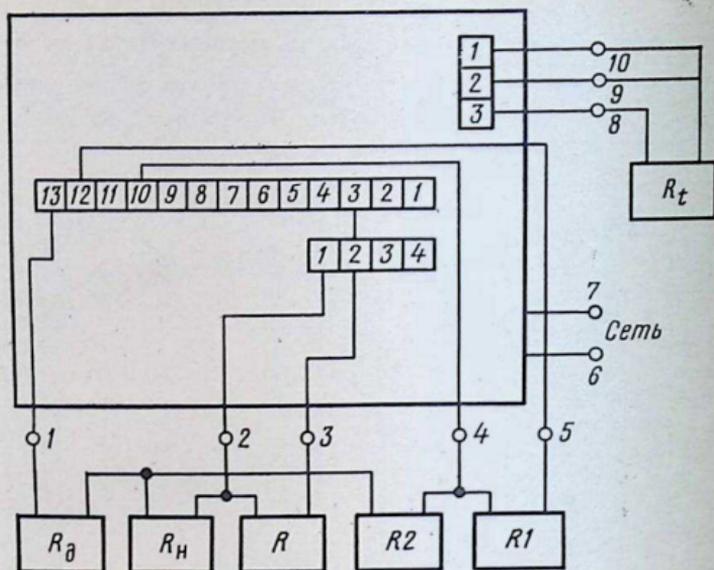


Рис. 71. Схема для экспериментальной проверки рассчитанных сопротивлений при изменении пределов измерений моста.

сопротивление, равное  $R_{t_{\min}}$ ,  $R_{t_{\max}}$ , и устанавливая стрелку прибора на минимальное и максимальное деление шкалы.

5. Полученные в результате расчета значения сопротивлений сопоставить с выбранными сопротивлениями. Значения сопротивлений занести в таблицу 26.

6. Проградуировать шкалу моста, набирая на магазине  $R_t$  сопротивления, равные по значению сопротивлениям термометра в диапазоне температур от  $t_{\min}$  до  $t_{\max}$  с интервалом 50 или 100° С. Вырезать из плотной бумаги шкалу моста и разметить на ней найденные точки.

7. Составить отчет, в котором начертить измерительную схему моста и схему установки для экспериментальной проверки рассчитанных сопротивлений, привести результаты расчета и корректировки сопротивлений, технические характеристики используемого оборудования.

**Рекомендуемая литература** [45, 46].

**Лабораторная работа 4.** Наладка автоматического электронного потенциометра на заданный интервал температур.

**Цель работы.** Освоить методику расчета и наладки элементов измерительной схемы автоматического электронного потенциометра ЭПП-09МЗ на заданные пределы измерения температур.

**Методические указания.** Автоматический электронный потенциометр ЭПП-09МЗ предназначен для непрерывного измерения, записи и регулирования температуры в комплекте с одной из термопар стандартной градуировки.

В автоматических электронных потенциометрах движок реохорда перемещается автоматически при помощи специального устройства. При изменении термо-э. д. с. термопары в цепи появляется напряжение небаланса, которое соответствующим образом преобразуется и усиливается до значения, достаточного для вращения ротора реверсивного электродвигателя. Последний посредством кинематического механизма перемещает движок реохорда в зависимости от знака напряжения небаланса в ту или другую сторону, автоматически уравнивая измерительную схему. Одновременно с движком реохорда перемещается прямолинейно движущаяся каретка, которая имеет показывающую стрелку и записывающее перо.

Измерительная схема автоматического потенциометра ЭПП-09МЗ, у которого питание измерительной части осуществляется от источника ИПС, показана на рисунке 72.

В потенциометре используется мостовая измерительная схема, обеспечивающая высокую точность и чувствительность прибора и позволяющая автоматически вводить поправку на изменение температуры холодных спаев термопары, а также легко изменять пределы измерения и градуировку шкалы прибора.

Измерительная схема потенциометра состоит из трех цепей.

Первая цепь (цепь источника тока) включает: источник постоянного стабилизированного тока ИПС; остаток  $R_d$  для регулирования значения рабочего тока  $I$ ; две ветви — вспомогательную, состоящую из сопротивлений  $R_k$  и  $R_{нв}$ , и рабочую, к которой присоединены реохорд  $R_p$ , шунт реохорда  $R_{ш}$ , служащий для ограничения тока, протекающего по реохорду, сопротивление  $R$  для подгонки сопротивления реохорда к расчетному значению, а также постоянные сопротивления  $R_k$  и  $R_{п}$ . По

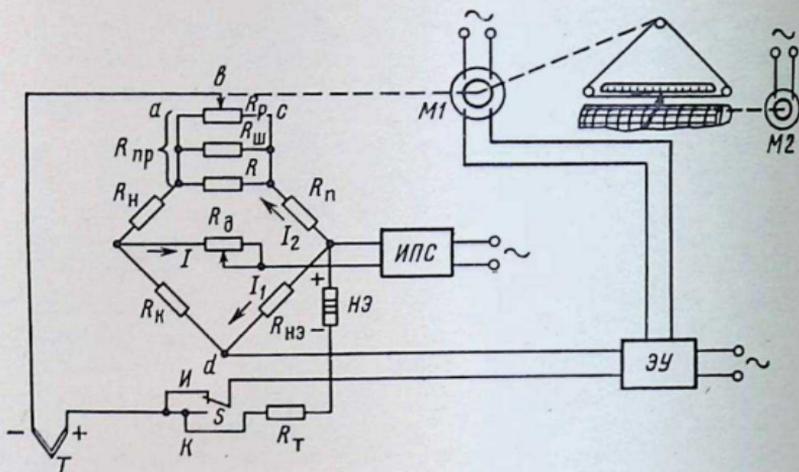


Рис. 72. Измерительная схема автоматического электронного потенциометра ЭПП-09МЗ.

вспомогательной ветви протекает ток  $I_1$ , а по основной —  $I_2$ .

Во вторую цепь (цепь термопары) входят термопара  $T$ , сопротивление части реохорда  $R_p$ , заключенной между точками  $a$  и  $b$  измерительной схемы, постоянное сопротивление  $R_n$  и сопротивление  $R_k$ , предназначенное для автоматического введения поправки на температуру свободных спаев термопары. Последнее возможно, если свободные спаи термопары и сопротивления  $R_k$  находятся в одинаковых температурных условиях. Поэтому в потенциометре сопротивление  $R_k$  располагается непосредственно в месте включения термопары.

Третья цепь (цепь нормального элемента) состоит из нормального элемента  $НЭ$ , развивающего постоянную э. д. с. определенного значения в течение продолжительного времени при кратковременной нагрузке; сопротивления  $R_{нз}$  для установки рабочего тока в измерительной схеме; балластного сопротивления  $R_t$  для ограничения тока в цепи нормального элемента. Для измерения э. д. с. термопары переключатель  $S$  устанавливают в положение  $И$ , а при стандартизации рабочего тока в измерительной схеме — в положение  $К$ .

Измеряемая э. д. с. термопары  $E(t'_0)$  уравнивается разностью потенциалов в точках  $b$  и  $d$  измерительной схемы потенциометра, то есть падением напря-

жения на части приведенного сопротивления реохорда  $R_{пр}$ , состоящего из трех параллельно включенных сопротивлений  $R_p$ ,  $R_{ш}$ ,  $R$ , и на сопротивлениях  $R_{II}$  и  $R_K$

$$E(tt'_0) = I_2 R'_{пр} + I_2 R_{II} - I_1 R_K, \quad (141)$$

где  $t$  — температура рабочего спая термопары;  $t'_0$  — температура свободного спая термопары;  $R'_{пр}$  — часть приведенного сопротивления реохорда, заключенная между точками  $a$  и  $b$  измерительной схемы, значение которой зависит от положения движка реохорда.

При нарушении равенства на выходе измерительной схемы появляется напряжение небаланса, которое после преобразования и усиления в электронном усилителе подается на реверсивный двигатель  $M1$ , перемещающий движок реохорда до восстановления равновесия.

Стандартизация тока  $I_1$  и, следовательно, тока  $I_2$  из-за неизменности значения сопротивлений обеих ветвей моста осуществляется путем сравнения падения напряжения на сопротивлении  $R_{нэ}$  с э. д. с. нормального элемента  $HЭ$ .

Сопротивления  $R_{II}$ ,  $R$ ,  $R_p$ ,  $R_{ш}$ ,  $R_{нэ}$ ,  $R_T$ ,  $R_p$  и  $R_d$  выполнены из манганина, а  $R_K$  — из меди.

Напряжение источника постоянного стабилизированного тока  $U = 1,019$  В, а силы тока в ветвях моста выбирают  $I_1 = 2$  мА и  $I_2 = 4$  мА.

Для расчета измерительной схемы потенциометра должны быть заданы минимальный ( $t_{min}$ ) и максимальный ( $t_{max}$ ) пределы измерения температуры в градусах Цельсия и тип термопары.

Элементы измерительной схемы потенциометра рассчитывают следующим образом. Зная пределы измерения и тип термопары, необходимо по градуировочной таблице (табл. 27) найти минимальную  $E_{min} = E(t_{min} t_0)$  и максимальную  $E_{max} = E(t_{max} t_0)$  термо-э. д. с. термопары при температуре свободных спаев, равной  $0^\circ\text{C}$ .

При измерении  $E_{min}$  движок реохорда должен находиться в точке  $a$ , соответствующей началу шкалы. В этом случае э. д. с. термопары уравнивается разностью потенциалов точек  $a$  и  $d$  измерительной схемы потенциометра, то есть падением напряжения на сопротивлении  $R_{II}$  и сопротивлении  $R_K$ , равном  $R_K^0$  при  $t = 0^\circ\text{C}$ :

$$E_{min} = U_{ad} = I_2 R_{II} - I_1 R_K^0. \quad (142)$$

Из уравнения (142) можно определить значение со-

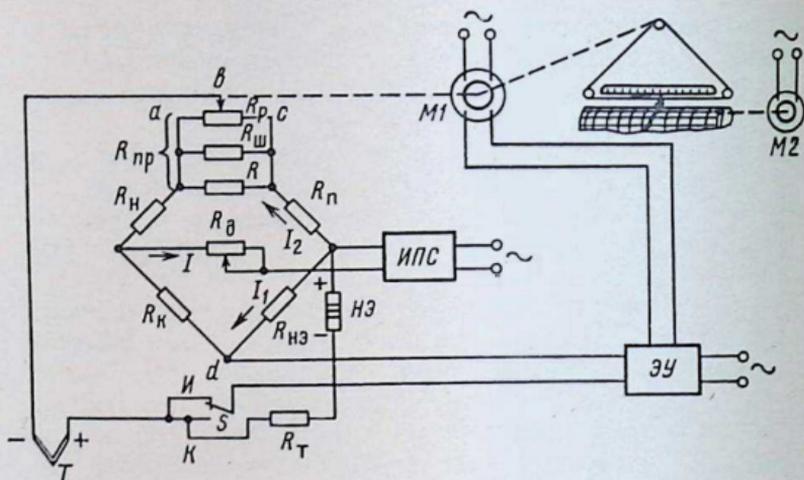


Рис. 72. Измерительная схема автоматического электронного потенциометра ЭПП-09МЗ.

вспомогательной ветви протекает ток  $I_1$ , а по основной —  $I_2$ .

Во вторую цепь (цепь термопары) входят термопара  $T$ , сопротивление части реохорда  $R_p$ , заключенной между точками  $a$  и  $b$  измерительной схемы, постоянное сопротивление  $R_n$  и сопротивление  $R_k$ , предназначенное для автоматического введения поправки на температуру свободных спаев термопары. Последнее возможно, если свободные спаи термопары и сопротивления  $R_k$  находятся в одинаковых температурных условиях. Поэтому в потенциометре сопротивление  $R_k$  располагается непосредственно в месте включения термопары.

Третья цепь (цепь нормального элемента) состоит из нормального элемента  $HЭ$ , развивающего постоянную э. д. с. определенного значения в течение продолжительного времени при кратковременной нагрузке; сопротивления  $R_{нз}$  для установки рабочего тока в измерительной схеме; балластного сопротивления  $R_т$  для ограничения тока в цепи нормального элемента. Для измерения э. д. с. термопары переключатель  $S$  устанавливают в положение  $И$ , а при стандартизации рабочего тока в измерительной схеме — в положение  $К$ .

Измеряемая э. д. с. термопары  $E (U'_0)$  уравнивается разностью потенциалов в точках  $b$  и  $d$  измерительной схемы потенциометра, то есть падением напря-

жения на части приведенного сопротивления реохорда  $R_{пр}$ , состоящего из трех параллельно включенных сопротивлений  $R_p, R_{ш}, R$ , и на сопротивлениях  $R_n$  и  $R_k$

$$E(t t'_0) = I_2 R'_{пр} + I_2 R_n - I_1 R_k, \quad (141)$$

где  $t$  — температура рабочего спая термопары;  $t'_0$  — температура свободного спая термопары;  $R'_{пр}$  — часть приведенного сопротивления реохорда, заключенная между точками  $a$  и  $b$  измерительной схемы, значение которой зависит от положения движка реохорда.

При нарушении равенства на выходе измерительной схемы появляется напряжение небаланса, которое после преобразования и усиления в электронном усилителе подается на реверсивный двигатель  $M1$ , перемещающий движок реохорда до восстановления равновесия.

Стандартизация тока  $I_1$  и, следовательно, тока  $I_2$  из-за неизменности значения сопротивлений обеих ветвей моста осуществляется путем сравнения падения напряжения на сопротивлении  $R_{нз}$  с э. д. с. нормального элемента  $HЭ$ .

Сопротивления  $R_n, R, R_p, R_{ш}, R_{нз}, R_T, R_p$  и  $R_d$  выполнены из манганина, а  $R_k$  — из меди.

Напряжение источника постоянного стабилизированного тока  $U = 1,019$  В, а силы тока в ветвях моста выбирают  $I_1 = 2$  мА и  $I_2 = 4$  мА.

Для расчета измерительной схемы потенциометра должны быть заданы минимальный ( $t_{min}$ ) и максимальный ( $t_{max}$ ) пределы измерения температуры в градусах Цельсия и тип термопары.

Элементы измерительной схемы потенциометра рассчитывают следующим образом. Зная пределы измерения и тип термопары, необходимо по градуировочной таблице (табл. 27) найти минимальную  $E_{min} = E(t_{min} t_0)$  и максимальную  $E_{max} = E(t_{max} t_0)$  термо-э. д. с. термопары при температуре свободных спаев, равной  $0^\circ$  С.

При измерении  $E_{min}$  движок реохорда должен находиться в точке  $a$ , соответствующей началу шкалы. В этом случае э. д. с. термопары уравнивается разностью потенциалов точек  $a$  и  $d$  измерительной схемы потенциометра, то есть падением напряжения на сопротивлении  $R_n$  и сопротивлении  $R_k$ , равном  $R_k^0$  при  $t = 0^\circ$  С:

$$E_{min} = U_{ad} = I_2 R_n - I_1 R_k^0. \quad (142)$$

Из уравнения (142) можно определить значение со-

Таблица 27. Градуировочная таблица

Температура рабочего спая, °С	<i>E</i> , мВ, при градуировке ПП (платинородий—платина)	<i>E</i> , мВ, при градуировке ХА (хромель—алюмель)	<i>E</i> , мВ, при градуировке ХК (хромель—копель)
0	0	0	0
10	0,057	0,40	0,65
20	0,115	0,80	1,31
30	0,176	1,20	1,98
40	0,237	1,61	2,66
50	0,301	2,02	3,35
60	0,366	2,43	4,05
70	0,432	2,85	4,76
80	0,500	3,26	5,48
90	0,569	3,68	6,21
100	0,640	4,10	6,95
110	0,712	4,51	7,69
120	0,786	4,92	8,43
130	0,881	5,33	9,18
140	0,937	5,73	9,93
150	1,014	6,13	10,69
160	1,093	6,53	11,46
170	1,173	6,93	12,24
180	1,254	7,33	13,03
190	1,337	7,73	13,84
200	1,421	8,13	14,65
210	1,507	8,53	15,47
220	1,595	8,93	16,29
230	1,683	9,34	17,11
240	1,771	9,74	17,94
250	1,860	10,15	18,76
260	1,949	10,56	19,59
270	2,039	10,97	20,42
280	2,129	11,38	21,24
290	2,219	11,80	22,07
300	2,310	12,21	22,90
310	2,401	12,62	23,74
320	2,493	13,04	24,59
330	2,585	13,45	25,44
340	2,677	13,87	26,30
350	2,772	14,29	27,15
360	2,865	14,71	28,01
370	2,959	15,13	28,88
380	3,053	15,55	29,75
390	3,148	15,97	30,61
400	3,243	16,39	
410	3,338	16,82	
420	3,434	17,24	
430	3,530	17,66	

Температура рабочего спая, °С	$E$ , мВ, при гра- дуировке ПП (платинородий- платина)	$E$ , мВ, при гра- дуировке ХА (хромель—алю- мель)	$E$ , мВ, при гра- дуировке ХК (хромель— копель)
440	3,626	18,08	
450	3,722	18,50	
460	3,818	18,93	
470	3,915	19,36	
480	4,013	19,78	
490	4,111	20,21	
500	4,210	20,64	

противления  $R_{II}$ , предназначенного для подгонки *нижне-го предела измерения прибора*:

$$R_{II} = \frac{E_{\min} + I_1 R_K^0}{I_2}. \quad (143)$$

При измерении  $E_{\max}$  движок реохорда должен находиться в точке  $c$ , соответствующей концу шкалы. При этом термо-э. д. с. термопары уравнивается разностью потенциалов точек  $c$  и  $d$ , то есть падением напряжения на приведенном сопротивлении реохорда  $R_{II}$  и сопротивлениях  $R_{II}$  и  $R_K^0$  или падением напряжения на сопротивлениях  $R_{II}$  и  $R_{II\bar{0}}$ :

$$E_{\max} = U_{cd} = I_2 R_{II} + I_2 R_{II} - I_1 R_K^0, \quad (144)$$

$$E_{\max} = U_{cd} = I_1 R_{II\bar{0}} - I_2 R_{II}. \quad (145)$$

Из уравнения (145) находим значение сопротивления  $R_{II}$ , предназначенного для подгонки верхнего предела измерения прибора:

$$R_{II} = \frac{I_1 R_{II\bar{0}} - E_{\max}}{I_2} = \frac{E_{II\bar{0}} - E_{\max}}{I_2}. \quad (146)$$

Вычитая уравнение (142) из уравнения (144), получим

$$E_{\max} - E_{\min} = I_2 R_{II}, \quad (147)$$

откуда

$$R_{II} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{I_2}. \quad (148)$$

Следовательно, изменение пределов измерения прибора может быть осуществлено изменением значения приведенного сопротивления реохорда  $R_{\text{пр}}$ , состоящего из трех параллельно включенных сопротивлений  $R_p$ ,  $R_{\text{ш}}$ ,  $R$ :

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_p R_{\text{ш}} R}{R_p R_{\text{ш}} + R_p R + R_{\text{ш}} R}. \quad (149)$$

В автоматических электронных потенциометрах сопротивления реохорда и его шунта — величины постоянные и равные  $R_p = 126 \text{ Ом}$ , а  $R_{\text{ш}} = 315 \text{ Ом}$ .

Поэтому подгонка  $R_{\text{пр}}$  до требуемого значения, определяемого уравнением (148), осуществляется изменением значения сопротивления  $R$ , определяемого из уравнения (149)

$$R = \frac{R_{\text{пр}} R_p R_{\text{ш}}}{R_p R_{\text{ш}} - R_{\text{пр}} R_p - R_{\text{пр}} R_{\text{ш}}}. \quad (150)$$

Значение сопротивления стандартизации  $R_{\text{из}}$  находится из условия, что падение напряжения на нем должно быть равно э. д. с. нормального элемента  $H\mathcal{E}$ :

$$R_{\text{из}} = \frac{E_{\text{из}}}{I_1} = \frac{1,019}{0,002} = 509,5 \text{ Ом}.$$

Сопротивление  $R_k$  находят при условии, что изменение э. д. с. термопары при изменении температуры свободных спаев от  $t_0$  до  $t_0'' = 50^\circ \text{ C}$  равно изменению падения напряжения на сопротивлении  $R_k$  при том же перепаде температур:

$$E(t_0) - E(t_0'') = E(t_0'' t_0) = I_1 \Delta R_k. \quad (151)$$

Зависимость изменения сопротивления меди от температуры в том же интервале температур выражается уравнением

$$R_k = R_k^0 [1 + \alpha (t_0'' - t_0)], \quad (152)$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления медного провода компенсационной катушки ( $\alpha_{\text{Cu}} = 0,00428^\circ \text{ C}^{-1}$ );  $R_k^0$  — значение сопротивления  $R_k$  при температуре  $t_0$ .

Отсюда

$$\Delta R_k = R_k - R_k^0 = R_k^0 \alpha_{\text{Cu}} (t_0'' - t_0). \quad (153)$$

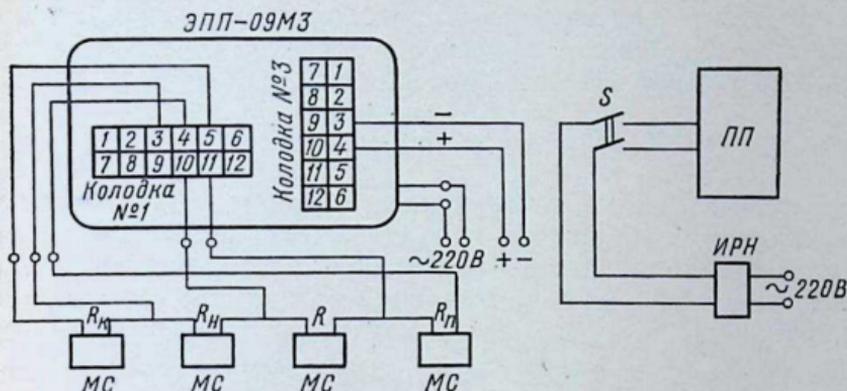


Рис. 73. Схема проверки рассчитанных сопротивлений при изменении пределов измерения потенциометра.

Подставляя выражение (151) в уравнение (153), получим

$$E(t_0'' t_0) = R_k^0 \alpha_{Cu} (t_0'' - t_0) I_1, \quad (154)$$

откуда

$$R_k = \frac{E(t_0'' t_0)}{\alpha_{Cu} (t_0'' - t_0) I_1}. \quad (155)$$

Схема установки, предназначенной для экспериментальной проверки рассчитанных сопротивлений измерительной схемы при изменении пределов измерения потенциометра, показана на рисунке 73.

Разность потенциалов, соответствующая э. д. с. термопары с учетом температуры ее свободных концов  $E(t t_0')$ , подается на измерительную схему потенциометра посредством источника регулируемого напряжения (ИРН). Показания переносного потенциометра принимаются за действительное значение разности потенциалов. Температура свободных концов термопары ( $t_0'$ ) определяется образцовым ртутным термометром, находящимся в корпусе потенциометра.

Пределы измерения шкалы прибора, полученные в результате расчета, могут незначительно отличаться от заданных, так как значения сопротивлений на нерабочих частях реохорда и на соединительных проводах при расчете не учитываются.

Соответствие заданных пределов измерения потенциометра полученным проверяют подачей на его измерительную схему разностей потенциалов:

$$E_{\min} - E(t'_0 t_0) \text{ и } E_{\max} - E(t'_0 t_0).$$

Если заданные и полученные пределы измерения не совпадают, то подгонка начала и конца шкалы прибора осуществляется изменением значений сопротивлений  $R_n$  и  $R$  на магазинах сопротивлений до полного совпадения положений стрелки потенциометра, соответствующих  $E_{\min} - E(t'_0 t_0)$  и  $E_{\max} - E(t'_0 t_0)$ , с крайними черными рисками его шкалы.

**Программа работы.** 1. Найти минимальную [ $E_{\min} = E(t_{\min} t_0)$ ] и максимальную [ $E_{\max} = E(t_{\max} t_0)$ ] э. д. с. термопары по градуировочной таблице (см. табл. 27) в соответствии с заданием на пределы измерения и градуировку шкалы потенциометра.

2. Определить температуру свободных спаев термопары  $t'_0$ .

3. По градуировочной таблице (табл. 27) определить

$$E(t'_0 t_0) \text{ и } E(t''_0 t_0).$$

4. Вычислить значения сопротивлений  $R_k^0$ ,  $R_k$ ,  $R_n$ ,  $R_p$ ,  $R_{np}$  и  $R$ .

5. Подобрать соответствующие значения сопротивлений и подключить их к потенциометру.

6. Произвести измерения потенциометром, подавая при помощи ИРН разности потенциалов, равные  $E_{\min} - E(t'_0 t_0)$  и  $E_{\max} - E(t'_0 t_0)$ , и устанавливая стрелку прибора на минимальное и максимальное деление шкалы.

7. Значение сопротивлений, полученные в результате расчета, сопоставить с сопротивлениями из опыта и значения сопротивлений записать в таблицу 28.

8. Проградуировать шкалу потенциометра, подавая на его измерительную схему разности потенциалов, равные  $E(t t_0) = E(t t_0) - E(t'_0 t_0)$  и определяемые по таблице 27 при температурах  $t$  в пределах от  $t_{\min}$  до  $t_{\max}$  с интервалом 50 или 100° С. Вырезать из плотной бумаги модель шкалы потенциометра и разметить на ней полученные точки.

9. Составить отчет, в котором привести измерительную схему потенциометра и схему установки для экспе-

Таблица 28. Значения сопротивлений, Ом

Сопротивления	Расчетные	Действительные
$R_K$ при $t'_0$ $R_H$ $R$ $R_{II}$		

риментальной проверки рассчитанных сопротивлений, результаты расчета и корректировки сопротивлений, технические характеристики используемого оборудования.

Рекомендуемая литература [45, 46].

### Лабораторная работа 5. Наладка усилителя УТ-ТС. (Кристалл).

**Цель работы.** Изучить принцип действия усилителя УТ-ТС, а также принцип работы по его лабораторной наладке.

**Методические указания.** Усилитель УТ-ТС используют в схемах регулирования теплотехнических процессов в котельных малой и средней мощности, а также на других объектах.

#### Техническая характеристика усилителя

Напряжение питания, В . . . . .	220
Потребляемая мощность, Вт . . . . .	20
Входное сопротивление переменному току, Ом	220
Выходное напряжение, В . . . . .	$24 \pm 2$
Выходная мощность, Вт . . . . .	6
Максимальное число датчиков . . . . .	3
Диапазон рабочих температур, °С . . . . .	5...50

Усилитель УТ-ТС предназначен для работы в комплекте с одним или двумя термометрами сопротивления и одним дифференциально-трансформаторным преобразователем.

Принципиальная электрическая схема усилителя УТ-ТС приведена на рисунке 74 (см. форзац).

Усилитель УТ-ТС состоит из блока суммирования, узла задатчика, демодулятора, модулятора, предварительного и оконечного усилителя.

Питание мостовых схем с термометрами сопротивления  $t^\circ$  и первичной обмотки дифференциально-транс-

форматорного преобразователя ДТП осуществляется соответственно от VI, VII, II обмоток силового трансформатора *T1*. Сменные резисторы *R14* и *R19* служат для настройки температуры на заданное значение. Потенциометры *R8*, *R9* и *R10* являются регуляторами чувствительности. Конденсатор *C8* служит для выравнивания фазовой характеристики больших дифференциально-трансформаторных преобразователей (встроенных в первичные приборы ДМ, ДТ-2). При использовании малых дифференциально-трансформаторных преобразователей (МЭД, устройства обратной связи) параллельно *C8* подключается конденсатор *C9* (устанавливается перемычка на клеммах *13*, *15*). Резисторы *R11*, *R16*, *R17* и *R18* образуют узел задатчика, получающий питание от V обмотки трансформатора *T1*.

Сигнал рассогласования через демодулятор (триод *V5*, резистор *R15*), фильтр (*R12*, *R13*, *C4*, *C5*), модулятор (*V8*, *R7*) и конденсатор *C1* поступает на предварительный двухкаскадный усилитель, который состоит из двух полупроводниковых триодов *V7* и *V10*, резистора общей обратной связи *R3*, диода *V9*, стабилитрона *V6*, резисторов *R1*, *R2*, *R4*, *R5*, конденсаторов *C2*, *C3*, *C6* и регулятора нечувствительности *R6*. Связь предварительного усилителя с оконечным осуществляется через трансформатор *T2*. В состав оконечного усилителя входят транзисторы *V11*, *V12*, диоды *V13...V18*, конденсатор *C7*. Усилитель УТ-ТС включает также переключатель (Авт., Дист.) управления, зеленую («Меньше») и красную («Больше») сигнальные лампы *H1* и *H2*. Питание предварительного усилителя и схемы дистанционного управления осуществляется от V обмотки трансформатора *T1* соответственно через диоды *V1...V4*; питание оконечного усилителя — от III и IV обмоток трансформатора *T1*.

К выходным клеммам усилителя *16*, *17* и *18* могут быть подключены обмотки *K1*, *K2* электрогидравлических реле ГИМа, а также обмотки магнитных усилителей или пускателей, предназначенных для управления электрическими исполнительными механизмами.

Настройка усилителя УТ-ТС включает в себя лабораторную проверку, статическую настройку и установку параметров динамической настройки.

**Программа работы.** 1. Изучить принцип действия и конструкцию полупроводникового усилителя УТ-ТС «Кристалл». 2. Выполнить лабораторную проверку усилите-

ля, которая состоит из проверки балансировки, проверки выходного напряжения и зоны нечувствительности усилителя.

*Проверку балансировки* осуществляют следующим образом:

а) к клеммам 5, 6 усилителя подсоединяют сеть переменного тока 220 В частотой 50 Гц; измеряют напряжение вольтметром переменного тока на 250 В — Ц434, Ц435, Ц4313, Э30 и др.;

б) к клеммам В, Г подсоединяют резистор сопротивлением  $100 \text{ Ом} \pm 10\%$ ;

в) к клеммам 16, 18 и 17, 18 подсоединяют обмотки реле;

г) к клеммам 16, 17 подключают вольтметр с пределами измерения до 25 В (внутреннее сопротивление вольтметра должно быть не менее 5 кОм — Ц434, Ц435, Ц4313, Ц315);

д) ручки потенциометров «Чувствительность» R8... R10 устанавливают на «0»;

е) вращая задатчик, следят за показаниями вольтметра. Вольтметр должен показывать нуль, когда задатчик стоит против цифры 5 с точностью  $\pm 0,2$  деления.

*Выходное (управляющее) напряжение* усилителя проверяют так:

а) подключают вольтметр на 25 В к клеммам 16, 18 и поворачивают вправо задатчик до упора. При этом должна загореться лампочка «Меньше» и вольтметр должен показать  $24 \pm 2$  В (при напряжении сети 220 В). Затем вольтметр подключают к клеммам 17, 18. Его показания не должны превышать 1 В.

б) подключают вольтметр на 25 В к клеммам 17, 18 и поворачивают задатчик влево до упора. При этом должна загореться лампочка «Больше» и вольтметр должен показывать  $24 \pm 2$  В (при напряжении сети 220 В). Затем вольтметр подключают к клеммам 16, 18. Его показания не должны превышать 1 В.

*Зону нечувствительности* усилителя проверяют следующим образом:

а) подключают к корпусу и среднему выводу V обмотки трансформатора T1 милливольтметр с большим внутренним сопротивлением (Ф431-1, ВЗ-2А, МВЛ-2М и др.);

б) ручки потенциометров «Чувствительность» и «Нечувствительность» устанавливают в положение «0» и

балансируют усилитель задатчиком. При этом должны погаснуть сигнальные лампочки;

в) плавно перемещая ручку задатчика, фиксируют по милливольтметру напряжение  $V_{1cp}$  в момент, когда вольтметр на 25 В покажет напряжение срабатывания реле;

г) подключают вольтметр на 25 В к клеммам 16, 18, перемещая задатчик в противоположную сторону, фиксируют по милливольтметру напряжение  $V_{2cp}$  в момент, когда вольтметр покажет напряжение срабатывания реле;

д) вычисляют минимальную зону нечувствительности усилителя:

$$\Delta_{min} = U_{1cp} + U_{2cp}. \quad (156)$$

Она не должна превышать 6 мВ;

е) проверяют зону нечувствительности усилителя при положениях ручки «Нечувствительность» на делениях 2, 4, 6, 8, 10 в соответствии с пунктами а...д;

ж) строят зависимость отношения  $\Delta/\Delta_{min}$  от положения ручки потенциометра «Нечувствительность».

3. Составить отчет, в котором привести принципиальную схему усилителя УТ-ТС, его техническую характеристику, экспериментальные данные, а также техническую характеристику используемого оборудования.

Рекомендуемая литература [46].

**Лабораторная работа 6. Наладка схем автоматизации технологических процессов.**

**Цель работы.** Освоить методику проверки и наладки схем и проводок систем автоматизации технологических процессов на примере шкафа управления клеточной батареей типа КБН.

**Методические указания.** В объем проверки и наладки схем и проводок систем автоматизации технологических процессов входят:

ознакомление с технической документацией (чертежами, журналами коммуникаций и т. п.);

проверка наличия аппаратуры и оборудования автоматизации;

проверка наличия и правильности маркировки, надписей, необходимых для нормальной эксплуатации системы;

проверка соответствия подключения аппаратуры схемам;

испытания аппаратуры в отдельности и системы в целом.

Проверка и наладка схем соединений электрической аппаратуры автоматических установок включают в себя следующие операции: осмотр схемы, проверку плотности и надежности контактов; прозвонку отдельных цепей; измерение сопротивления изоляции; проверку отдельных элементов; испытание отдельных цепей и комплексное испытание схемы.

Электрические провода и цепи прозванивают в тех случаях, когда отдельные провода в пакете нельзя проследить, а смонтированную схему — для того, чтобы проверить, правильно ли выполнена маркировка. Иногда отдельные провода можно проследить в натуре, слегка пошевеливая или подергивая их. Однако при этом может нарушиться контакт, возможен обрыв металлической жилы внутри изоляции и могут появиться механические напряжения. В таких случаях лучше прозвонить провод, хотя для надежной прозвонки необходимо отключить его с обоих концов.

Если схема состоит из элементов, соединенных пайкой, то отдельные элементы в процессе наладки проверяют только при возникновении подозрения об их неисправности. Обычно схемы проверяют в комплекте путем контроля параметров на входе и выходе всего устройства.

На схемах щитов и пультов, где элементы соединены разъемными винтовыми зажимами, проверяют каждый элемент в отдельности, сборка временных схем для этой цели допускается только при снятом напряжении. Переключать провода, переставлять приборы аппаратов и прочего оборудования после подачи напряжения не разрешается.

При проверке системы автоматизации технологических процессов необходимо выполнить следующие операции:

- снять характеристики реле, проверить ток или напряжение срабатывания и отпускания реле и контакторов, проверить их временные характеристики;

- определить погрешность измерительных приборов;

- снять характеристики вторичных приборов и регуляторов;

- снять характеристики магнитных, электромагнитных, электронных и прочих усилителей, стабилизаторов, мультивибраторов, триггеров и других элементов;

Таблица 29. Примерная форма таблицы дефектов проекта и монтажа оборудования

Наименование объекта, узла, чертежа	Описание дефекта проекта (монтажа оборудования)	Описание мер по устранению дефекта

проверить и настроить уставки защит.

Результаты проведенных проверок и внешнего осмотра заносят в таблицу дефектов проекта и монтажа оборудования, выявленных при пусконаладочных работах (табл. 29).

Наиболее распространенными и ответственными аппаратами управления систем автоматизации технологических процессов являются контакторы и магнитные пускатели. При наладке, а также в процессе эксплуатации часто бывает необходимо проверить и механически отрегулировать контактор или магнитный пускатель, так как при работе этих аппаратов изнашиваются контакты и магнитная система, а различные крепежные детали могут ослабнуть, из-за чего происходит перекося подвижных частей и детали быстро изнашиваются. При неправильно отрегулированных контактах уменьшается срок их службы и увеличивается число отказов в работе аппаратуры.

Наряду с контакторами и магнитными пускателями не менее важную роль в системах автоматики играют реле.

Важнейшим элементом реле является контактная система. Четкая и надежная работа контактов реле без искрения, приваривания, оплавления и засакаивания зависит как от механической, так и от электрической регулировки реле в целом.

В схемах автоматического управления также широко применяют командоаппараты. К ним относятся: кнопки управления, путевые выключатели, командоконтроллеры и т. п. Важное место при наладке занимает регулировка командоаппаратов на месте их установки для достижения срабатывания контактов в необходимом положении рабочего органа механизма.

**Программа работы.** 1. По электрической схеме (рис. 75) изучить работу схемы управления кормораздатчиком клеточной батареи типа КБН.

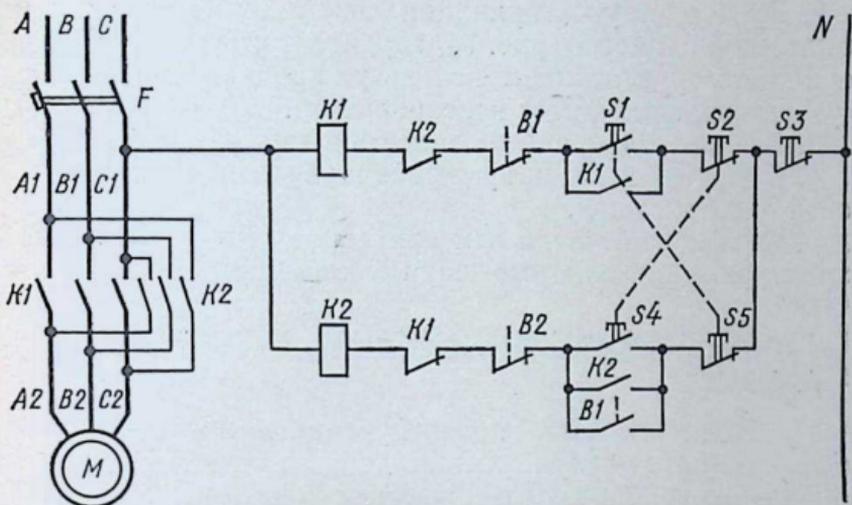


Рис. 75. Принципиальная электрическая схема управления кормораздатчиком клеточной батареи КБН.

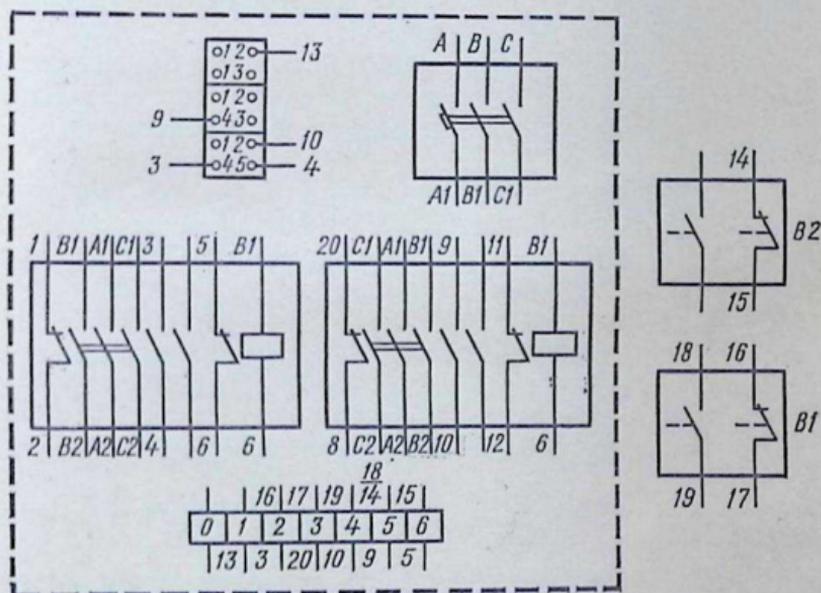


Рис. 76. Схема соединений системы автоматического управления кормораздатчиком клеточной батареи КБН.

2. Руководствуясь принципиальной электрической и монтажной схемами (рис. 75, 76), наладить схему управления кормораздатчиком, используя пробник или омметр и устранить имеющиеся неисправности.

3. Результаты проверок занести в таблицу дефектов.

4. Подать в схему напряжение и убедиться в правильности работы схемы.

5. Составить отчет, в нем привести схемы, технические характеристики, опытные данные, таблицу дефектов.

### **4.3. ТЕМАТИКА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовая работа по проектированию, монтажу и эксплуатации систем автоматики должна быть посвящена в основном вопросам монтажа, наладки и эксплуатации систем и технических средств автоматики. Рекомендуется следующая тематика курсовой работы.

1. Разработка рекомендаций или проекта организации монтажных работ и наладки систем автоматизации на животноводческих комплексах (птицефабриках) с разным поголовьем и разного назначения, а также в тепличных комбинатах разной мощности и на других предприятиях сельскохозяйственного производства.

2. Разработка структуры и проекта организации службы КИПиА на животноводческом комплексе (птицефабрике), тепличном комбинате определенного объема производства.

3. Разработка проекта пункта технического обслуживания средств автоматики на животноводческом комплексе, птицефабрике, тепличном комбинате и т. д. с учетом объема производства и уровня их технического оснащения.

Объем курсовой работы: пояснительная записка 20...25 страниц текста на листах формата 11 и графическая часть на одном листе формата 24.

Пояснительная записка должна содержать следующие вопросы:

производственную и техническую характеристику объекта проектирования;

разработку и обоснование организационно-технических мероприятий по организации монтажа и наладки (по организации службы КИПиА, по организации пункта технического обслуживания средств автоматики и т. д.

расчеты нестандартного оборудования, используемого при монтаже, наладке и эксплуатации систем автоматики;

расчет обслуживающего персонала и квалификации работников, занятых на монтаже (наладке или эксплуатации) систем и средств автоматики;

расчеты параметров настройки систем автоматического управления и отдельных элементов;

разработку мероприятий по охране труда и технике безопасности;

разработку и расчет нового оборудования, приборов, инструментов;

список использованной литературы.

Вместо курсовой работы по согласованию с кафедрой к защите может быть представлена соответствующим образом оформленная научная студенческая работа, если она по своей тематике и объему соответствует курсовой работе.

Пояснительная записка и графический материал по курсовой работе выполняется в соответствии с ГОСТ ЕСКД.

Задание на курсовую работу выдается студентам перед выездом на производственную практику по электро-механизации процессов сельскохозяйственного производства по окончании IV курса.

Исходные данные для курсовой работы студенты собирают в процессе прохождения практики в соответствии с указаниями, изложенными в программе практики по электро-механизации процессов сельскохозяйственного производства.

#### *Примерные наименования тем курсовых работ*

1. Разработка проекта производства монтажных работ по КИПиА на \_\_\_\_\_ птицефабрике.

2. Разработка рекомендаций по организации монтажа систем автоматического контроля и управления на \_\_\_\_\_ молочном комплексе

3. Разработка рекомендаций по проверке и наладке систем и средств автоматики на \_\_\_\_\_ свинокомплексе.

4. Разработка проекта пункта технического обслуживания КИПиА в совхозе \_\_\_\_\_ района \_\_\_\_\_ области.

5. Разработка стенда для проверки, наладки и испытания КИПиА на \_\_\_\_\_ птицефабрике \_\_\_\_\_ области.

6. Разработка структуры службы КИПиА на \_\_\_\_\_  
птицефабрике и расчет обслуживающего персонала.

*Примерный перечень графического материала к курсовым работам по проектированию, монтажу и эксплуатации систем*

1. Структура монтажной или наладочной организации (или службы эксплуатации КИПиА) на объекте.

2. Технологическая схема (карта) организации монтажных (наладочных) работ.

3. Сетевые графики проведения монтажных (наладочных) работ.

4. Схемы и графики проведения технического обслуживания и текущих ремонтов систем и средств автоматики.

5. Чертежи и схемы приборов, устройств, приспособлений оснастки и нестандартного оборудования, применяемого при монтажных (наладочных) работах, а также при эксплуатации систем и средств автоматики.

6. Чертежи промышленных регуляторов, щитов, пультов, станций управления, подлежащих монтажу (наладке) с изображением мест и способов их крепления на технологическом оборудовании, в щитовых помещениях и т. п.

7. Чертежи и электрические схемы испытательных, наладочных и проверочных стендов для приборов и средств автоматики.

8. Планы помещений и производственных участков монтажных, наладочных и эксплуатационных групп с нанесением оборудования, осветительных установок, электропроводок.

9. Чертежи мест крепления приборов, устройств и средств автоматики (на технологическом оборудовании, в щитах, пультах, станциях управления, в щитовых помещениях и т. п.).

10. Чертежи прокладки проводок, крепления проводов, кабелей и труб и т. п.

11. Схемы соединений (монтажные) и схемы подключений (внешних соединений), подлежащие монтажу и наладке и т. п.

#### **4.4. ТЕМАТИКА И СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ**

Дипломные проекты по автоматизации сельскохозяйственного производства должны посвящаться разработке систем автоматического управления отдельными объектами и предприятиями сельского хозяйства. Примерно темы должны формулироваться так.

1. Комплексная автоматизация технологических процессов в гидроронных теплицах \_\_\_\_\_ овощной фабрики.

2. Автоматизация кормораздачи на \_\_\_\_\_ свинокомплексе \_\_\_\_\_ области.

3. Автоматизация технологических процессов уборки и переработки помета на \_\_\_\_\_ птицефабрике \_\_\_\_\_ области.

Дипломный проект должен состоять из пояснительной записки и графического материала.

Пояснительная записка не должна превышать 140 страниц текста, включая необходимые иллюстрации. Ее содержание может быть построено по следующей схеме (в скобках указан ориентировочный объем материала).

Введение (5 стр.).

1. Исходные данные для проектирования автоматизации (до 20 стр.).

1.1. Производственно-хозяйственная характеристика объекта автоматизации (или хозяйства, предприятия, где находится объект).

1.2. Техническая и технологическая характеристики объекта автоматизации.

1.3. Цель и задачи дипломного проекта.

2. Разработка систем автоматизации технологических процессов на объекте (до 30 стр.).

2.1. Описание автоматизируемого технологического процесса и технологического оборудования.

2.2. Описание объекта автоматизации.

2.3. Разработка функциональных технологических схем автоматизации.

2.4. Разработка принципиальных схем, схем соединения и подключения.

2.5. Разработка структурных схем.

2.6. Исследование проектируемых САУ и САР.

2.7. Выбор и проектирование щитов и пультов.

3. Разработка специального вопроса (до 30 стр.)

4. Разработка требований к строительной части, энергоснабжению и нестандартному оборудованию (до 10 стр.).

5. Разработка вопросов обеспечения нормальных условий монтажа и эксплуатации автоматических систем (до 10 стр.).

6. Мероприятия по охране труда (до 15 стр.).

7. Мероприятия по гражданской обороне (до 10 стр.).

8. Техничко-экономические расчеты (до 20 стр.).

9. Заключение (общие выводы).

Литература

Оглавление (содержание)

В зависимости от особенностей проекта отдельные разделы допускается объединять и исключать, а также вводить новые.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами с точкой в пределах всего проекта. Подразделы также должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела также ставится точка, например 1.2., 1.3., 2.2., 2.3. и т. д.

Во введении обосновывается актуальность темы дипломного проекта, приводятся материалы и положения из решений съездов КПСС, постановлений партии и правительства по развитию соответствующей отрасли сельского хозяйства, формулируется цель разрабатываемого дипломного проекта и его значение для данного хозяйства (предприятия).

#### **Исходные данные для проектирования автоматизации.**

В производственно-хозяйственной характеристике объекта автоматизации (или хозяйства, предприятия, где находится объект) указывают местонахождение хозяйства (объекта), природно-климатическую зону, климатические условия, основное направление ведения хозяйства (или назначение объекта). Приводят основные экономические и технико-экономические данные, в том числе себестоимость продукции и структуру себестоимости.

Поголовье животных, размеры пахотных площадей и площадей под отдельными культурами, сведения о постройках, сооружениях и помещениях указывают не только по состоянию на момент обследования, но и на перспективу 5...7 лет.

Техническая и технологическая характеристики объекта автоматизации должны содержать следующие материалы:

состав проектируемого объекта, краткое описание и основные характеристики технологического оборудования, установок и агрегатов;

характеристику производственных помещений и мест наружной установки оборудования с точки зрения пожаро- и взрывоопасности, запыленности, влажности и температуры окружающей среды, наличия агрессивных элементов в окружающей среде, уровня вибрации и т. п.;

перечень пунктов управления объектов, расположение и взаимосвязь между ними, принятые системы управления объектов (центральные, цеховые, агрегатные и местные пульты и щиты управления);

значения контролируемых и регулируемых параметров (температуры, влажности, давления, уровня, расхода и т. п.), требования к точности контроля и качеству автоматического регулирования;

технологические схемы производства с трубопроводными коммуникациями;

планы производственных помещений с указанием мест расположения технологического оборудования и трубопроводов;

описание помещений для щитов и пультов;

контуры технологического оборудования, на котором установлены датчики, приборы и другие средства автоматизации;

эскизы щитов и пультов, имеющихся на объекте, с указанием размеров;

мнемонические схемы автоматических систем;

схемы энергоснабжения производства (электроэнергией, теплом, водой, газом, сжатым воздухом и т. п.);

необходимые исходные данные для расчета технико-экономической эффективности автоматизации (первоначальную стоимость оборудования, сроки ввода существующих систем в эксплуатацию, стоимость строительной части, годовую норму амортизации (в процентах), эксплуатационные расходы, расходы сырья и энергии, качество продукции, сроки окупаемости капитальных вложений, производительность оборудования, себестоимость продукции, стоимость отходов производства, коэффициенты использования рабочего времени оборудования, число и квалификацию работников, занятых в производстве, а также ИТР, должностные оклады, месячные зарплаты, распорядок дня, график работы оборудования и т. п.);

объем и задачи автоматизации объекта, характеристику проектируемого уровня автоматизации.

При проектировании автоматизации действующих объектов необходимо указать намечаемые мероприятия по реконструкции объектов, изменению технологии, по созданию поточных линий и повышению уровня механизации процессов производства.

Цель и задачи дипломного проекта.

**Разработка систем автоматизации технологических процессов на объекте.** Описание автоматизируемого технологического процесса и технологического оборудования. В этом разделе дают характеристику технологической линии, участ-

ка, цеха, где производится данная продукция. Приводят схему технологического процесса, которую изображают либо в виде прямоугольников, связанных между собой, либо в виде схематического изображения оборудования, занятого в данном процессе и связанного между собой в определенной последовательности. Описывают технологический процесс со ссылками на технологическую схему. Приводят рекомендации по совершенствованию технологического процесса с точки зрения требований автоматизации.

Описание объекта автоматизации. Указывают назначение объекта, его основные технические данные и параметры, характеризующие режимы работы, а также другие показатели, необходимые для проектирования и исследования автоматической системы управления.

Наряду с техническим описанием приводят математическое описание (статические и динамические характеристики, передаточные функции АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАФЧХ и др.) объекта автоматизации.

Разработка функциональных технологических схем автоматизации. Выбирают параметры (контролируемых, сигнализируемых и регулируемых величин), участвующие в управлении, параметры защиты и блокировки, а также величины, путем изменения которых будут осуществляться управляющие воздействия на объект. Для регулируемых величин указывают пределы их изменения.

Изображают и подробно описывают функциональную технологическую схему автоматизации объекта. Приводят необходимые расчеты и пояснения к выбору датчиков, приборов, исполнительных элементов, регулирующих органов и других средств автоматики.

Разработка принципиальных схем, схем соединения и подключения. На основе разработанной функциональной технологической схемы автоматизации разрабатывают принципиальные электрические схемы (пневматические, гидравлические), схемы автоматического контроля и управления. Если необходимо, то отдельно разрабатывают и изображают принципиальные схемы защиты и блокировки. Разработки сопровождаются необходимыми расчетами и пояснениями.

Наряду с принципиальными схемами, как правило, после выбора технических средств автоматики разраба-

тывают схемы соединения (монтажные) и схемы подключения (внешние соединения).

Выбор и расчет элементов автоматики. Функциональные технологические и принципиальные схемы автоматизации позволяют выбрать функционально необходимые элементы и технические средства автоматики. Выбор элементов автоматики сопровождается необходимыми расчетами и пояснениями.

Разработка структурных схем. Здесь изображают и описывают функциональные и алгоритмические структурные схемы, которые необходимы для аналитического исследования проектируемых автоматических систем. Построение алгоритмических структурных схем сопровождают, как правило, построением статических и динамических характеристик динамических звеньев.

Исследование проектируемых САУ и САР. На основе алгоритмической структурной схемы составляют уравнения динамики САУ (САР) и ее частей, строят частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАХ, ЛФХ).

Проводят следующие исследования проектируемых САУ и САР:

на устойчивость по корням характеристического уравнения, по одному из критериев устойчивости или при помощи логарифмической частотной характеристики разомкнутой автоматической системы;

по определению пределов изменения отдельных параметров автоматической системы и ее звеньев (постоянных времени, передаточных коэффициентов) методом Д-разбиения;

на качество регулирования путем анализа кривой переходного процесса, построенной по корням характеристического уравнения или по вещественной частотной характеристике (ВЧХ) замкнутой системы (метод трапеций, метод треугольников).

Выбор и проектирование щитов и пультов. В этом разделе обосновывают и выбирают тип щитов и пультов по назначению и месту установки, а также по конструктивному исполнению. Выполняют необходимые расчеты, выбирают размеры, размещение приборов и технических средств, соответствующие разметки панелей и т. п. Выбирают место для установки щитов и пультов.

Если предусматривается использовать в управлении мнемонические схемы, то их разрабатывают и изображают.

В этом же параграфе проводится выбор готовых станций управления отдельными процессами и установками или обосновывается необходимость разработки новых станций.

**Разработка специального вопроса.** В качестве специального вопроса целесообразно использовать тему научно-исследовательской работы студента, а также научные вопросы, разрабатываемые кафедрой, за которой закреплен студент-дипломник. В качестве примера далее приводится рекомендуемый перечень тем, которые могут быть положены в основу разработки специального вопроса.

1. Исследование статических и динамических характеристик объекта (объектов) автоматизации (экспериментальное снятие и обработка разгонной характеристики объекта, определение вида и параметров передаточных функций, построение частотных характеристик объекта — АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАХ, ЛФХ и др.).

2. Аналитическое исследование динамики новой автоматической системы в связи с получением характеристик нового, ранее не автоматизированного объекта, применение новых технических средств автоматизации (датчиков, управляющих устройств, исполнительных элементов и др.).

3. Исследование динамики новых автоматических систем на аналоговых и цифровых вычислительных машинах (исследование устойчивости, показателей качества регулирования, влияния настроек и регулировок на характер переходных процессов и т. п.).

4. Разработка и исследование оптимальных (экстремальных) систем автоматизации разных технологических процессов сельскохозяйственного производства.

5. Синтез оптимальной системы автоматического регулирования из условия минимума среднеквадратической ошибки при случайных воздействиях на систему.

6. Разработка и исследование многосвязных систем автоматического управления с введением компенсирующих связей для повышения точности и устойчивости систем.

7. Разработка инвариантных систем автоматического управления.

8. Разработка проекта применения промышленного телевидения на объекте с обоснованием целесообразности применения.

9. Разработка централизованных систем контроля, сигнализации и управления технологическими процессами, в том числе с применением управляющих вычислительных машин.

10. Разработка и исследование новых систем пневмоавтоматики, гидроавтоматики, а также комбинированных систем автоматики с расчетом пневмосистем и гидросистем, источников питания пневмо- и гидросистем, выбором элементов пневмо- и гидроавтоматики и т. п.

11. Разработка конструкций нестандартных элементов и нестандартного оборудования систем автоматики (щитов, пультов, станций управления и т. п.).

При разработке специального вопроса следует помнить, что к нему должно относиться не менее половины листов графической части (4...5 листов формата 24).

**Разработка требований к строительной части, энергообеспечению и нестандартному оборудованию.** В дипломном проекте должны быть сформулированы требования к смежным службам по созданию условий нормального функционирования проектируемых систем автоматического управления. Сюда относятся такие вопросы:

разработка требований к помещениям для размещения щитов и пультов (расположение помещения, его размеры, окраска стен, освещение естественное и искусственное, фундаменты, каналы и т. п.);

формулирование заданий на разработку систем электроснабжения, теплоснабжения, снабжения сжатым воздухом, водой и др.;

формулирование заданий на разработку и изготовление новых датчиков, приборов, усилителей, преобразователей, выпрямителей, источников питания, исполнительных элементов и т. п.;

формулирование заданий на разработку и изготовление нестандартных элементов и устройств автоматики (щитов, пультов, станций управления, элементов мнемонических схем и т. д.).

**Разработка вопросов обеспечения нормальных условий монтажа и эксплуатации автоматических систем.** Для своевременного и высококачественного монтажа и ввода в эксплуатацию автоматических систем, а также осуществления их нормальной эксплуатации в диплом-

ном проекте необходимо разработать следующие вопросы:

рекомендации по организации монтажа систем автоматики (для сложных систем разрабатывается специальный проект организации монтажа и наладки);

рекомендации по организации специальной службы эксплуатации КИПиА (контрольно-измерительных приборов и средств автоматики).

**Мероприятия по охране труда** должны быть разработаны конкретно, применительно к проектируемому объекту. Необходимо установить, к какой категории по опасности поражения электрическим током, взрыво- и пожароопасности относится объект, какие производственные вредности имеются на объекте, какие виды опасностей могут возникнуть в процессе работы оборудования.

Следует определить перечень и число приборов и средств защиты (основных и дополнительных), которые необходимы на объекте. Далее указать, где и как должно быть выполнено заземление, повторные заземления, зануления; рассчитать одно из заземляющих устройств; описать и рассчитать устройство молниезащиты объекта.

Применительно к проектируемому объекту нужно разработать вопросы производственной санитарии (вентиляция, отопление, меры борьбы с шумом и вибрацией и т. п.) и противопожарные мероприятия.

Необходимо указать, кто на объекте отвечает за охрану труда.

Помимо перечисленного, в дипломном проекте можно рассмотреть специальные вопросы, связанные с охраной труда, например разработка автоматических устройств отключения установок при появлении на корпусе потенциала; проектирование устройств для выравнивания электрических потенциалов на полах животноводческих помещений; разработка схем сигнализации при подготовке к пуску агрегатов и технологических линий, при возникновении недопустимых режимов работы технологического оборудования, которые могут привести к авариям и поражению людей и животных и т. п.

При разработке вопросов охраны труда необходимо пользоваться специальной литературой и нормативными документами.

**Мероприятия по гражданской обороне.** Тема разработки по гражданской обороне (ГО) должна быть задана руководителем дипломного проекта, записана в задание на

дипломное проектирование и проконтролирована в процессе выполнения.

Общие соображения по решению вопросов ГО изложены в специальной литературе и учебниках по ГО, например [7]. Однако каждый студент-дипломник должен проявить самостоятельность и свои инженерно-технические знания при решении поставленной задачи.

Примерное содержание раздела по ГО должно быть таким:

задачи ГО и ее формирований на данном объекте;  
задачи специалистов-электромехаников по автоматизации сельскохозяйственного производства по повышению устойчивости работы объекта, планы ГО по специальности;

действия персонала электротехнической службы (службы КИПиА) при угрозе нападения и по сигналам ГО;

действия персонала указанных служб в очаге массового поражения и при организации аварийно-восстановительных работ;

разработка технических вопросов по повышению устойчивости работы электрооборудования и автоматических систем в условиях применения оружия массового поражения.

Вопросы, подлежащие разработке, должны быть конкретными и отражать тему дипломного проекта и специфику будущей работы выпускника вуза.

Разработку вопросов по ГО можно иллюстрировать листом чертежа формата А4.

**Технико-экономические расчеты.** В этом разделе составляют спецификации на оборудование, приборы и средства автоматизации, необходимые для осуществления проекта автоматизации объекта.

Здесь же составляют сметы на оборудование и его монтаж при осуществлении проекта. Сметы служат основой для определения сумм капиталовложений по проекту.

Расчеты экономической эффективности выполняют по методу годовых приведенных затрат. Минимум годовых приведенных затрат служит критерием при выборе целесообразного из нескольких сравниваемых вариантов автоматизации объекта.

Подсчитывают также следующие показатели эффективности автоматизированного производства: повышение производительности труда, снижение себестоимости про-

дукции, прибыль от внедрения автоматизации, рентабельность производства и срок окупаемости капиталовложений.

**Заключение** (общие выводы). В конце пояснительной записки помещают заключение (общие выводы) по дипломному проекту, где приводят основные показатели, которые будут достигнуты в результате осуществления работ проекта. Заключение должно быть изложено на русском и одном из иностранных языков.

После заключения приводится список использованной литературы в алфавитном порядке и оглавление (содержание) пояснительной записки.

В *графическую часть дипломного проекта* рекомендуется включать следующие материалы:

технологические схемы объекта автоматизации;

функциональные технологические схемы автоматизации;

принципиальные электрические (гидравлические, пневматические) схемы автоматического контроля, сигнализации, управления, регулирования и защиты;

схемы электропитания, соединений и подключений; мнемонические схемы;

чертежи щитов, пультов, станций управления и другого нестандартного оборудования;

чертежи установки и крепления датчиков, приборов контроля и сигнализации на технологическом оборудовании, щитах и пультах;

функциональные и алгоритмические структурные схемы систем автоматического управления;

статические, динамические, частотные (в том числе логарифмические частотные) характеристики объектов и других элементов автоматических систем, а также систем автоматического управления в целом;

кривые переходных процессов с методами их построения и определением показателей регулирования;

характеристики и принципиальные схемы корректирующих элементов;

планы щитовых помещений и пунктов службы КИПиА с размещением оборудования;

принципиальные и другие схемы автоматических устройств, разработанные по требованию службы охраны труда и техники безопасности;

принципиальные и другие схемы, а также чертежи нестандартного оборудования и др.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

#### НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(по состоянию на 1.01.1980 г.)

#### I. Строительные нормы и правила (СНиП)

##### *Часть I. Общие положения*

СНиП I-1—74 Система нормативных документов.

##### *Часть II. Нормы проектирования*

СНиП II-4—79 Естественное и искусственное освещение.

СНиП II-30—76 Внутренний водопровод и канализация зданий.

СНиП II-31—74 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

СНиП II-32—74 Канализация. Наружные сети и сооружения.

СНиП II-33—75 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

СНиП II-34—76 Горячее водоснабжение.

СНиП II-35—76 Котельные установки.

СНиП II-36—73 Тепловые сети.

СНиП II-37—76 Газоснабжение. Внутренние и наружные устройства.

СНиП II-60—75 Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов.

СНиП II-97—76 Генеральные планы сельскохозяйственных предприятий.

СНиП II-98—77 Здания и сооружения для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

СНиП II-99—77 Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и сооружения.

СНиП II-100—75 Теплицы и парники.

СНиП II-104—76 Складские здания и сооружения общего назначения.

СНиП II-105—74 Холодильники.

СНиП II-108—78 Склады сухих минеральных удобрений и химических средств защиты растений.

##### *Часть III. Правила производства и приемки работ*

СНиП III-1—76 Организация строительного производства.

СНиП III-3—76 Приемка в эксплуатацию законченных строительством предприятий, зданий и сооружений. Основные положения.

- СНиП III-4—79 Техника безопасности в строительстве.  
 СНиП III-31—78 Технологическое оборудование. Основные положения.  
 СНиП III-Г.10.4—67 Теплоэнергетическое оборудование. Правила производства и приемки монтажных работ.  
 СНиП III-33—76 Электротехнические устройства.  
 СНиП III-34—74 Системы автоматизации.

*Часть IV. Сметные нормы*

- СНиП IV-1—65 Общая часть.  
 СНиП IV-2—65 Указания по применению сметных норм.  
 СНиП IV-4—65 Правила определения сметной стоимости материалов, изделий и конструкций.  
 СНиП IV-31—64 Водопровод и канализация — внутренние устройства.  
 СНиП IV-32—64 Отопление.  
 СНиП IV-33—64 Вентиляция и кондиционирование воздуха.

**II. Инструкции и указания по строительному проектированию**

- СН 47—74 Инструкция по разработке проектов организации строительства и проектов производства работ.  
 СН 75—76 Инструкция по проектированию установок автоматического пожаротушения.  
 СН 102—76 Инструкция по устройству сетей заземления и зануления в электроустановках.  
 СН 174—75 Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий.  
 СН 202—76 Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства.  
 СН 213—73 Инструкция о порядке проведения экспертизы проектов и смет на строительство (реконструкцию) предприятий, зданий и сооружений.  
 СН 261—77 Инструкция по проектированию элеваторов, зерноскладов и других предприятий, зданий и сооружений по обработке и хранению зерна.  
 СН 305—77 Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений.  
 СН 351—66 Указания по выбору и применению установочных электрических проводов.  
 СН 357—77 Инструкция по проектированию силового и осветительного оборудования промышленных предприятий.  
 СН 378—77 Инструкция по оценке качества строительного-монтажных работ.  
 СН 423—71 Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве.  
 СН 463—74 Указания по определению категории производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности.  
 СН 509—78 Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.  
 ВСН 281—76 Инструкция по проектированию автоматизированных производственных процессов.  
 Минприбор  
 ВСН 332—74 Инструкция по монтажу электрооборудования,  
 ММСС СССР силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон,  
 ПУЭ Правила устройства электроустановок,

### III. Общесоюзные нормы технологического проектирования

СН 470—75 Инструкция о порядке разработки новых и пересмотра действующих норм технологического проектирования.

ОНТП 1—77

Минсельхоз СССР Фермы крупного рогатого скота.

ОНТП 2—77

Минсельхоз СССР Свиноводческие фермы.

ОНТП 4—79

Минсельхоз СССР Птицефермы.

ОНТП 17—79

Минсельхоз СССР Системы удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета.

### IV. Нормы технологического проектирования объектов сельского хозяйства

НТП-СХ-5—68 Овцеводческие фермы.

НТП-СХ-10—78 Теплицы и тепличные комбинаты для выращивания овощей и рассады.

НТП-СХ-14—71 Предприятия по переработке фруктов и овощей в колхозах и совхозах.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ПЕРЕЧЕНЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ГОСТ 2.001—70 ЕСКД. Общие положения.

ГОСТ 2.102—68 Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.103—68 ЕСКД. Стадии разработки.

ГОСТ 2.104—68 ЕСКД. Основные надписи.

ГОСТ 2.105—68 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106—68 ЕСКД. Текстовые документы.

ГОСТ 2.108—68 ЕСКД. Спецификация.

ГОСТ 2.109—73 ЕСКД. Основные требования к чертежам.

ГОСТ 2.110—68 ЕСКД. Патентный формуляр.

ГОСТ 2.111—68 ЕСКД. Нормоконтроль.

ГОСТ 2.114—70 ЕСКД. Технические условия. Правила построения, изложения и оформления.

ГОСТ 2.115—70 Технические условия. Порядок согласования, утверждения и государственной регистрации.

ГОСТ 2.120—73 ЕСКД. Технический проект.

ГОСТ 2.121—73 ЕСКД. Технологический контроль конструкторской документации.

ГОСТ 2.411—72 ЕСКД. Правила выполнения чертежей труб, трубопроводов и трубопроводных систем.

ГОСТ 2.413—72 ЕСКД. Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготовляемых с применением электрического монтажа.

- ГОСТ 2.414—75 ЕСКД. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов.
- ГОСТ 2.503—74 ЕСКД. Правила внесения изменений.
- ГОСТ 2.701—76 ЕСКД. Схемы. Виды и типы.
- ГОСТ 2.704—76 ЕСКД. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем.
- ГОСТ 2.709—72 ЕСКД. Система маркировки цепей в электрических схемах.
- ГОСТ 2.721—74, ГОСТ 2.722—68, ГОСТ 2.723—68, ГОСТ 2.725—68... ГОСТ 2.727—68, ГОСТ 2.728—74, ГОСТ 2.729—68, ГОСТ 2.730—73, ГОСТ 2.731—68... ГОСТ 2.742—68, ГОСТ 2.743—72, ГОСТ 2.744—68... ГОСТ 2.748—68, ГОСТ 2.749—70, ГОСТ 2.750—68, ГОСТ 2.751—73, ГОСТ 2.752—71, ГОСТ 2.753—71, ГОСТ 2.754—72, ГОСТ 2.755—74, ГОСТ 2.756—76, ГОСТ 2.780—68... ГОСТ 2.782—68, ГОСТ 2.784—70... ГОСТ 2.786—70, ГОСТ 2.787—71 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
- ГОСТ 2.788—74... ГОСТ 2.792—74 ЕСКД. Обозначения условные графические.
- ГОСТ 2.802—74 ЕСКД. Макетный метод проектирования. Техническая информация на рабочем макете.
- ГОСТ 16084—75 Автоматизированные системы управления технологическими процессами в промышленности. Основные положения.
- ГОСТ 17194—76 Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Термины и определения.
- ГОСТ 17195—76 Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Общие технические требования.
- ГОСТ 19675—74 Автоматизированные системы управления. Основные положения. Термины и определения.
- ГОСТ 20912—75 Автоматизированные системы управления предприятиями. Общие технические требования.
- Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Сборники государственных стандартов.
- ГОСТ 14255—69 Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Оболочки. Степени защиты.
- ГОСТ 16022—76 Реле электрические. Термины и определения.
- ГОСТ 3244—68 Щиты и пульты автоматизации производственных процессов.
- ГОСТ 18404 0—78... ГОСТ 18404.3—73. Кабели управления.
- ГОСТ 16263—70 ГСИ. Метрология. Термины и определения.
- ГОСТ 8.001—71 ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений.
- ГОСТ 8.002—71 ГСИ. Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений.
- ГОСТ 8.009—72 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
- ГОСТ 8.083—73 ГСИ. Общесоюзная поверочная схема для средств измерений температуры в диапазоне от 273,15 до 6300 К.
- ГОСТ 8.221—76 ГСИ. Влагометрия и гигрометрия. Термины и определения.
- ГОСТ 13216—74 Приборы и средства автоматизации. ГСП. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний.
- ГОСТ 13377—75 Надежность в технике. Термины и определения.
- ГОСТ 20699—75 Приборы и средства автоматизации ГСП. Надежность. Методы контрольных испытаний.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Первичный измерительный преобразователь (датчик); прибор, устанавливаемый по месту: на технологическом трубопроводе, стене, полу, колонне, металлоконструкции



Прибор, устанавливаемый на щите, пульте



Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т. п.)



Исполнительный механизм. Общее обозначение. Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется



Исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала



Исполнительный механизм, закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего воздействия



Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего воздействия оставляет регулирующий орган в неизменном положении



Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа после прекращения подачи энергии)



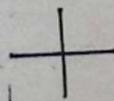
Регулирующий орган



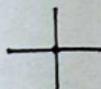
Линия связи



Пересечение линий связи без пересечения друг с другом



Пересечение линий связи с соединением между собой



Примечания. 1. Отборное устройство для всех постоянно включенных приборов не имеет специального обозначения, а представляет тонкую сплошную линию, соединяющую технологический трубопровод или аппарат с первичным измерительным преобразователем или прибором.

2. Если необходимо указать точное место расположения отборного устройства или точки измерения (внутри контура технологического аппарата) в конце тонкой линии изображают окружность диаметром 2 мм.

3. Допускается запорную арматуру (и регулирующую) (например, задвижки, заслонки, шиберы, направляющие аппараты и т.п.) изображать в соответствии с действующими стандартами.

4. Подвод линий связи к символу прибора допускается изображать в любой точке окружности (сверху, снизу, сбоку).

5. Если необходимо указать направление передачи сигнала, то допускается на линии связи наносить стрелки.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

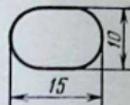
#### РАЗМЕРЫ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (ПО ОСТ 36-27—77)

Первичный измерительный преобразователь (датчик),  
прибор (регулирующий, контролирующий):

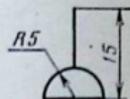
а) базовое обозначение



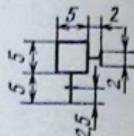
б) допускается изображение



Отборное устройство



Исполнительный механизм



Регулирующий орган



## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ АВТОМАТИКИ

Таблица 30. Программные устройства автоматических систем

Марка программ-ного устройства	Приводной механизм	Наибольшее число управляемых цепей	Максимальная продолжительность цикла, ч	Максимальная выдержка между командами	Допустимая погрешность выполнения программы
КА-24 КЭП-12У МКП ЭРВМ	Микродвигатель > Часовой	1 12 12 По 2 на каждую программу. То же	24 18 24 24	15 мин 3 мин 30 с 30 мин на первой программе 40 мин на второй программе 15 мин на первой программе 20 мин на второй программе	$\pm 15$ мин $\pm 15$ мин $\pm 15$ мин $\pm 5$ мин $\pm 5$ мин
ЭРВМС	>		24		

Таблица 31. Реле времени типа ВС-10\*

Исполнение реле	Пределы выдержек времени	Погрешность реле, с	Минимальный интервал между соседними по величине уставками, с	Исполнение реле	Пределы выдержек времени	Погрешность реле, с	Минимальный интервал между соседними по величине уставками, с
ВС-10-31	2...60 с	$\pm 0,2$	1,5	ВС-10-35, ВС-10-65	3...90 мин	$\pm 20$	120
ВС-10-32	5...180 с	$\pm 0,7$	5	ВС-10-36, ВС-10-66	9...270 мин	$\pm 60$	360
ВС-10-33	15...540 с	$\pm 2$	15	ВС-10-37, ВС-10-67	24...1600 мин	$\pm 120$	1080
ВС-10-34	1...30 мин	$\pm 7$	45	ВС-10-38, ВС-10-68	1...24 ч	$\pm 300$	2700

\* Номинальное напряжение 220, 127, 12 В переменного тока.

Реле ВС-10-31...ВС-10-38 имеют 3 переключающих контакта; ВС-10-62...ВС-10-68 имеют 6 переключающих контактов.

286 Таблица 32. Промежуточные реле

Марка реле	Число и род контактов	Род тока	Номинальное напряжение катушек реле, В	Потребляемая мощность реле	Разрывная способность контактов	
					переменный ток 50 Гц	постоянный ток
МКУ-48	До 8 в разных комбинациях	Переменный 50 Гц	12, 24, 36, 60, 110, 127, 220, 380	5 В·А	До 500 В·А при 220 В	До 50 Вт при 220 В
ПЭ-1	3 переключающих	Постоянный	12, 24, 36, 48, 60, 110, 220	3 Вт	То же	То же
ПЭ-4	2 замыкающих и 2 размыкающих	Переменный	12, 36, 127, 220	3,5 В·А	»	»
ПЭ-6	До 8 в разных комбинациях	Переменный	12, 24, 36, 127, 220, 380, 500	8 В·А	380 В 10 А	220 В 1,5 А
ПЭ-10	4 замыкающих + 4 размыкающих	Постоянный	12, 24, 48, 60, 110, 220	3 Вт	То же	То же
ПЭ-20	4 переключающих	Переменный	12, 24, 36, 127, 220, 380, 500	13 В·А	До 10 А при 380 В	До 1,5 А при 220 В
ПЭ-21	До 8 в разных комбинациях	Переменный Постоянный	12, 24, 36, 127, 220, 380	5 В·А	До 250 В·А	До 60 Вт
		Переменный	Переменное напряжение такое же, как у ПЭ-20, постоянное 12, 24, 48, 60, 110	До 8 В·А на переменном токе и 3 Вт на постоянном	До 500 В·А	До 50 Вт

ПЭ-23	3 переключающих	Постоянный	12, 24, 48, 60, 110	2,5 Вт	До 500 В·А	До 30 Вт
РП-23 РП-24	4 замыкающих и 1 размыкающих	Постоянный	12, 24, 48, 110, 220	До 6 Вт	220 В, 5 А	220 В, 1 А
РП-25 РП-26	4 замыкающих и 1 размыкающих	Переменный	100, 127, 220	До 8 В·А	220 В, 5 А	220 В, 1 А

Т а б л и ц а 33. Шаговые искатели

Наименование показателей	Значения показателей шаговых искателей								
	ШИ-11	ШИ-11/5	ШИ-17	ШИ-25	ШИ-25/8	ШИ-50/4	РШИ-25/4	РШИ-50/4	
Номинальное напряжение, В	24, 48, 60	48, 60	48, 60	24, 48	24, 48	6, 24, 48	90	90	
Число рядов пластин	2,5	5	2,5	4	8	4	4	4	
Число пластин в ряду без токоведущей щетки	11	12	17	27	27	27	27	27	
Щетки ротора:									
с перекрытием	—	—	—	2	2	4	2	4	
без перекрытия	4	5	4	2	2	4	2	4	
Наличие сплошного сегмента	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	
Схема головного контак-та	1з + 1п	1з	1з	1з	1з	1з	—	—	

Наименование показателей	Значения показателей шаговых искателей							
	ШИ-11	ШИ-11/5	ШИ-17	ШИ-25	ШИ-25/8	ШИ-50/4	РШИ-25/4	РШИ-50/4
Схема самопрерывающего контакта	—	—	—	1з+1п	1з+1п	1з+1п	1з+1п	1з+1п
Число лучей в щетках	3	3	2	2	2	1	2	1
Тип провода	Прямой	Прямой	Прямой	Обратный	Обратный	Обратный	Обратный	Обратный

Параметры герконов	КЭМ-1	КЭМ-2	МКВ-1	МУ ПЭВ-1
	Ампер-витки срабатывания	110	64	80 . . . 100
Рабочее сопротивление, Ом	0,08	0,15	0,2	0,6
Число срабатываний	$10^6 . . . 10^9$	$10^6 . . . 10^9$	$10^6 . . . 10^9$	$10^6 . . . 10^9$
Сопротивление изоляции, Ом	$10^9$	$10^9$	$10^9$	$10^9$
Рабочая температура, °С	От — 100 до + 200			
Диаметр стекла, мм	5,4	3,0	4,6	6,25
Длина по стеклу, мм	20	20	23	42

Таблица 35. Электрические реле типа РЭС с магнитоуправляемым контактом

Марка реле	Габариты, мм	$t_{\text{ср}}$ , мс	$t_{\text{отп}}$ , мс	Число контактных групп	Число срабатываний	Масса, г
РЭС-42	13×27×21,5	2	1	1	$10^7 \dots 10^8$	12
РЭС-43	16,4×27×21,5	2	1	2	$10^7 \dots 10^8$	16
РЭС-44	19,4×27×21,5	3	1	3	$10^7 \dots 10^8$	20

Таблица 36. Состав и функциональное назначение логических элементов серии «Логика-Т»

Тип	Наименование	Основное назначение
T-101	Логический элемент ИЛИ—НЕ	Двойная диодно-транзисторная схема, реализует логическую операцию ИЛИ—НЕ
T-102	Триггер маломощный	Применяется в схемах счетчиков, регистров, а также как «память»
T-103	Триггер мощный	Используется в разветвленных цепях шифраторов и дешифраторов, а также как «память»
T-104	Двойная потенциально-импульсная ячейка	Преобразование потенциальных сигналов в импульсные, реализация потенциально-импульсных схем совпадения, размножение входа элемента T-103
T-105	То же	То же. Размножение входов элемента T-103

Тип	Наименование	Основное назначение
Т-106	Диодный логический элемент	Реализация функции ИЛИ, размножение входов элемента Т-101
Т-107	То же	Реализация функции И
Т-201	Согласующий входной элемент	Согласование сигналов, гальваническое разделение первичных цепей и входов транзисторных элементов
Т-202	Релейный элемент	Преобразование непрерывных изменений входного напряжения в дискретный сигнал заданного уровня
Т-203	Нуль-орган	Сравнение двух напряжений постоянного тока
Т-301	Тройная RC-цепочка	Применяется в схемах для задержки импульсов и в качестве фильтра
Т-302	Двойная транзисторная задержка	Применяется для построения линий задержек, обновляторов и мультивибраторов
Т-303	Выдержка времени	Выдержка времени с регулированием в пределах от 0,5 до 10 с
Т-304	То же	Выдержка времени от 10 до 100 с
Т-401	Двойной усилитель согласования	Для повышения нагрузки логических элементов (выходной ток до 40 мА)
Т-402	Двойной усилитель мощности	Выходная мощность до 3 Вт, ток до 125 мА
Т-404	То же	Выходная мощность до 30 Вт, ток до 1,25 А
Т-405	»	Выходная мощность до 100 Вт, ток до 4,2 А

Таблица 37. Манометрические электроконтактные термометры ЭКТ

Тип термометра	Пределы показаний, °C		Погрешность в % от диапазона шкалы	Наполнитель термосистемы
	от	до		
ЭКТ-1-0/100	0	100	Для всех термометров ±2,5	Хлорметил » Ацетон Бензол Азот »
ЭКТ-1-50/150	50	150		
ЭКТ-1-60/200	60	200		
ЭКТ-1-100/250	100	250		
ЭКТ-2-0/300	0	300		
ЭКТ-2-0/400	0	400		

Таблица 38. Терморезисторы для измерения и регулирования температуры

Тип терморезистора	R, кОм, при 20° C	t <sub>окр</sub> , °C		P <sub>макс</sub> , мВт	T, с, не более	Температурный коэффициент, %, °C	
		от	до			от	до
ММТ-1	1 . . . 220	-60	125	600	85	-2,4	-5,0
КМТ-1	22 . . . 1000	-60	180	1000	85	-4,2	-8,4
ММТ-4	1 . . . 220	-60	125	700	115	-2,4	-5,0
КМТ-4	22 . . . 1000	-60	180	1100	115	-4,2	-8,4
ММТ-6	10 . . . 100	-60	125	50	35	-2,4	-5,0
ММТ-8	0,001 . . . 1	-40	70	600	—	-2,4	-4,0
КМТ-8	0,1 . . . 10	-40	70	600	—	-4,2	-8,4
ММТ-9	0,01 . . . 4,7	-60	125	—	—	-2,4	-5,0
ММТ-12	0,0047 . . . 1	-60	125	—	30	-2,4	-4,0
КМТ-12	0,1 . . . 10	-60	125	—	30	-4,2	-8,4
КМТ-17	0,33 . . . 22	-60	155	—	30	-4,2	-7,0

Таблица 39. Позисторы для измерения и регулирования температуры

Тип позистора	R <sub>20</sub> , Ом	t <sub>раб</sub> , °C	P <sub>макс</sub> , мВт	T, с, не более	Температурный коэффициент α, %, °C	t <sub>окр</sub> , °C
СТ5-1	20 . . . 450	130	700	20	20	-20 . . . 200
СТ6-1А	40 . . . 400	140	1100	20	10	-60 . . . 155
СТ6-1Б	180 . . . 270	100	800	20	15	-60 . . . 125
СТ6-2Б	10 . . . 100	100	1300	10	15	-60 . . . 125
СТ6-3Б	1000 . . . 10 000	80	200	—	15	-60 . . . 125
СТ6-4Б	100 . . . 400	100	800	40	15	-60 . . . 125

Таблица 40. Термометры сопротивления

Вид термометров	Тип	Градуировка	Пределы измерения, °С	Показатель тепловой инерции	Число чувствительных элементов
Медные	ТСМ-X, ТСМ-XI	23	-50...+100	4 мин	Один
	ТСМ-6097	23 и 24	-50...+150 -50...+250	4 мин и 30 с	То же
	ТСМ-5071	23 и 24	-50...+150	120 с	»
	ТСМ-010	23	-50...+100	2,5 мин	Один (ТСМ-010)
	ТСМ-020				Два (ТСМ-020)
	ТСМ-5114	23	-50...+100	25 с	Один
	ТСМ-8012	23	0...+50	20 мин	То же
	ТСМ-148	23	0...+120	80 с	»
	ТСМ-8034М	23	-50...+85	30 с	»
	Платиновые	ТСП-8012	22	0...50	20 мин
ТСП-6108		22	-50...+60	20 с	»
ТСП-154		21	-50...+140	20 с	»
ТСП-6105		22	-260...+200	9 с	»
ТСП-955М		22	0...100	9 с	»

Таблица 41. Термопары

Наименование термопары	Обозначение		Верхний предел температуры, °С		Термо-э.д.с. при перепаде температур между спаями 100° С, мВ
	тип	градуировка	длительное	кратковременно	
Платина-платинородий (10%)	ТПП	ПП-1	1300	1600	0,643
Платинородий (6%)	ТПР	ПР-30/6	1600	1800	—
Хромель-алюмель	ТХА	ХА	1000	1300	4,10
Хромель-копель	ТХК	ХК	600	800	6,95
Медь-константан	—	М	350	500	4,16

Таблица 42. Вторичные приборы серии КС

Наименование показателей	Значение показателей приборов						
	КП1, КПМ1, КПVI	КСП, КСМ1, КСVI	КСП2, КСМ2, КСУ2	КСП3, КСМ3, КСД3	КСП4, КСМ4, КСУ4	КВП, КВМ, КВД	
Погрешность показаний, %	0,5	1	0,5	0,5	0,25; 0,5	0,5	
Погрешность записи, %	—	1	1	1	0,5	—	
Время пробега указателем или кареткой всей шкалы, с	2,5 или 5	2,5 или 5	2,5 или 10	5 или 15	1, 2, 5 или 10	—	
Ширина диаграммы или длина оцифрованной части шкалы, мм	300	100	160	600	250	—	
Число точек измерения	1	1	1, 3, 6 или 12	1	1, 3, 6 или 12	1,6 или 12	
Скорость движения диаграммной ленты, мм/ч	—	10, 20, 40, 60 или 120	2600	1 оборот диаграммной диаграммы за 24 ч	от 20 до 7200	—	
Напряжение питания	220В, 50 Гц	220В, 50 Гц	127/220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	

Таблица 43. Манометрические термосигнализаторы

Тип прибора	Пределы измерения, °С		Интервалы температур, °С		Цена деления, °С	Погрешность при температуре окружающей среды от -5 до +20 °С		Наполнитель термосисты
	от	до	от	до		%	°С	
TСМ-100	0	100	0	40	5	4	+4	Хлорметил
			40	100	2	2,5	+2,5	
TСМ-200	0	200	100	140	5	4	+8	Ацетон
			140	200	2	2,5	+5	

Таблица 44. Терморегуляторы ТУДЭ

Тип	Диапазон измеряемых температур, °С	Класс точности	Длина чувствительного элемента, мм	Зона чувствительности, °С	Исполнение корпуса
ТУДЭ-1	-30 . . . 40	1,5	265 505	4 . . . 20 2 . . . 10	Пылебрызгозащищенное
ТУДЭ-2	0 . . . 100	2,5	265 505	4 . . . 20 2 . . . 10	То же
ТУДЭ-3	30 . . . 100	1,5	265 505	4 . . . 20 2 . . . 10	»
ТУДЭ-4	0 . . . 250	2,5	265	4 . . . 20	»
ТУДЭ-5	100 . . . 250	1,5	265	4 . . . 20	»
ТУДЭ-6	200 . . . 500	2,5	265 365	7 . . . 20 7 . . . 20	»
ТУДЭ-7	400 . . . 1100	1,5	365 465	7 . . . 20 7 . . . 20	»
ТУДЭ-8	0 . . . 40	1,5	265 505	4,5 . . . 20 2,5 . . . 10	Пылебрызгозащитный и взрывозащитный
ТУДЭ-9	0 . . . 100	2,5	265 505	4,5 . . . 20 2,5 . . . 20	То же
ТУДЭ-10	30 . . . 100	1,5	265 505	4,5 . . . 20 2,5 . . . 10	»
ТУДЭ-11	30 . . . 160	2,5	265 565	4,5 . . . 20 2,5 . . . 10	»
ТУДЭ-12	0 . . . 250	2,5	265	4,5 . . . 20	»

Т а б л и ц а 45. Мембранные датчики уровня

Тип датчика уровня	Усилие срабатывания, г	Разрывная способность контактов	Габариты, мм	Масса, кг
ДУЗ-1 МДУ-3, МДУ-3с	300 + 700 50	80 Вт, 380 В 2А, 220 В	240×145×60 115×115×86	2,5 0,32 (МДУ-3)

Т а б л и ц а 46. Электронные измерители уровня типа ЭИУ

Наименование показателей	Значение показателей приборов	
	ЭИУ-2	ЭИУ-1ВМ
Напряжение питания, В	220±22	220±22
Потребляемая мощность, В·А	15	40
Назначение	Измерение уровня сыпучих и жидких электропроводных и неэлектропроводных материалов	Измерение уровня жидких, легковоспламеняющихся и взрывоопасных материалов
Погрешность измерения, %	±2,5	±2,5
Температура окружающей среды для электронного блока, °С	0 . . . +50	-25 . . . +60
Масса электронного блока, кг	2,5	5,0
Масса дистанционного указателя, кг	0,8	0,8

Т а б л и ц а 47. Бесконтактные ПИ-регулирующие приборы серии РПИБ

Первичные преобразователи	Тип		Регулируемые параметры
	измерительного блока	регулирующего прибора	
Дифференциально-трансформаторный или индуктивный (три входа)	И-III	РПИБ-III	Уровень, разряжение, давление, расход
То же (четыре входа)	И-IV	РПИБ-IV	
Термометр сопротивления (один)	И-С	РПИБ-С	Температура
То же (два)	И-2С	РПИБ-2С	
Термопара (одна)	И-Т	РПИБ-Т	
То же (две)	И-2Т	РПИБ-2Т	

Первичные преобразователи	Тип		Регулируемые параметры
	измерительного блока	регулирующего прибора	
Трансформатор тока (один) и дифференциально-трансформаторный преобразователь (один)	И-М	РПИБ-М	Активная мощность в цепях переменного тока
Кислородомер (один) и дифференциально-трансформаторный или индукционный преобразователь (два)	И-МК	РПИБ-МК	Содержание кислорода в газах

Таблица 48. Электрические исполнительные механизмы

Тип исполнительного механизма	Номинальный момент на валу, кг·м	Пусковой момент, не менее кг·м	Время одного оборота выходного вала, с	Максимальный угол поворота выходного вала, град	Напряжение питания при частоте 50 Гц, В	Потребляемая мощность, В·А	Габариты, мм
ДР-М							240×122×285
ДР-1М							240×122×180
ПР-М	1	—	10, 30	180	220	50	230×122×285
ПР-1М			60, 90, 120				230×122×180
ИМ-2/120	2	3	120	120	220	30	246×230×210
МЭО-1,6/40	1,6	2,4	40			40	234×234×213
МЭО-4/100	4	6	100	90, 240	220	64	260×330×300
МЭО-10/100	10	17	100			64	260×330×300
МЭО-63/250	63	107	250			585	425×455×550
ИМТ-4/35	4	6	2,5	350	220/380	270	455×210×220
МЭК-10К/120	10	15	120	90, 270	127, 220	180	326×313×435
МЭК-25К/4СМ	25	42	40	90, 240	220/380	115	490×523×392
БИМ-2,5/120	2,5	3,5	120	120	127	30	246×230×210
БИМ-25/100	25	31	100	90, 270	220	150	313×374×480

Таблица 49. Станции управления зерноочистительными и сушильными агрегатами и комплексами

Тип агрегата или комплекса	Тип станции управления	
	зерноочистительного отделения	сушильного отделения
ЗАВ-10	ШАИ 5918-13А3	—
ЗАВ-20	ШАИ 5919-13А3	—
ЗАВ-40	ШАИ 5920-23А3	—
ЗАР-5	ШАИ 5927-13А3	—
КЗС-5	ШАИ 5921-13А3	ШАП 5987-23А3
КЗС-10Б	ШАИ 5922-13А3 (ШАИ 5923-13А3)	ШАП 5909-23А3
КЗС-20Ш	ШАИ 5924-23А3	ШАП 5915-43А3
КЗС-20Б	ШАИ 5924-23А3	ШАП 5911-33А3
КЗР-5	ШАИ 5928-23А3	ШАП 5915-А3А3

Таблица 50. Системы управления центробежными скважными электронасосами типа ЭЦВ

Тип системы управления	Типы электронасосов
САУНА-2,1-1-У2/Т2*	ЭЦВ6-6,3-60
САУНА-2,8-1-У2/Т2	ЭЦВ6-4-90; ЭЦВ6-4-130 2ЭЦВ6-6,3-85; 1ЭЦВ6-10-50
САУНА-4,4-1-У2/Т2	ЭЦВ6-4-190; 1ЭЦВ6-6,3-125
САУНА-5,5-1-У2/Т2	ЭЦВ6-6,3-175; 1ЭЦВ6-10-110
САУНА-8-1-У2/Т2	ЭЦВ6-6,3-250; 1ЭЦВ6-10-140; 1ЭЦВ6-10-185; ЭЦВ8-25-70
САУНА-11-1-У2/Т2	1ЭЦВ6-10-235; 1ЭЦВ8-25-100; 1ЭЦВ10-63-40
САУНА-16-1-У2/Т2	ЭЦВ8-25-150
САУНА-22-1-У2/Т2	1ЭЦВ10-63-65; ЭЦВ12-210-25
САУНА-32-1-У2/Т2	1ЭЦВ10-63-110; 1ЭЦВ10-63-150;
САУНА-45-1-У2/Т2	1ЭЦВ10-63-180; ЭЦВ12-160-65; ЭЦВ12-210-55; ЭЦВ12-375-30
САУНА-65-1-У2/Т2	1ЭЦВ10-63-270; ЭЦВ12-160-100
САУНА-90-1-У2/Т2	ЭЦВ12-160-140
САУНА-125-1-У2/Т2	ЭЦВ12-210-145

\* Исполнение для умеренного климата (У) или тропического (Т).

## ЛИТЕРАТУРА

### ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС.—М.: Политиздат, 1976.
2. Брежнев Л. И. О дальнейшем развитии сельского хозяйства СССР. Доклад на июльском (1978 г.) Пленуме ЦК КПСС.—М.: Политиздат, 1978.
3. Автоматизация технологических процессов пищевых производств/Под ред. Е. Б. Карпина.—М.: Пищевая промышленность, 1977.—432 с.
4. Автоматика на сельскохозяйственных предприятиях. Справочник.—М.: Россельхозиздат, 1978.—272 с.
5. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие/Под ред. Б. Д. Кошарского.—Л.: Машиностроение, 1976.—486 с.
6. Адабашьян А. К., Минаев П. А. Монтаж систем контроля и автоматики.—М.: Стройиздат, 1974.—408 с.
7. Акимов Н. И., Ильин В. Г. Гражданская оборона на объектах сельскохозяйственного производства.—М.: Колос, 1978.—336 с.
8. Барласов Б. З., Демкович В. А. Предмонтажная проверка средств автоматизации.—Л.: Стройиздат, 1979.—264 с.
9. Барласов Б. З., Ильин В. И. Наладка приборов и средств автоматизации.—М.: Высшая школа, 1975.—352 с.
10. Белоруссов Н. И. и др. Электрические кабели, провода и шнуры (Справочник).—М.: Энергия, 1979.—416 с.
11. Будзко И. А., Бородин И. Ф. Новые элементы автоматики сельских электроустановок.—М.: Колос, 1971.—312 с.
12. Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов.—М.: Колос, 1977.—328 с.
13. Великанов К. М. и др. Экономика и организация производства в дипломных проектах.—Л.: Машиностроение, 1977.—208 с.
14. Временные нормы времени на техническое обслуживание электрооборудования, КИП и средств автоматики комплексов по производству продуктов животноводства на промышленной основе.—М.: ЦНИИТЭИ, 1976.—120 с.
15. Временное руководство по техническому обслуживанию КИП, средств автоматики и электрооборудования сельскохозяйственных объектов.—Киев: Укрсельхозтехника, 1973.—80 с.

16. Гамрат-Курек Л. И. Экономическое обоснование дипломных проектов. — М.: Высшая школа, 1974.—192 с.
17. Гинзбург И. Б., Титов Ю. А. Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических устройств в промышленности строительных материалов. — Л.: Стройиздат, 1976.—256 с.
18. Глинков Г. М. и др. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов.— М.: Металлургия, 1970.—422 с.
19. Голубятников В. А., Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. — М.: Химия, 1972.—248 с.
20. Гольцман В. А. Приборы контроля и автоматики тепловых процессов. — М.: Высшая школа, 1976.—240 с.
21. Грейнер Г. Р. и др. Проектирование бесконтактных управляющих логических устройств промышленной автоматики. — М.: Энергия, 1977.—384 с.
22. Гуров А. М., Починкин С. М. Автоматизация технологических процессов. — М.: Высшая школа, 1979.—380 с.
23. Домашин А. Е., Батицкий В. А. Монтаж, наладка и эксплуатация систем автоматики. — М.: Недра, 1979.—248 с.
24. Дубровский А. Х., Ионас С. А. Проектирование щитов и пультов систем автоматизации. — М.: Энергия, 1975.—192 с.
25. Елистратов П. С. Расчет экономической эффективности при учебном проектировании электроустановок. — Минск: Вышэйшая школа, 1974.—128 с.
26. Емельянов А. И., Капник О. В. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами. Справочное пособие. — М.: Энергия, 1974.—500 с.
27. Жарковский Б. И. Приборы автоматического контроля и регулирования. — М.: Высшая школа, 1978.—272 с.
28. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования. — Киев: Вища школа, 1975. — 424 с.
29. Захаров В. Н. и др. Системы управления. Задание, проектирование, реализация. — М.: Энергия, 1972.—344 с.
30. Ивашин Г. В., Никитенко К. Ф. Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических устройств в пищевой промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1977.—184 с.
31. Игнатенко И. И. Эксплуатация средств автоматизации.—М.: Колос, 1977.—176 с.
32. Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства (СН 202—76) — М.: Стройиздат, 1976.—96 с.
33. Казьмин П. И. Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических устройств химических производств. — М.: Химия, 1979.—296 с.
34. Каминский М. Л. Монтаж приборов контроля и аппаратуры регулирования и управления. 4-е изд. — М.: Высшая школа, 1978.—312 с.
35. Ключев А. С. Аппаратура для проверки приборов технологического контроля. — М.: Энергия, 1979.—179 с.
36. Ключев А. С. и др. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. — М.: Энергия, 1977.—296 с.
37. Ключев А. С., Минаев П. А. Наладка систем контроля и автоматического управления. — Л.: Стройиздат, 1980.—208 с.

38. Копелович А. П. Автоматическое регулирование в черной металлургии. Краткий справочник. — М.: Изд. литературы по черной и цветной металлургии, 1963.—408 с.
39. Кудрявцев И. Ф. и др. Автоматизация производственных процессов на фермах. — М.: Колос, 1977.—288 с.
40. Мартыненко И. И., Саркисян В. И. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах. — М.: Колос, 1980.—288 с.
41. Мартыненко И. И., Тищенко Л. П. Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации и автоматизации. — М.: Колос, 1978.—224 с.
42. Мацепон П. Ф. и др. Проектирование систем автоматики в строительстве. — Киев: Вища школа, 1976.—232 с.
43. Молчанов Л. Г. Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических устройств. — М.: Лесная промышленность, 1975.—208 с.
44. Монтаж приборов и средств автоматизации. Справочник, 2-е изд./Под ред. А. С. Ключева. — М.: Энергия, 1979.—728 с.
45. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Справочное пособие/Под ред. А. С. Ключева. — М.: Энергия, 1977.—400 с.
46. Нестеренко А. Д. и др. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. — Киев: Наукова думка, 1976.—840 с.
47. Организация монтажа и пусконаладки машин и оборудования на животноводческих фермах, в комплексах и тепличных комбинатах силами предприятий «Сельхозтехники». Обзорная информация. — М.: ЦНИИТЭИ, 1973.—60 с.; 1974.—108 с.
48. Организация технического обслуживания машин и оборудования на животноводческих фермах и в комплексах. Обзорная информация. — М.: ЦНИИТЭИ, 1974.—56 с.
49. Паперный Е. А., Эйдельштейн И. Л. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматического контроля и управления в рыбной промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1976.—192 с.
50. Петров В. Е., Ливанов Ю. В. Эксплуатация систем автоматики на магистральных нефтепроводах. — М.: Недра, 1975.—240 с.
51. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука, 1978.—256 с.
52. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. — М.: Наука, 1979.—256 с.
53. Прищеп Л. Г. Эффективная электрификация защищенного грунта. — М.: Колос, 1980.—208 с.
54. Приборы для измерения и регулирования температуры. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978.—148 с.
55. Приборы для измерения и регулирования уровня жидкостей и сыпучих материалов. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979.—48 с.
56. Приборы для измерения и регулирования давления, перепада давления и разрежения. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979.—144 с.
57. Приборы для измерения и регулирования расхода и количества жидкостей и газов. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980.—40 с.

58. Приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей, твердых и сыпучих веществ. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978.—148 с.
59. Приборы для измерения и дозирования массы.—М.: ЦНИИТЭИ—приборостроения, 1977.—80 с.
60. Приборы для измерения параметров движения, вибрации и счетчики.—М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979.—48 с.
61. Приборы времени технические и часовые механизмы.—М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979.—56 с.
62. Приборы охраны окружающей среды.—М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978.—60 с.
63. Рапорт Г. Н. и др. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.—М.: Машиностроение, 1977.—246 с.
64. Симою М. П. Определение коэффициентов передаточных функций линеаризованных звеньев и систем регулирования.—Автоматика и телемеханика, т. XVIII, 1957, № 6, с. 514...528.
65. Славин Р. М. Комплексная механизация и автоматизация промышленного птицеводства.—М.: Колос, 1978.—320 с.
66. Смирнов И. Н. Синтез систем управления на логических элементах.—Л.: Изд. Ленинградского университета, 1975.—78 с.
67. Соучек Б. Микропроцессоры и микро-ЭВМ.—М.: Советское радио, 1979.—520 с.
68. Справочное руководство по наладке устройств автоматического управления технологическими процессами в легкой промышленности.—М.: Легкая индустрия, 1977.—288 с.
69. Строительные правила и нормы, ч. III. Правила производства и приемки работ. Глава 34. Системы автоматизации (СНиП III-34—74) — М.: Стройиздат, 1976.—82 с.
70. Таманов Г. Н., Канцыбко И. П. Монтаж систем контроля и автоматики в нефтехимической промышленности.—М.: Стройиздат, 1972.—224 с.
71. Теоретические основы построения логической части релейной защиты и автоматики энергосистем/Под ред. В. Е. Полякова.—М.: Энергия, 1979.—238 с.
72. Теория автоматического управления, ч. I и II/Под ред. акад. А. А. Воронова.—М.: Высшая школа, 1977.—288 с.
73. Техника проектирования систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие/Под ред. Л. И. Шипетина—М.: Машиностроение, 1976.—496 с.
74. Техническое обслуживание оборудования промышленных комплексов. Обзорная информация.—М.: ЦНИИТЭИ, 1976.—44 с.
75. Трегуб В. Г., Терновой А. В. Наладка и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств.—Киев: Техніка, 1978.—318 с.
76. Туровец О. Г., Билинкис В. Д. Вопросы экономики и организации производства в дипломных проектах.—М.: Высшая школа, 1978.—160 с.
77. Шеповалов В. Д. Автоматизация уборочных процессов.—М.: Колос, 1978.—384 с.
78. Эксплуатация автоматических устройств в легкой промышленности.—М.: Легкая индустрия, 1975.—448 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>ЧАСТЬ I</b>	
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ . . . . .</b>	<b>9</b>
1.1. Основные нормативные документы по проектированию . . . . .	9
1.2. Состав проектов автоматизации технологических процессов . . . . .	12
1.3. Содержание текстовых документов проекта автоматизации технологических процессов . . . . .	19
1.4. Схемы, применяемые в проектах автоматизации технологических процессов . . . . .	24
1.5. Исследование объектов управления . . . . .	44
1.5.1. Аналитический метод . . . . .	45
1.5.2. Экспериментальные методы . . . . .	51
1.5.3. Выбор типа регулятора в зависимости от свойств объектов управления . . . . .	73
1.6. Разработка систем автоматизации . . . . .	74
1.7. Выбор контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации при проектировании автоматических систем . . . . .	85
1.8. Типовые решения автоматизации процессов [19] . . . . .	96
1.8.1. Нагревание и охлаждение жидкостей . . . . .	96
1.8.2. Сушка сыпучих материалов . . . . .	98
1.8.3. Смешение жидкостей . . . . .	101
1.8.4. Разделение неоднородных сред . . . . .	103
1.8.5. Дозирование сыпучих материалов . . . . .	104
1.9. Особенности проектирования АСУТП . . . . .	106
1.10. Проектирование устройств электропитания систем автоматизации . . . . .	110
1.11. Проектирование щитов и пультов. Требования к щитовым помещениям . . . . .	122
1.12. Проектирование заземлений электроустановок систем автоматизации . . . . .	131
1.13. Проектирование и изготовление мнемосхем . . . . .	134
1.14. Расчеты надежности и экономической эффективности при проектировании автоматизации . . . . .	138

1.14.1. Надежность элементов и систем автоматизации	138
1.14.2. Техничко-экономическая эффективность автоматических систем в сельскохозяйственном производстве	144

## ЧАСТЬ 2

### МОНТАЖ И НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ . . . . . 151

2.1. Организация монтажных работ на сельскохозяйственных объектах	151
2.2. Монтаж электрических проводок	158
2.3. Монтаж трубных проводок	163
2.4. Монтаж щитов и пультов	168
2.5. Монтаж приборов и средств автоматизации	169
2.6. Правила сдачи смонтированных средств и систем автоматизации	170
2.7. Организация пусконаладочных работ	172
2.8. Наладка отдельных приборов и средств автоматизации	173
2.8.1. Наладка датчиков автоматики	174
2.8.2. Наладка управляющих элементов	176
2.8.3. Наладка исполнительных механизмов	180
2.9. Наладка систем автоматического регулирования	181
2.9.1. Наладка регуляторов непрерывного действия	183
2.9.2. Наладка релейных регуляторов	190

## ЧАСТЬ 3

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ . . . . . 196

3.1. Организация службы КИПиА в сельскохозяйственном производстве	196
3.1.1. Задачи службы КИПиА	196
3.1.2. Структура и состав службы КИПиА	197
3.1.3. Техническое оснащение службы эксплуатации	198
3.2. Организация и проведение текущего технического обслуживания приборов и средств автоматизации	203
3.3. Организация и проведение ремонтов КИПиА	205
3.4. Организация и проведение поверок КИПиА	208

## ЧАСТЬ 4

### ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ . . . . . 218

4.1. Семинарские занятия. Содержание семинарских занятий	218
4.2. Лабораторные работы по курсу*	234
4.3. Тематика и содержание курсовой работы	266
4.4. Тематика и содержание дипломных проектов	268

<i>Приложение 1.</i> Нормативные документы и материалы, применяемые при проектировании электрификации и автоматизации технологических процессов	279
---	-----

<i>Приложение 2.</i> Перечень государственных стандартов, применяемых при проектировании и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов	281
--	-----

Приложение 3. Условные обозначения на функциональных схемах . . . . .	
Приложение 4. Размеры графических изображений (по ОСТ 36-27-77) . . . . .	
Приложение 5. Справочные данные по техническим средствам автоматике . . . . .	
Литература . . . . .	

**Иван Иванович Мартыненко**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ**

Редактор *Г. М. Микая*  
 Художественный редактор *А. И. Бершачевская*  
 Технический редактор *Н. А. Никонова*  
 Корректор *И. Я. Туманова*

**ИБ № 1455**

Сдано в набор 24.04.81. Подписано к печати 23.10.81. Т-27865. Формы 84×108<sup>1/2</sup>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,96+0,21 форзац. Усл. кр.-отт. 16,38. Уч.-изд. л. 16,61+0,28 форзац. Изд. № 222. Тираж 10 000 экз. Заказ № 749. Цена 80 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спаская, 18

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7



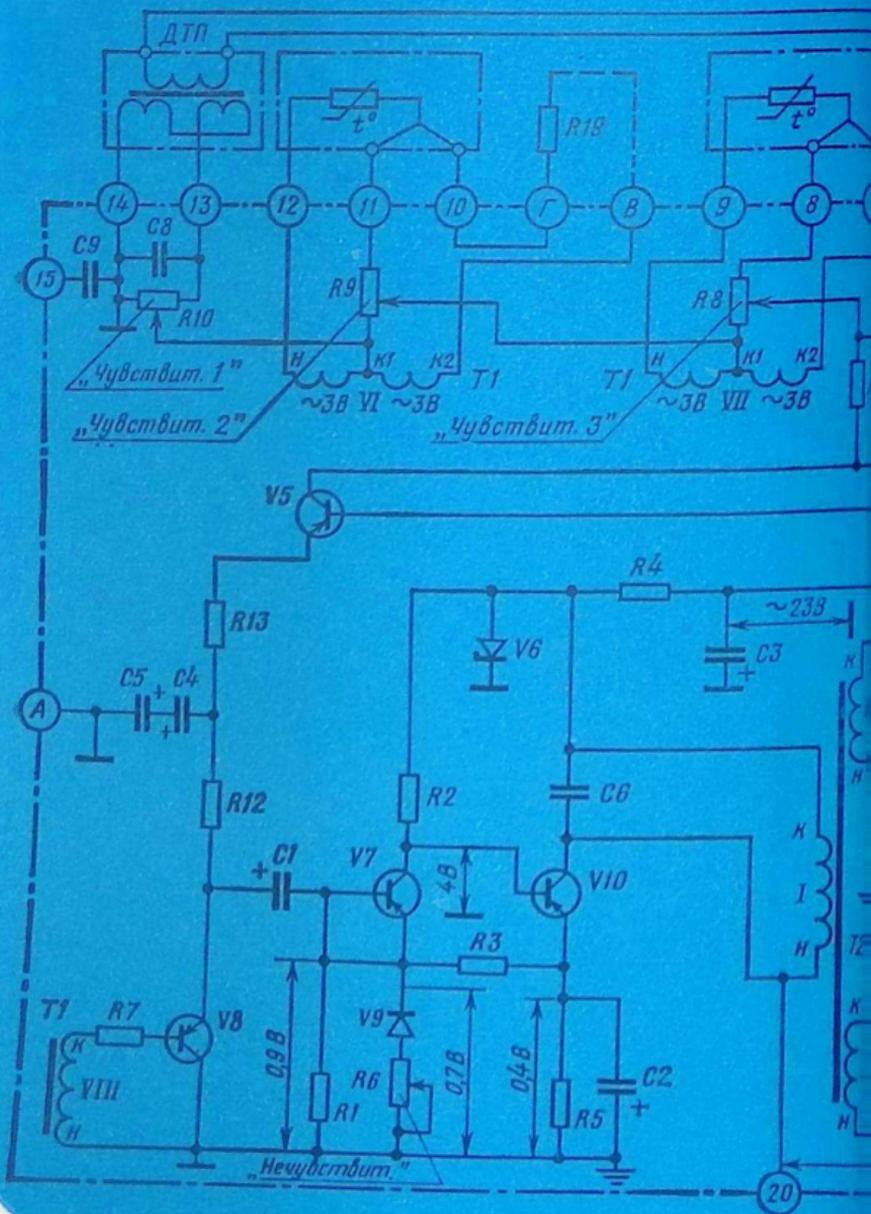


Рис 74  
 ПРИНЦИПАЛЬНАЯ  
 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА  
 УСИЛИТЕЛЯ УТ-ТС  
 С УЗЛОМ СУММИРОВАНИЯ  
 И ЗАДАТЧИКОМ

