

М. З. Ганкин

Комплексная
автоматизация
и АСУТП
водохозяйственных
систем

 Учебник 

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ТЕХНИКУМОВ

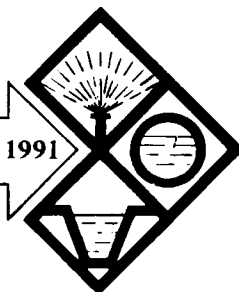
М. З. Ганкин

Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем

Допущено отделом кадров и социального развития Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР в качестве учебника для учащихся сельскохозяйственных техникумов по специальности 2203 «Эксплуатация автоматизированных систем»



Москва ВО "Агропромиздат" 1991



ББК 40.6

Г19

УДК 626.8:65.011.56(075.3)

Редактор *Н. М. Щербакова*

Рецензенты: *Е. А. Нурлыбаев* (Чимкентский гидромелиоративно-строительный техникум), *В. С. Яковлев* (Волгоградский гидромелиоративный техникум)

Ганкин М. З.

Г19 **Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем.** — М.: Агропромиздат, 1991. — 432 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов).
ISBN 5—10—001289—7

Рассмотрены водохозяйственные системы мелиоративного назначения и их технологические процессы как объекты автоматизации; применяемые для этой цели современные методы и технические средства, включая АСУТП и ЭВМ; роль и значение автоматизации в создании совершенных гидромелиоративных систем с высокими технико-экономическими показателями; автоматизация полива.

Для гидромелиоративных техникумов по специальности «Эксплуатация автоматизированных систем».

Г $\frac{380300000-033}{035(01)-91}$ 270—90

ББК 40.6

ISBN 5—10—001289—7

© Ганкин М. З., 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прогрессивно нарастающий дефицит водных ресурсов в ряде речных бассейнов и водохозяйственных систем страны обуславливают высокие требования к обоснованию водораспределения и решению задач, связанных с управлением водными засухами.

Поэтому требуются коренные качественные изменения в строительстве, в совершенствовании технологии орошения и в эксплуатации гидромелиоративных систем. Должно осуществляться строительство совершенных систем с высокими технико-экономическими показателями, позволяющими экономить воду, получать на орошаемых землях высокие и устойчивые урожаи, сохранять земли в хорошем состоянии, без нанесения ущерба окружающей среде.

Совершенные оросительные системы экономят до 30 % оросительной воды, сберегают на каждые 100 га 6...8 га земли, существенно повышают производительность труда и поднимают коэффициент полезного действия систем до 0,8...0,9.

Улучшить техническое состояние действующих систем возможно путем реконструкции, повышения эффективности использования орошаемых и осушенных земель, разработки и внедрения водосберегающих технологий орошения и бережного использования водных ресурсов.

Первостепенная роль при создании и эксплуатации гидромелиоративных систем на современном уровне отводится внедрению научно-технического прогресса, автоматизации технологических процессов и систем управления производством с использованием электронной и микропроцессорной техники. Механизация и автоматизация процессов полива — необходимые условия разработки и промышленного внедрения водосберегающих технологий. Автоматизация оперативного управления позволяет обеспечить оптимальное водораспределение, водоучет и исключить бесконтрольные заборы воды и непроизводительные сбросы.

Эффективность совершенствования эксплуатации гидромелиоративных систем может быть достигнута лишь при условии широкого применения АСУ технологическими процессами.

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) на мелиоративных системах на современном этапе является высшей формой автоматизации управления.

Широкое внедрение автоматизированных информационно-советующих систем позволяет программировать урожаи на больших площадях.

Глава 1. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

§ 1.1. Особенности гидромелиоративных систем как объектов автоматизации и управления

Во всякой системе автоматического управления взаимодействуют объект управления и устройство управления. Поэтому о качестве устройства управления судят после исследования его работы совместно с объектом управления. Разработку или выбор системы автоматического управления начинают с изучения гидромелиоративных систем как объектов автоматизации, то есть с изучения специфических особенностей, назначения, условий, в которых протекает процесс, а также свойств, статических и динамических характеристик составных частей системы, ее водоводов, крупных сооружений и узлов. Изучают степень автоматизации различных технологических процессов, а также все техникоэкономические аспекты автоматизации.

Под автоматизацией гидромелиоративных систем понимают оснащение их устройствами автоматики, позволяющими осуществить (частично или полностью) оперативную эксплуатацию системы без непосредственного участия человека в процессе управления. Помимо автоматизации технологических процессов, имеется также в виду автоматизация всех сфер производственной деятельности системы (планово-экономической, финансовой, хозяйственной и т. д.).

В организации управления и контроля гидромелиоративных систем особое место занимает их телемеханизация, означающая применение средств телемеханики, что позволяет связать в единое целое части автоматизированной системы, разделенные расстоянием, управлять ими и контролировать их работу с единого пункта.

Поскольку гидромелиоративные системы состоят преимущественно из рассредоточенных, удаленных друг от друга на значительные расстояния объектов, телемеханизация имеет особое значение в организации управления и контроля. Следует отметить, что телемеханизация — составная часть общей проблемы автоматического управления гидромелиоративными объектами и поэтому не всегда упоминается отдельно, и в этих случаях она включается в общее понятие автоматизации.

Гидромелиоративные системы в зависимости от назначения делят на оросительные, обводнительные, осушительные и осу-

шительно-оросительные (двустороннего регулирования). Сюда же относятся водохозяйственные системы (каналы) гидромелиоративного или преимущественно гидромелиоративного назначения, сооружаемые при отсутствии местных источников водоснабжения для подачи воды из одного региона в другой. Каждый тип систем имеет свои особенности в конструктивном исполнении и в режиме эксплуатации.

Оросительные системы предназначены для снабжения сельскохозяйственных культур водой. Они объединяют устройства для забора воды из источников орошения, ее транспортирования и подачи в соответствии с планами полива по графику, по потребности, а также в соответствии с технологией полива. Для правильной работы оросительной системы должны быть обеспечены баланс между водозабором и потреблением, оптимальное водораспределение, отвод грунтовых вод за пределы системы, контроль ее исправности и поддержание всех звеньев в рабочем состоянии, а также принятая технология полива.

В качестве водоводов применяют открытые каналы, наземные железобетонные лотки и подземные трубопроводы. Коллекторно-дренажная часть оросительной системы должна предотвращать подъем грунтовых вод, препятствовать засолению и заболачиванию орошаемых земель и т. п. Выполняют ее в открытых каналах (открытой) или, что предпочтительнее, подземной (закрытой). Наряду с горизонтальным применяют вертикальный дренаж, выполняемый преимущественно в виде артезианских скважин.

Обводнительные системы служат для снабжения водой населенных пунктов и животноводческих баз в пустынных, полупустынных и степных районах. В этом случае орошают лишь те участки, на которых возделывают сельскохозяйственные культуры для обеспечения населения этого района продовольствием и для создания кормовой базы животноводства. Особенности обводнительных систем: большая протяженность транспортной сети и относительно малые расходы; по сравнению с оросительными у них менее разветвленная распределительная сеть с небольшим числом регулируемых сооружений (вододелительных, водовыпускных и т. д.).

Осушительные системы создают на территориях, характеризуемых избытком влаги (болота, заболоченные земли). Задача таких систем сводится к максимальному использованию естественных водных запасов и удалению излишней влаги за пределы осушаемой территории. В соответствии с назначением в состав осушительных систем входят водоприемник, собирающая и отводящая части.

Осушительно-оросительные системы выполняют двустороннее регулирование водного режима — осушение в одни периоды года и увлажнение — в другие и таким образом поддерживают уровень грунтовых вод на оптимальной глубине, создавая благо-

приятный для роста и развития растений влажностный режим почвы.

Гидромелиоративные системы, несмотря на их различия, имеют общие свойства, благодаря которым в первом приближении их можно считать однотипными объектами автоматизации. Основные свойства этих систем как объектов автоматизации: общая цель — перераспределение естественной влаги; однотипные транспортирующие водоводы (как правило, протяженность их значительна, а конфигурация часто имеет древовидную форму); однотипные регулируемые сооружения и узлы сооружения (система любого типа представляет собой комплекс различных управляемых гидротехнических сооружений и гидромеханических установок, расположенных на водоводах); число объектов управления и контроля на системе велико, объекты рассредоточены, хотя возможно их группирование (головные сооружения, плотины, вододельительные узлы и др.); процесс транспортирования воды имеет волновой характер и сопровождается большим временем запаздывания (поэтому, чтобы обеспечить переменное потребление воды, необходимо иметь рассредоточенные по водоводам резервные объемы и уметь в каждый момент времени ими управлять); в водоводах всегда существует прямая гидравлическая связь — происходит процесс перемещения воды от головного сооружения к нижележащим водовыпускам в виде переменных волновых расходов, а при малых уклонах дна каналов — обратная связь, то есть передача воздействия при изменении потребления воды от нижерасположенных водовыпусков к вышележащим сооружениям; сложны и пока недостаточно изучены процессы неустановившегося движения воды в каналах (важное значение при изучении гидромелиоративной системы придают установлению функциональных зависимостей расхода и уровня в различных створах в каждый момент времени); большинство объектов управления расположено на открытом воздухе и подвержено воздействию атмосферных условий, имеет сезонный характер работы — отсюда требования высокой надежности к оборудованию, сооружениям и устройствам управления ими; внутривладельческая сеть, выполненная в виде открытых каналов или наземных лотков, как правило, не обладает достаточными емкостями, поэтому, если распределенную воду потребители используют несвоевременно, она идет на сброс (в этом случае устройство управления должно обеспечивать взаимосвязанный процесс транспортирования и использования воды на орошаемых землях).

Таким образом, гидромелиоративные системы всех типов, несмотря на различие их назначения, производственных процессов, режимов работы, разнообразие конструктивных исполнений, имеют много общих свойств и, в первом приближении, могут рассматриваться как однотипные объекты автоматизации.

Чтобы изучение автоматизации сделать более конкретным,

она будет изложена главным образом применительно к составным частям, звеньям, сооружениям оросительных систем, которые являются наиболее распространенным и характерным типом гидромелиоративных систем.

§ 1.2. Задачи автоматизации оросительных систем

Оросительную систему можно представить состоящей из цепочки основных взаимосвязанных звеньев (рис. 1.1).

Головные водозаборные сооружения служат для забора воды из источников орошения и подачи ее в магистральные каналы в соответствии с графиками водопользования. Часто головные водозаборные узлы объединяют с другими сооружениями, обеспечивающими комплексное использование водных ресурсов (судоходство, гидроэнергетика, водоснабжение и др.). В этих случаях общий комплекс сооружений называют головным гидротехническим узлом сооружений, или гидроузлом. Так, речной плотинный гидроузел, помимо сооружений для забора воды в магистральные каналы, может иметь в своем составе плотину, промывные устройства, гидроэлектростанцию, судоходные шлюзы, портовые причалы, рыбоходы и другие сооружения.

Головной водозаборный гидроузел — один из наиболее ответственных сооружений оросительной системы.

Межхозяйственная часть системы служит для транспортирования и распределения воды между потребителями. Все сооружения, устройства и установки для забора воды из источников орошения, ее транспортирования и распределения между потребителями относятся к межхозяйственной части системы и находятся в ведении водохозяйственных организаций. Все части системы, расположенные ниже точек выдела воды в хозяйства, являются внутривладельческими, и обслуживают их непосредственно водопользователи (колхозы, совхозы). Они же осуществляют полив в соответствии с выбранным способом и технологией полива.

Актуальной является передача внутривладельческой мелиоративной сети на баланс органов водного хозяйства. В первую очередь передают на баланс органам водного хозяйства внутривладельческую сеть в республиках, где полив осуществляют дождевальными установками; в республиках с преимущественным преобладанием поверхностного полива внутривладельческая сеть

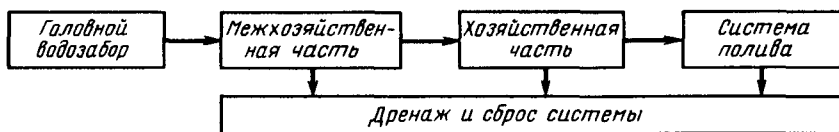


Рис. 1.1. Схема основных звеньев оросительной системы

в большинстве случаев передается по договоренности на техническое обслуживание органам водного хозяйства.

Для лучшего использования дождевальной техники и своевременного проведения поливов в хозяйствах создают районные производственные объединения РПО «Полив». В этом случае они эксплуатируют насосные станции, трубопроводы и осуществляют поливы. В некоторых районах страны проводят эксперимент по созданию районных производственных ремонтно-эксплуатационных объединений для выполнения всего цикла работ по эксплуатации систем. В состав объединения входят районные управления оросительных (осушительных) систем (УОС), ремонтные передвижные механизированные колонны ПМК, РПО «Полив». Такая структура мелиоративных организаций согласуется со структурой агропромышленного комплекса и направлена на улучшение службы эксплуатации и концентрации ее усилий на достижение высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Коллекторно-дренажную систему обычно выделяют в специальную службу мелиорации. Задача этой службы — наблюдение за режимом и минерализацией грунтовых вод, управление всеми установками и сооружениями вертикального и горизонтального дренажа для отвода дренажных вод и солей за пределы системы и поддержание орошаемых земель в хорошем состоянии.

Рассмотрим особенности оперативной службы эксплуатации оросительных систем без использования средств автоматизации. Оперативную службу эксплуатации строят на основе диспетчеризации. Общее руководство осуществляется с единого диспетчерского пункта. Примерная структурная схема существующей оперативной службы эксплуатации неавтоматизированной оросительной системы поверхностного полива приведена на рисунке 1.2. Дежурный диспетчер системы осуществляет общее оперативное руководство всеми мероприятиями по выполнению плана и обычно находится в оперативном подчинении у начальника отдела водопользования. Составляемые этим отделом планы и графики водораспределения являются исходными для оперативного управления. Диспетчер ведает водозаборными и крупными вододелительными узлами и распределением воды между эксплуатационными участками, внутри которых воду распределяют начальники участков, располагающие для этой цели соответствующим штатом. Примерная структурная схема организации оперативной службы эксплуатационного участка показана на рисунке 1.3.

На ответственных гидроузлах, находящихся в ведении диспетчера, как правило, обслуживающий персонал (на дому) дежурит круглосуточно. Линейными сооружениями, преимущественно водовыпусками в хозяйства, управляет штат регулировщиков с дежурством на дому. Каждый регулировщик обслуживает несколько близко расположенных сооружений; частично водовыпуски контролируют и водные объездчики. Затворами

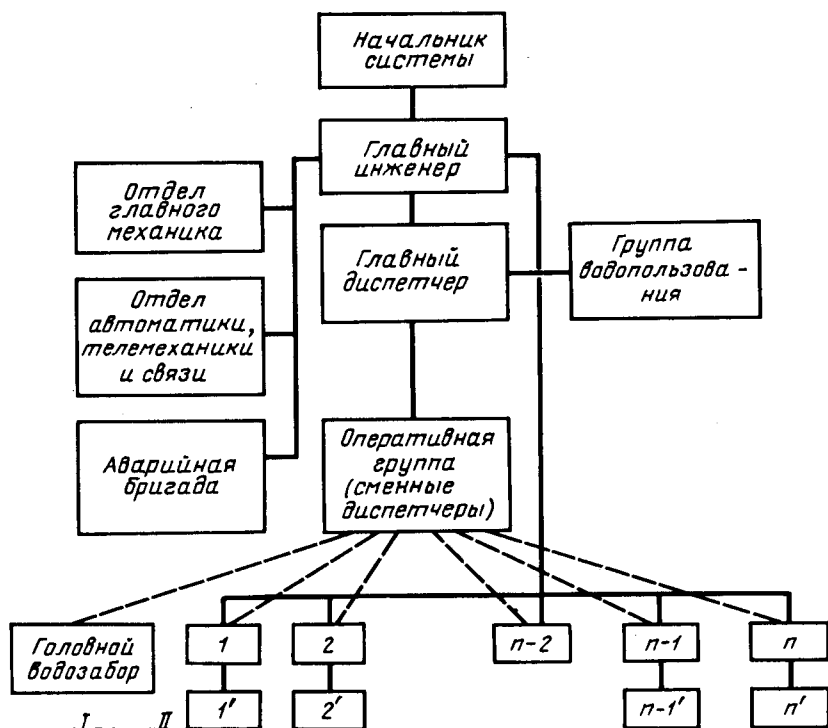


Рис. 1.2. Структурная схема организации эксплуатации межхозяйственной части оросительной системы без использования средств автоматизации: 1, 2, ..., n — эксплуатационные участки или крупные узлы сооружений; 1', 2', ..., n' — эксплуатационный персонал участков или узлов сооружений; I — административно-техническое подчинение; II — оперативное подчинение

обычно управляют при помощи ручных подъемных механизмов, за уровнями и расходами воды наблюдают по установленным приборам или рейкам.

С ответственными гидроузлами, сооружениями и эксплуатационными участками диспетчер поддерживает телефонную связь. Если диспетчерская служба не имеет, кроме телефонной связи, технических средств для контроля за водораспределением, отчетность осуществляется следующим образом: каждый день утром участковый гидротехник составляет баланс водораспределения по водовыпускным сооружениям, находящимся в ведении эксплуатационного участка, за предыдущие сутки — по данным регулировщиков, водных объездчиков, гидрометров, которые делают замеры, обычно два раза в день (утром и вечером). В промежутках между замерами расход считают постоянным.

Балансы водораспределения по эксплуатационным участкам и крупным узлам передают диспетчеру системы, а тот на осно-

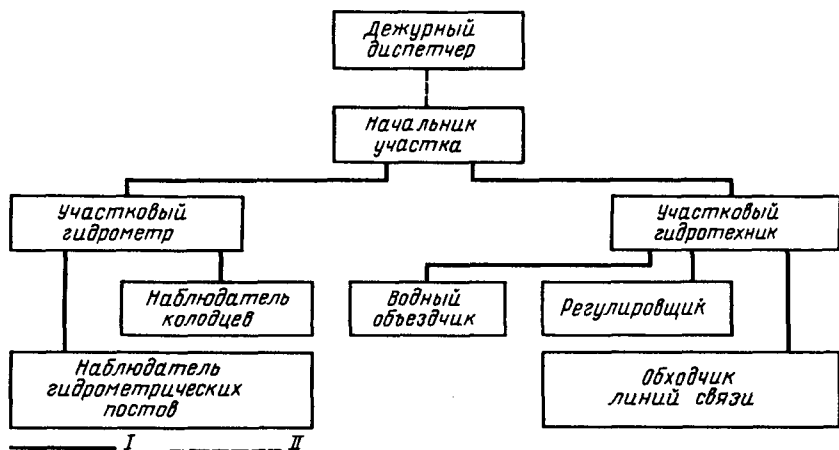


Рис. 1.3. Структурная схема оперативной службы эксплуатационного участка без использования средств автоматизации:

I — административно-техническое подчинение; II — оперативное подчинение

вании получаемых донесений составляет общий баланс водораспределения за предыдущие сутки в целом по системе, сравнивает его с планом водопользования и в случае необходимости корректирует.

Подобная форма диспетчеризации лишь частично решает задачу службы эксплуатации, поскольку, не имея непосредственной связи с объектами для контроля и управления, диспетчерская служба не обладает необходимой оперативностью и достоверностью фактического состояния. Результаты происходящих в системе изменений и сведения об исполнении распоряжений диспетчера, передаваемые по телефону, поступают на диспетчерский пункт с большим опозданием, зачастую не могут быть проверены и использованы для оперативного управления. При отсутствии специальных средств управления и контроля межхозяйственная служба эксплуатации не в состоянии полностью справиться с возложенными на нее задачами, в результате чего в процессах водоподачи и водораспределения, как показал опыт, имеются следующие недостатки: преимущественное использование воды вышележащими потребителями за счет расположенных ниже; несоблюдение поливных норм, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшению мелиоративного состояния земель (заболачивание, засоление); не обеспечивается полный контроль планового водораспределения и соблюдения поливных норм из-за отсутствия объективного оперативного учета расходов и стоков воды; нарушение правил и режимов технической эксплуатации гидротехнических сооружений и установок, что приводит к повышенной аварийности; значительные сбросы воды из отдельных отсеков межхозяйственной

части системы вследствие нарушений баланса между забором и водопотреблением, особенно в периоды перестройки режима системы; широкое использование ручного малопроизводительного труда.

Увеличение штата линейного персонала без изменения технической оснащённости оперативной службы эксплуатации не способствует ликвидации перечисленных недостатков. Автоматизация позволяет ликвидировать недостатки, присущие неавтоматизированной службе эксплуатации, и получить большой технико-экономический эффект. Следовательно, одной из первоочередных задач является качественное изменение оперативной службы эксплуатации межхозяйственной части оросительных систем, без чего не представляется возможным обеспечить полный технико-экономический эффект.

Внутрихозяйственная часть оросительной системы самая протяжённая и с большим числом мелких гидротехнических сооружений. Например, общая длина оросительных каналов в Узбекской ССР составляет 165,3 тыс. км, из них 25,5 тыс. км межхозяйственных и 139,8 тыс. км внутрихозяйственных; коллекторно-дренажной — 106 тыс. км, в том числе внутрихозяйственной около 75 тыс. км. На оросительных и дренажных системах Узбекистана действуют порядка 60 тыс. гидротехнических сооружений, из них около 40 тыс. приходится на внутрихозяйственные сети. Потери воды во внутрихозяйственной части системы значительно превышают потери в межхозяйственной сети (см. табл. 1.3). При общем КПД оросительной сети 0,5 потери воды в магистральных каналах и межхозяйственных распределителях более низких порядков оцениваются в 17,5 % головного водозабора, а во внутрихозяйственной части — в 32,5 %. В этой связи автоматизация внутрихозяйственной части системы — задача не менее актуальная и более сложная, чем автоматизация межхозяйственной сети.

К числу других наиболее важных задач относится автоматизация полива, которая призвана содействовать внедрению водосберегающих технологий, повышению производительности труда в этом наиболее трудоёмком процессе и эффективному использованию оросительной воды.

Автоматизируют также коллекторно-дренажную систему, чем добиваются более эффективного ее использования для поддержания земель в хорошем состоянии и уменьшения эксплуатационных расходов.

Таким образом, к главным задачам автоматизации оросительных систем причисляют автоматизацию водозабора и водораспределения межхозяйственной части системы, внутрихозяйственной части системы, полива и коллекторно-дренажной сети.

Основные принципы автоматизации перечисленных процессов и составных частей оросительной системы будут рассмотрены последовательно. Однако нужно понимать, что расчленение об-

шей проблемы автоматизации системы условно. Производственный процесс на оросительных системах, начиная от водозабора и кончая поливом, следует рассматривать как единый. Его нарушение в отдельных частях и звеньях системы неизбежно приводит к нерациональному использованию водных ресурсов и ухудшению мелиоративного состояния орошаемых земель. Поэтому следует осуществлять комплексную автоматизацию, автоматизировать все составные части системы, стремясь к примерно одинаковому уровню автоматизации. Здесь может быть допущена лишь целесообразная очередность и степень.

§ 1.3. Методы и приемы автоматизации и управления оросительными системами

Автоматизация межхозяйственной части оросительных систем наиболее изучена. Накоплен опыт управления и контроля водозабором и водораспределением по двум схемам.

По первой схеме все мероприятия, необходимые для централизованного учета, контроля и управления всеми регулирующими сооружениями и установками, расположенными на межхозяйственной части системы, выполняются преимущественно без использования на местах постоянного обслуживающего персонала. Для этого механизмируют и автоматизируют все регулируемые узлы сооружений и водоподъемные установки, оборудуют их датчиками и первичными измерительными приборами для передачи контролируемых параметров на диспетчерский пункт. Для централизованного управления затворами их оснащают исполнительными механизмами. Внедряют телемеханизацию, служащую для передачи информации управления и контроля.

Составная часть общей системы управления — диспетчерская связь со служебными пунктами, расположенными на системе, и с персоналом, посещающим объекты на местах с целью их ревизии, ремонта и ликвидации аварий.

При такой схеме автоматизации диспетчер становится оперативным лицом: он непосредственно управляет с диспетчерского пункта всеми регулирующими сооружениями, контролирует режим водораспределения по показаниям приборов и может пользоваться различными техническими средствами, облегчающими управление (вплоть до вычислительной техники).

По второй схеме все регулируемые сооружения (водозаборные, водораспределительные, перегораживающие и др.) оснащают автоматическими регуляторами, которые поддерживают заданный режим автоматически. С диспетчерского пункта передаются лишь уставки, задающие режим работы автоматическим регуляторам, после чего диспетчер этими сооружениями не управляет, а лишь контролирует их состояние, вмешиваясь в оперативное управление только в аварийных ситуациях. Эта схема предпочтительней первой. Она более совершенна и более устой-

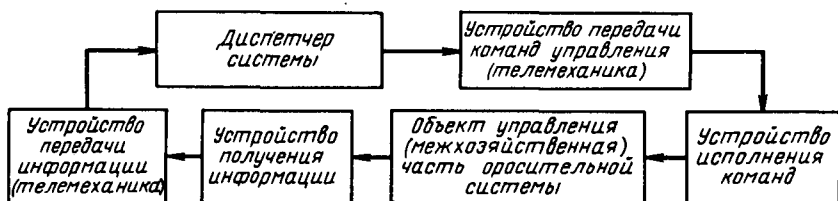


Рис. 1.4. Структурная схема оперативной службы эксплуатации межхозяйственной части оросительной системы при комплексной автоматизации

тива в работе, не требует постоянного наблюдения за объектами управления. Даже при повреждении канала телемеханики автоматический регулятор продолжает поддерживать ранее заданный режим работы. Функции управления, выполняемые диспетчером, упрощаются. При необходимости он должен лишь изменять положение уставок автоматических регуляторов.

Поэтому управление на расстоянии без средств местной автоматизации применяют лишь в простейших системах управления, преимущественно как временное мероприятие.

Структурная схема комплексной автоматизации с замкнутой цепью управления и контроля через диспетчера показана на рисунке 1.4.

В современных автоматизированных системах управления (АСУ) с использованием ЭВМ оперативное управление межхозяйственной частью системы осуществляется по программе ЭВМ, составляемой на базе математической модели оросительной системы (см. гл. 3).

Внедрение комплексной автоматизации, и тем более АСУ, требует перестройки существовавшей организации диспетчерской службы, пересмотра штатов эксплуатационного персонала и выполняемых ими функций. Упраздняются должности регулировщиков и наблюдателей гидрометрических постов. За исключением особо ответственных объектов, постоянный эксплуатационный персонал снимают с узлов сооружений и насосных станций. Вместе с тем требуются квалифицированные кадры по обслуживанию аппаратуры и устройств автоматизации. В рассматриваемых условиях целесообразно, чтобы надзор за всеми объектами автоматизированной оросительной системы на местах выполнял по участкам участковый техник, имеющий специальное образование.

В составе диспетчерской службы организуют централизованную аварийную бригаду, которая находится в оперативном подчинении у дежурного диспетчера и по его указанию выезжает на место аварий. Пример схемы организации диспетчерской службы при комплексной автоматизации приведен на рисунке 1.5.

В зависимости от размеров площадей оросительной системы диспетчерская служба межхозяйственной ее части строится по одно- или двухступенчатой схеме.

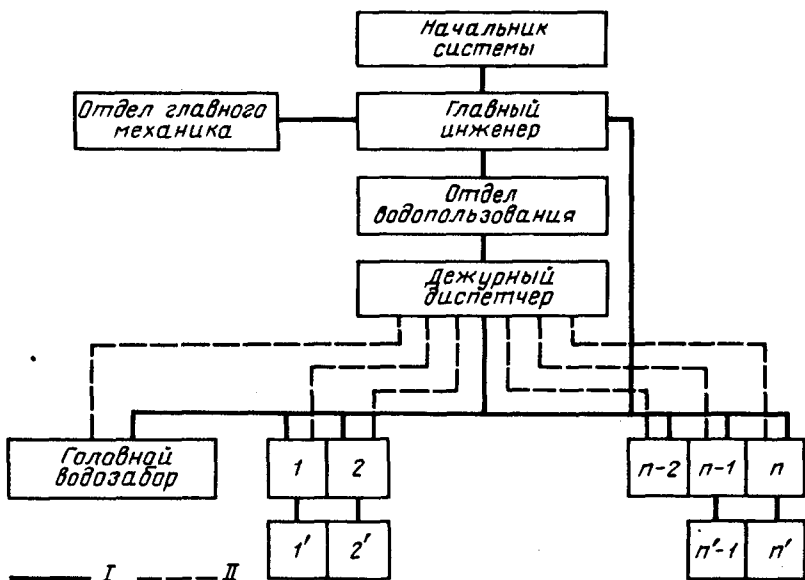


Рис. 1.5. Структурная схема системы комплексной автоматизации с замкнутой цепью управления через диспетчера:

I — административно-техническое подчинение; *II* — оперативное подчинение

Одноступенчатая схема, получившая преимущественное распространение, предусматривает один диспетчерский пункт, управляющий всей межхозяйственной частью системы.

Двухступенчатая схема, предназначенная для крупных систем с разветвленной сетью магистральных каналов разных порядков, предусматривает создание одного центрального (ЦПД) и нескольких местных диспетчерских пунктов (МДП) (рис. 1.6). ЦПД обычно управляет основными вододельтельными узлами системы и координирует работу местных пунктов, которые ведают работой отдельного района, участка или ветви канала.

Автоматизация внутрихозяйственной части системы с характерным для нее наличием большого числа мелких гидротехнических сооружений в целом разработана меньше, чем межхозяйственная. Ведется опытно-экспериментальное проектирование по автоматизации внутрихозяйственной оросительной системы с применением гидроавтоматов и ручной уставкой их положения.

Электроавтоматику, широко распространенную на межхозяйственной сети, в этом случае используют редко. Считают нерациональным оснащать многочисленные мелкие гидротехнические сооружения электроэнергией и телемеханически управлять ими.

Более верным при решении вопроса автоматизации управления внутрихозяйственной частью системы является ее реконструкция, изменение конфигурации и создание наиболее короткой

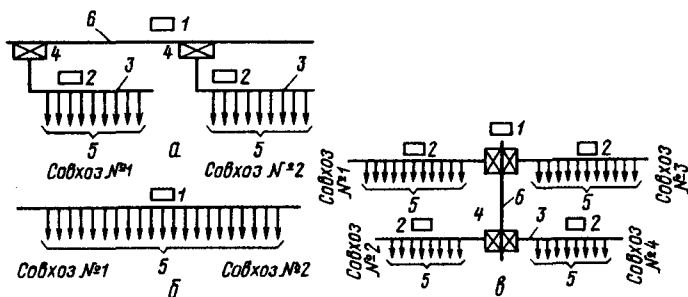


Рис. 1.6. Варианты (а, б, в) структурных схем оросительной системы:

1 — центральный диспетчерский пункт (ЦДП); 2 — местный диспетчерский пункт (МДП); 3 — хозяйственный водовод; 4 — водовыпуск в хозяйство; 5 — водовыпуски на хозяйственные участки; 6 — межхозяйственный водовод

трубопроводной транспортно-распределительной сети. При строительстве оросительных систем с поливом дождеванием внутрихозяйственную сеть от насосной станции подкачки до дождевальных машин полностью выполняют подземной в напорных трубопроводах. Открытую сеть внутрихозяйственных каналов сводят к минимуму и на ней осуществляют автоматическое регулирование, с тем чтобы она могла автоматически приспосабливаться к возможным колебаниям водопотребления в зависимости от числа включенных дождевальных машин.

В системах поверхностного полива также внедряют трубопроводную внутрихозяйственную сеть. Отказ от сооружения хозяйственных каналов в сочетании с автоматизацией водораспределения приводит в этом случае к созданию принципиально новых, совершенных и экономичных систем с автоматизацией управления оросительной системой в целом — от водозабора до конечных гидрантов, выдающих воду на полив. Рассмотрим принципы построения подобных систем.

Обычно в оросительных системах с поверхностным поливом и открытыми каналами внутрихозяйственной сети не допускают большого числа водовыпусков в одно хозяйство, поскольку при отсутствии автоматизации это затрудняет эксплуатацию. Схема подобной «классической» системы, которая содержит внутрихозяйственные каналы большой протяженности, зачастую прокладываемые параллельно межхозяйственным, показана на рисунке 1.6. Здесь водовыпуски на хозяйственные участки 5 перенесены непосредственно на магистральные (межхозяйственные) каналы, а хозяйственные ликвидированы (см. рис. 1.6, б). Поэтому число водовыпусков из магистрального канала в хозяйство существенно увеличилось (оно достигает на совхоз или колхоз 30 и более). Однако транспортно-распределительная сеть стала наиболее короткой, снизились капитальные затраты за счет

уменьшения общей протяженности сети, повысился КПД системы. Создание систем с большим числом водовыпусков из магистрального канала непосредственно на поливные участки хозяйства практически возможно лишь при централизованном управлении ими с использованием средств автоматики и телемеханики. В этом случае создается единая диспетчерская служба для всего орошаемого массива в целом, ведающая водораспределением во все хозяйственные водовыпуски, поскольку при таком большом числе хозяйственных водовыпусков и местном децентрализованном управлении не представляется возможным поддерживать необходимый режим магистрального канала и заданный график водораспределения. Таким образом, автоматизация водораспределения в данном случае является необходимым условием создания подобных систем. Отказ от сооружения хозяйственных каналов дает существенную экономию капитальных затрат, которые в несколько раз превышают расходы на автоматизацию.

На первом этапе автоматизацию ограничивают водовыпусками на хозяйственные участки включительно.

В отличие от схемы на рисунке 1.6, а, где один хозяйственный водовыпуск подает воду в целом на все хозяйство зачастую с орошаемой площадью 5...10 тыс. га, в рассматриваемом случае водовыпуск на хозяйственный участок обслуживает всего 150...300 га.

Аналогично схеме, изображенной на рисунке 1.6, б, сооружены системы в Голодной степи, в Яваноской и Обикийской долинах Таджикской ССР и др. В этих системах вода из открытых магистральных (зональных) каналов самотеком поступает в закрытые стационарные трубопроводы, участковые хозяйственные распределители, откуда через гидранты, расположенные вдоль трубопровода, распределяется по орошаемой площади (поступает в поливные закрытые трубопроводы, гибкие шланги или временные каналы). В начале каждого распределительного трубопровода устанавливают телеуправляемые затворы и расходомеры для телеконтроля расхода и стока. Воду в трубопроводы подает централизованно диспетчер.

Следующий этап автоматизации подобных систем — программное управление гидрантами при помощи специальных устройств, телемеханически управляемых диспетчером. По такому принципу выполнен проект Аштской и Кизилинской оросительных систем в Таджикской ССР, в которых осуществлено централизованное управление всей оросительной системой от водозабора до конечных гидрантов.

На оросительных системах крупных хозяйств создают двухступенчатую диспетчерскую службу, где централизованное оперативное управление распределением воды осуществляет местная диспетчерская служба, являющаяся второй ступенью по отношению к диспетчерской службе межхозяйственной части.

Типичный пример подобной двухступенчатой службы диспет-

черизации с учетом сложившейся ведомственной принадлежности приведен на рисунке 1.6, в. Помимо центрального диспетчерского пункта 1, в каждом из совхозов размещен местный диспетчерский пункт 2, который, как указывалось, управляет внутрихозяйственным водораспределением из трубчатых водоводов на хозяйственные участки или до выдачи воды на полив включительно. Центральный диспетчерский пункт управляет магистральными и межхозяйственными каналами других порядков и распределением воды между хозяйствами, а также координирует работу всех местных диспетчерских пунктов.

Важная задача — организация обслуживания средств автоматизации внутрихозяйственной части оросительной системы. Очевидно, что автономное обслуживание средств автоматизации в каждом из хозяйств нерационально. Признано целесообразным обслуживание средств автоматизации, контроль за их состоянием и ремонт сосредоточить в управлениях оросительных систем (или в более крупных объединениях), где создается специальная служба технической эксплуатации средств автоматики межхозяйственной и внутрихозяйственной частей оросительных систем. Взаимоотношения управления оросительной системы и хозяйств регулируются при этом договорными обязательствами.

§ 1.4. Автоматизированные системы управления и кибернетические системы

Ведутся проектирование, разработка и создание автоматизированных систем управления (АСУ) с использованием электронно-вычислительных машин для водохозяйственных комплексов рек Зеравшан, Вахш, Саратовского канала, Южно-Голодостепского канала и др. (см. гл. 15). Эти АСУ предназначаются как для оперативного управления объектами, так и для управления всей хозяйственно-экономической деятельностью комплексов. Первоочередные задачи оперативного управления, решаемые при создании АСУ: прогнозирование на всех стадиях (долгосрочное, краткосрочное, непрерывное); составление планов водопользования и их корректирование на базе краткосрочных и непрерывных прогнозов; разработка алгоритмов оптимального водораспределения; оперативное управление водораспределением на базе математической модели оросительной системы; разработка методов управления с применением различных систем автоматического регулирования и вычислительной техники; автоматизация полива по требованию.

Структурная схема организации эксплуатации на примере Саратовского водохозяйственного комплекса (СВК) с учетом создания автоматизированной системы управления, который рассчитан на орошение зерновых и кормовых культур на площади 190 тыс. га, обводнения и водоснабжения приведена на рисунке 1.7. Эта схема характерна для многих сооружаемых в послед-

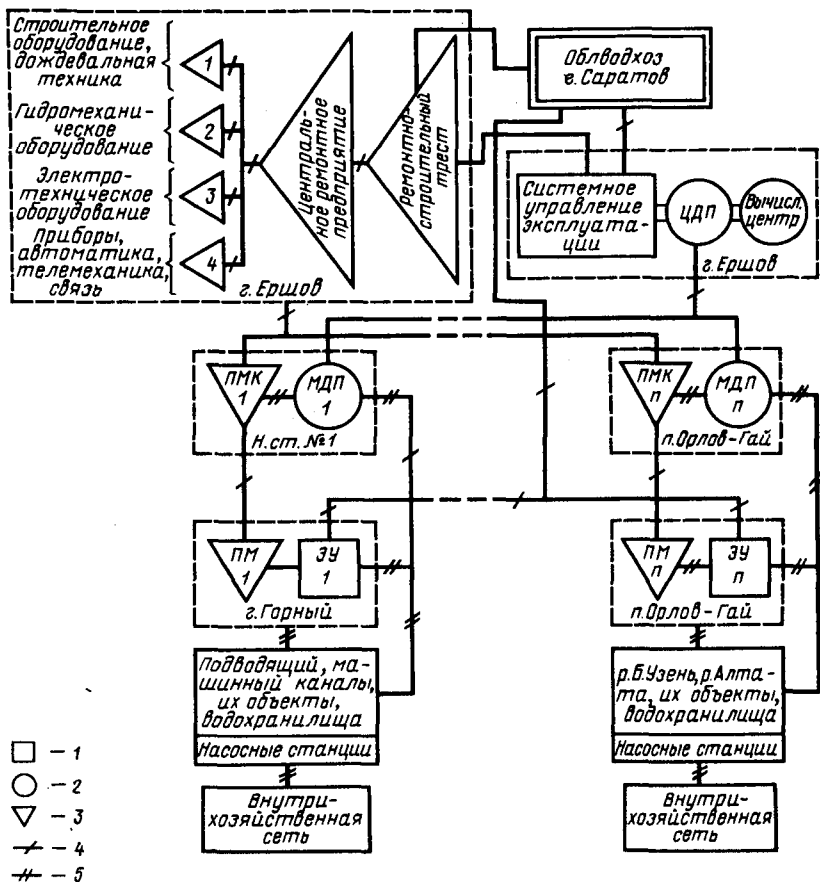


Рис. 1.7. Структурная схема организации эксплуатации Саратовского водохозяйственного комплекса:

1 — управления эксплуатации; 2 — диспетчерская служба; 3 — ремонтные подразделения; 4 — административное подчинение; 5 — оперативное подчинение; ЗУ — эксплуатационный участок; МДП — местный диспетчерский пункт; ЦДП — центральный диспетчерский пункт; ПМК — передвижная механизированная колонна; ПМ — передвижная мастерская

нее время автоматизированных комплексов. Ниже приведены ее особенности.

1. Диспетчерскую службу выполняют двухступенчатой, поскольку управлять системой такого масштаба с единого диспетчерского пункта сложно. При этом учитывают очередность строительства и разновременный ввод в эксплуатацию различных частей комплекса.

2. Техническую службу эксплуатации организуют на промышленной основе, потому что в противном случае нормальное функ-

ционирование насыщенного разнообразными техническими средствами комплекса невозможно.

3. Ремонтная база должна обеспечивать техническое обслуживание как межхозяйственной так и внутрихозяйственной частей системы.

4. Для оперативного управления организуют местные диспетчерские пункты (МДП) и центральный диспетчерский пункт (ЦДП) с единым для комплекса вычислительным центром. Каждый МДП имеет свою зону обслуживания, осуществляет оперативный контроль за действием автоматизированных объектов и вмешивается в их работу лишь при отклонении от нормального режима и ликвидации аварийных ситуаций. В функции ЦДП с вычислительным комплексом входят оптимизация управления водными ресурсами по оросительному комплексу в целом, их распределение по основным узлам, а также контроль деятельности и состояния автономных оросительных систем.

Внедрение АСУ считают современным этапом на пути создания кибернетических систем — систем полной автоматизации, когда человек непосредственно не участвует во всем цикле управления. Такие системы обеспечивают оптимальный производственный процесс и являются конечной целью автоматизации. Применительно к системам орошения имеется в виду создание кибернетических систем управления, выполняющих весь производственный процесс орошения (водозабор, водоподача, водораспределение, полив и послеполивная обработка) автоматически, без участия человека. В таких системах водные ресурсы будут наиболее рационально распределяться управляющими счетно-вычислительными машинами в сочетании с устройствами телемеханики, позволяющими связать в единую автоматическую систему пространственно разделенные технологические процессы. Операции полива и послеполивной обработки станут выполнять телеуправляемые высокопроизводительные агрегаты по командам датчиков и управляющих устройств, которые определяют потребность в поливе, учтут очередность полива, необходимость последующей обработки, оценят водные ресурсы.

§ 1.5. Очередность автоматизации объектов гидромелиоративных систем

Очередность и степень автоматизации гидромелиоративной системы определяют, руководствуясь следующими соображениями.

Системы по степени и очередности автоматизации делят на две группы: первая — существующие системы, вторая — проектируемые и вновь сооружаемые. Подготовку к переводу уже существующих систем из состояния, которое пока характеризуется преимущественным использованием ручного труда, в автома-

тизированные целесообразно приурочивать ко времени их реконструкции.

По технико-экономическим соображениям автоматизацию проводят очередями. При этом первыми осуществляют мероприятия, не требующие значительных капитальных затрат, но большой эффективности. Например, диспетчерская централизация учета водораспределения. В этом случае на системе временно сохраняют ручное управление сооружениями, однако работа диспетчера существенно улучшается за счет оперативного учета и контроля водораспределения, позволяющего корректировать всякие отклонения от заданного режима. Одновременно улучшается и служба управления, которая находится под непрерывным контролем диспетчера. К объектам, которые должны быть автоматизированы, в первую очередь относят головные водозаборные и магистральные вододелительные узлы и насосные станции. Эти сооружения, как правило, механизированы, электрифицированы и являются наиболее ответственными и дорогостоящими, а затраты на их автоматизацию невелики и окупаются в течение двух-трех лет. Таким образом, комплексная автоматизация на существующих гидромелиоративных системах может быть разделена на мероприятия, выполнение которых может не совпадать во времени.

Однако, учитывая, что все мероприятия, входящие в состав комплексной автоматизации, взаимосвязаны, осуществление любой ее очереди нужно сопровождать предварительным составлением полной схемы автоматизации. В этом случае мероприятия, выполняемые одновременно, будут являться частями единого целого и легко сочетаться друг с другом. При проектировании новых систем, а зачастую при капитальной реконструкции существующих, необходимо предусматривать автоматизацию в полном объеме и учитывать возможность перехода к дальнейшим ее этапам. Для систем нового типа автоматизация — необходимое условие, она органически входит в состав системы и становится ее неотъемлемой частью (см. § 1.7).

Степень автоматизации зависит от степени развития производственных процессов и конструктивного исполнения гидромелиоративной системы в целом. Например, полив дождеванием легче автоматизировать, чем поверхностный, и проще автоматизировать систему закрытых напорных водоводов, чем с открытыми каналами. Во всех случаях при решении степени и очередности автоматизации каждой конкретной системы, помимо изложенных общих положений, требуется индивидуальный подход с учетом обширного комплекса технико-экономических факторов.

Объекты автоматизации гидромелиоративных систем весьма разнообразны, но вместе с тем их можно отнести к пяти основным группам.

1. Регулируемые гидротехнические сооружения линейного водораспределения (водовыпускные, вододелительные, перегора-

живающие и водосбросные), выполняемые с электрическими или гидравлическими затворами.

2. Регулируемая трубопроводная арматура преимущественно с электрическими, электрогидравлическими и гидравлическими исполнительными механизмами.

3. Головные водозаборные и магистральные вододелительные узлы сооружений.

4. Насосные станции всех назначений (машинного водоподъема, создания необходимого напора для работы дождевальных машин, на дренажных коллекторах оросительных систем, на осушительных системах и т. п.).

5. Насосные установки артезианских скважин, используемых для вертикального дренажа, орошения и водоснабжения (сюда же относят наблюдательные скважины).

Все группы сооружений в зависимости от назначения и условий применения имеют различные модификации со специфическими конструктивными и эксплуатационными особенностями. Однако в пределах каждой из перечисленных групп они выполняют аналогичные технологические задачи, имеют идентичный состав оборудования и схожую структуру эксплуатации. Это обстоятельство позволяет выработать для каждой из перечисленных групп принципы автоматизации и рассмотреть методы их практической реализации.

§ 1.6. Строительство оросительных систем и задачи автоматизации

Первостепенное значение при создании систем на современном техническом уровне придается автоматизации всех технологических процессов и системам управления в целом. Применительно к орошению автоматизация сводится к следующему.

Важнейшей задачей является экономия воды. На нужды орошения ежегодно расходуется около 200 км³ в год воды. Ежегодное увеличение орошаемых земель в СССР требует каждый год дополнительно до 6 млрд м³ воды. Между тем водные ресурсы почти полностью исчерпаны в районах Аральского моря, Кубани, Дона, Урала и некоторых других, а в районах традиционного орошения, главным образом с поверхностным поливом, отмечаются бесконтрольные заборы воды в оросительные системы с малым коэффициентом использования, который с учетом потерь воды на глубокое просачивание, поверхностные сбросы и испарение не превышает 0,35...0,4.

Применение водосберегающих технологий позволяет экономить на поливе 20...30 % воды, идущей на орошение (табл. 1.1).

Полив характеризуют три параметра — коэффициент неравномерности увлажнения почвы, процент сброса воды от водоподдачи и производительность труда. Наиболее водосберегающим является полив переменной поливной струей и циклический. Одна-

1.1. Сравнение показателей разновидностей способов полива по бороздам

Разновидности полива по бороздам	Коэффициент неравномерности увлажнения	Сброс, % водо-подачи	Производительность труда, га в смену
Полив без сброса постоянной струей	0,1...0,5	0	0,5...1,5
Полив со сбросом постоянной струей	0,6...0,8	20...70	0,5...1
Полив малой постоянной струей	0,5...0,8	0...15	0,2...0,5
Полив переменной поливной струей	0,7...0,9	0...10	0,75...2
Циклический способ полива (прерывистый)	0,8...0,9	6...12 (глубинный 3...5, поверх- ностный 3... 7)	1...2,5

ко эти типы поливов выполнить вручную практически невозможно. Автоматизация систем полива излагается в гл. 9. Здесь укажем лишь, что большинство водосберегающих технологий базируется на снижении интенсивности водоподдачи вплоть до уровня интенсивности водопотребления, и все известные водосберегающие технологии являются в той или иной степени автоматизированными и вручную не могут быть реализованы. Широкому внедрению водосберегающих технологий препятствует отсутствие надежного оборудования, выпускаемого серийно, и систем автоматического управления.

Большое количество воды, забираемой в голове системы, теряется еще до поля в оросительных системах.

Так, отсутствие специальных средств автоматического управ-

1.2. КПД оросительной системы различной конструкции

Характеристика системы	КПД			Потери от внеплановых сбросов попусков
	межхозяйственной сети	внутрихозяйственной сети	системы*	
Межхозяйственные каналы в земляном русле инженерного типа, внутрихозяйственная сеть подземного типа, вода мутная	0,8...0,95	0,52...0,6	0,236...0,47	0,18...0,1
Межхозяйственная и внутрихозяйственная сеть в бетонной облицовке	0,85...0,96	0,75...0,85	0,487...0,736	0,15...0,08
Межхозяйственная часть в бетонной облицовке, внутрихозяйственная — в трубах	0,85...0,96	0,92...0,96	0,7...0,82	0,9...0,92

* КПД системы определяют отношением количества воды, поданной на поля, к количеству воды, поступившей в голову системы за определенный период.

ления и контроля в межхозяйственной части приводит к нарушению технологии водораспределения. В автоматизации и контроле нуждается также и внутрихозяйственная часть. КПД системы в зависимости от ее технического уровня приведен в таблице 1.2.

КПД системы может быть повышен, если ее оснастить средствами автоматизации, контроля и централизованного управления.

Экономия воды в автоматизированных оросительных системах по сравнению с неавтоматизированными согласно руководству по проектированию автоматизации водораспределения на оросительных системах принимают по таблице 1.3.

1.3. Ориентировочные потери воды на сбросных сооружениях

Способ полива	Потери воды, % от максимальных расчетных расходов каналов	
	неавтоматизированные системы	автоматизированные системы
Поверхностный	15...20	5...10
Дождевальными машинами типа ДДА-100М, ДДН-70 и т. п.	25...30	15...20

Автоматизация оросительных систем, включая полив, позволяет экономить 30 % воды, идущей на орошение, и существенно уменьшает дефицит в оросительной воде, улучшает качество полива, тем самым повышая урожайность.

В стране действует ряд автоматизированных гидромелиоративных систем с различной степенью автоматизации.

Автоматизированные информационно-советующие системы оперативного управления поливами на орошаемых землях внедрены в Украинской ССР и Молдове, Краснодарском и Ставропольском краях на площади 540 тыс. га, что позволило проводить поливы с учетом биологических потребностей растений, почвенных и погодных условий, обеспеченности хозяйства водными ресурсами и техникой полива. В результате урожайность на этих землях повысилась, сократились расходы воды на полив, снизились затраты. Предусмотрено дальнейшее внедрение таких систем на общей площади 3,6 млн га. При этом предусмотрено разработать и внедрить более совершенную автоматизированную систему программирования урожаев и управления технологическими процессами на орошаемых землях.

§ 1.7. Системный подход и проблемы управления гидромелиоративными системами

К началу шестидесятых годов в области автоматизации и управления был совершен качественный скачок. Он определялся потребностями все усложняющихся технологических процессов и возрастающих объемов производств всех отраслей народного хозяйства и стал возможным благодаря научно-техническим достижениям в области электроники, автоматики и вычислительной техники, а также благодаря росту производства технических средств автоматизации. Смысл скачка заключался в следующем. Прежде занимались преимущественно программной (циклической) автоматизацией. Она предусматривала многократное повторение циклов одного процесса. В области автоматического регулирования доминировали системы стабилизации и регулирования отдельных параметров.

Автоматическое управление начинается тогда, когда автоматизируются функции: наблюдения за процессом; выработки решения по управляющему воздействию согласно выбранной цели; осуществления управляющего воздействия. Кроме того, необходимо и целесообразно рассматривать все аспекты автоматизации и управления предприятием в целом, так как при этом эффект от автоматизации неизмеримо выше (это справедливо применительно к любому предприятию, чем бы оно ни занималось — изготовлением станков или выращиванием плодов и овощей).

При комплексной автоматизации — комплексном взаимосвязанном решении всех задач автоматизации и управления, обеспечивающем получение наибольшего технико-экономического эффекта, — эффект неизмеримо выше суммы эффектов от автоматизации отдельных разрозненных частей объекта.

При этом комплексная автоматизация не означает полную автоматизацию либо какую-нибудь однозначную ее степень. В рамках комплексной автоматизации степень ее выбирают наиболее рациональной для данных конкретных условий с учетом существующего уровня автоматизации и состояния производства технических средств автоматизации.

Термин «комплексная автоматизация» был первой формулой еще недостаточно осмысленного системного подхода к решению вопросов управления. «Системотехника» в управлении объектом как необходимость рассмотрения и решения воедино всех аспектов управления объектом окончательно утвердилась несколько позже, когда на базе электронно-вычислительных и управляющих машин стали создавать автоматизированные системы управления (АСУ) технологическими процессами и производствами (см. гл. 15).

АСУ — высшее достижение современного научно-технического прогресса в управлении, которым под силу решение задачи

системного подхода в управлении, в том числе и решение вопросов оптимизации технологических процессов, достижение максимума или минимума параметров, определяющих качество и экономическую эффективность.

Системный подход к проектированию и внедрению АСУ отличается широтой охвата и заключается в разбивке всей системы на подсистемы (декомпозиция системы) и учете при ее создании не только свойств конкретных подсистем, но и связей между ними. Так, при проектировании системы управления водораспределением в магистральном канале необходимо ставить задачу подачи воды в определенные водовыпуски не только с учетом задания потребителей, но увязать ее с возможностью забора воды из источника орошения, водоподачи из резервных емкостей. В противном случае нельзя добиться требуемого качества управления водораспределением — будут наблюдаться в водоподаче сбои или значительная часть воды будет идти на сброс.

Системный подход опирается на диалектический закон взаимосвязи и взаимообусловленности явлений в природе и обществе, поэтому изучаемые объекты и явления нужно рассматривать не только как самостоятельную систему, но и как подсистему некоторой большей системы, по отношению к которой ее нельзя рассматривать как замкнутую. Он требует прослеживания как можно большего числа связей — не только внутренних, но и внешних, чтобы не упустить действительно существенные связи и оценить их эффекты.

Основной принцип системного подхода к созданию АСУ — принцип максимума эффективности системы.

Создание АСУ для управления на основе системного подхода принимают как общий принцип, которым руководствуются при разработке проектов и автоматизации гидромелиоративных систем. Допускается лишь определенная очередность внедрения.

Системный подход к автоматизации и управлению устанавливает зависимости между стратегией строительства предприятия и управлением им. Установлено, что создание предприятия на современном уровне и в минимальные сроки зависит от решения трех взаимосвязанных задач (рис. 1.8).

1. Разработки технологических процессов и режимов эксплуатации. Они должны отвечать новейшим достижениям в современной технологии и быть тщательно проверены в производственных условиях.

Технологические процессы для возможности их тиражирования должны быть типизированы на определенный отрезок времени, в течение которого, как правило, не требуется смена или существенная модернизация оборудования и средств автоматизации.

2. Разработка (или выбор из выпускаемого промышленностью) технологического оборудования для принятых технологических процессов — эксплуатация его в условиях автоматиче-

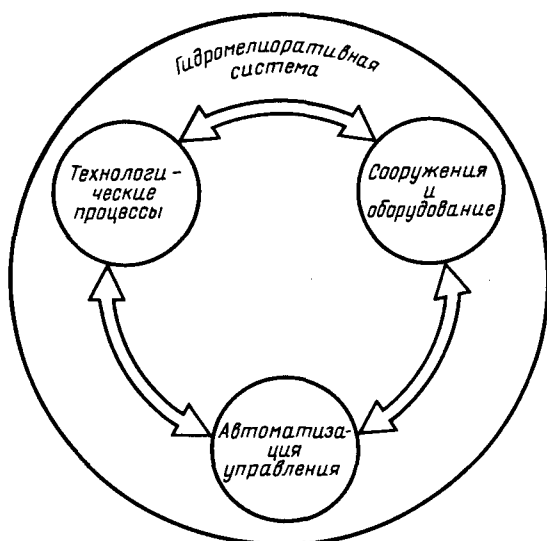


Рис. 1.8. Взаимосвязанные задачи гидромелиоративной системы

ского (автоматизированного) управления и в данных климатических условиях, а также строительство сооружений.

3. Разработка систем автоматизации и управления технологическими процессами и производством на базе АСУ на всех стадиях до внедрения. Системы автоматизации и управления, так же как и технологические процессы, должны быть типизированы на определенный отрезок времени, с тем чтобы было обеспечено их промышленное серийное производство и тиражирование.

Характерная особенность гидромелиоративных систем — большие нормативные сроки продолжительности строительства. Для оросительных систем с площадью орошения более 10 тыс. га эти сроки составляют 10...15 лет. Строительство ведется очередями. Поэтому систему автоматического управления разрабатывают для поэтапного внедрения, как правило, отдельными очередями. Если систему автоматизации и управления разрабатывать для объекта на время полного окончания его строительства, то она устареет еще до начала ее внедрения. К тому же долгие годы объект будет работать вообще без соответствующей автоматизации и управления.

Крайне важно перечисленные задачи, обеспечивающие успех функционирования предприятия, решать не последовательно с разрывом во времени, а одновременно, так как они взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Окончательные решения, принятые для каждой из задач, как

правило, отличаются от первоначально намеченных, поскольку принимают их на основе коллективного опыта и работы сотрудничающих коллективов — проектировщиков, строителей и предприятий отраслей промышленности, участвующих в создании оборудования и систем управления, для данного предприятия (гидромелиоративной системы).

Если при создании предприятия нарушается изложенная схема и допускаются ошибки в одной из рассмотренных задач, то они неизбежно приводят к дефектам при решении других задач и к несовершенной работе предприятия в целом.

Как показывает опыт, часто неудачи в области автоматизации возникают не по вине самой системы автоматизации, а из-за несовершенства сооружений или оборудования, не отвечающих их эксплуатации в условиях автоматизированного процесса.

Поэтому не следует представлять автоматизацию системы как простое добавление к неавтоматизированной системе технических средств. Создание гидромелиоративной системы, ее технологических процессов, состава сооружений и оборудования, а также АСУ нужно решать как единое целое. Только в этом случае могут быть получены наилучшие результаты в минимальные сроки.

Таковы основные принципы современного системного подхода, которыми руководствуются при решении на базе АСУ вопросов автоматизации и управления гидромелиоративными системами.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные особенности гидромелиоративных систем как объектов автоматизации и управления.
2. Какая связь существует между оперативной службой эксплуатации гидромелиоративных систем и автоматизацией?
3. Что значит «комплексная автоматизация» и в чем сущность системного подхода применительно к автоматизации и управлению гидромелиоративными системами?
4. В каких случаях применяют одноступенчатую и двухступенчатую схемы диспетчеризации?
5. Чем отличается автоматизация внутрихозяйственной оросительной сети от межхозяйственной?
6. С какой целью осуществляют автоматизацию полива?
7. Почему рекомендуют различную степень и очередность автоматизации для существующих и вновь сооружаемых гидромелиоративных систем?
8. Расскажите, что такое АСУ и почему АСУ — высшее достижение современного научно-технического прогресса в управлении.
9. Какую роль отводят автоматизации при создании совершенных гидромелиоративных систем?
10. Что Вам известно об автоматизации гидромелиоративных систем в нашей стране?

Глава 2. СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

§ 2.1. Основные понятия и определения

Под управлением применительно к технологическим процессам и техническим системам понимают воздействие на объект управления, обеспечивающее достижение определенных целей.

Автоматическое управление осуществляют автоматическим управляющим устройством без непосредственного участия человека. Если же управляющее воздействие вырабатывается при участии человека, то такое управление считают полуавтоматическим, а соответствующие системы — автоматизированными системами управления.

Регулирование — управление объектами, характеризуемыми обычно одним управляемым параметром и одним управляемым воздействием.

Таким образом, управление и регулирование во многом аналогичны друг другу; сферу их использования в большинстве случаев разграничивают в зависимости от сложности процесса. Например, при управлении уровнем воды в баке — это регулирование, а применительно к оросительной системе в целом — управление.

Система автоматического управления (регулирования) — совокупность управляемого объекта (это может быть агрегат, насосная станция, станок, гидромелиоративная система, цех, завод и т. д.) и управляющего устройства, взаимодействие которых обеспечивает выполнение объектом его функций в соответствии с заданным законом (алгоритмом) управления без непосредственного участия человека.

Автоматика — это отрасль науки и техники, занимающаяся разработкой принципов и методов построения автоматических систем и образующих их технических средств.

Телемеханика — область автоматике, охватывающая теорию и практику автоматического управления технологическими процессами и объектами на расстоянии.

Кибернетика сравнительно недавно оформилась в научное направление. Ее перспективы велики. В основе кибернетики лежит идея о возможности развить общий подход к рассмотрению процессов управления в системах различной физической природы (машины, системы машин, живые организмы, общественные явления и т. д.) и создать для них единую математическую теорию управления, используя определенные аналогии. Во всех объектах существуют управляемые и управляющие составные части, между которыми устанавливаются прямые связи (передача команд) и обратные связи, по которым поступают сведения об исполнении команд. Наиболее общая черта процессов управления в живой и неживой природе — информация, на основе которой стро-

ится управление. Следовательно, кибернетическими системами управления можно назвать устройства, которые получают, преобразовывают, передают, хранят, обрабатывают, перерабатывают и используют информацию. Условно кибернетику разделяют на техническую, которая занимается изучением управления в машинах, и биологическую, изучающую процессы управления в живых организмах. Очень часто эти понятия тесно связаны. Например, при управлении гидромелиоративной системой водозабор и водораспределение, очевидно, относятся к процессам, рассматриваемым технической кибернетикой, а полив, поскольку он является одним из факторов, обеспечивающих рост и развитие растений, имеет отношение к биологической кибернетике.

В основу действия систем автоматического управления вообще и в частности тех, которые широко используют для автоматизации гидромелиоративных систем, положен ряд принципов управления. Принцип автоматического управления определяется по тому, каким образом и на основе какой информации в системе формируется управляющее воздействие.

Для пояснения идей устройства и описания принципа действия автоматических систем применяют структурные схемы.

Структурную схему составляют из функциональных блоков, которые представляют собой конструктивно обособленные части в виде отдельных устройств или элементов, выполняющих определенные функции. Эти блоки на схеме обозначают прямоугольниками (алгебраическое суммирование сигнала — в виде кружка), внутри которых делают надпись, поясняющую их назначение. Связи между блоками изображают линиями со стрелками, указывающими направление воздействий. Например, пусть требуется поддерживать уровень воды в канале постоянным. При автоматическом регулировании эту задачу решают преимущественно на основе измерения регулируемого параметра (уровня) следующим образом. Команды управления вырабатываются и подаются специальным устройством — автоматическим регулятором, в котором заданное значение регулируемой величины сравнивается с действительным. В случае их несовпадения (независимо от причин, вызвавших различие) в регуляторе вырабатывается команда, включающая исполнительный механизм в том направлении и на то время, которые необходимы для ликвидации этого несовпадения.

Задатчиком 1 устанавливают требуемое значение регулируемой величины — уровня воды, который необходимо поддерживать постоянным (рис. 2.1). Задание формируется в задающем элементе регулятора 2. Сведения о действительном значении уровня воды в канале получают от специального измерительного органа — датчика уровня 8. Информацию о заданном и фактическом значениях регулируемой величины обычно преобразуют в соответствующие электрические сигналы, которые можно легко передавать на расстояния, разделяющие отдельные элементы си-

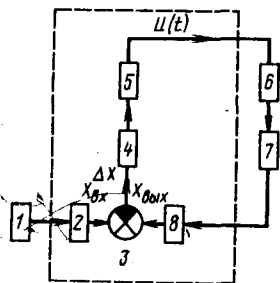


Рис. 2.1. Структурная схема системы автоматического регулирования:

1 — задатчик; 2 — задающий элемент; 3, 4, 5 — элементы сравнения, усиления, управления; 6 — электропривод; 7 — затвор; 8 — датчик уровня

стемы. В рассматриваемом случае регулируемая величина — уровень воды — преобразуется в пропорциональные значения напряжения электрического тока. Оба соответствующие заданному и фактическому уровням напряжения сравниваются между собой в специальном устройстве — элементе сравнения 3 (нуль-орган). Неравенство напряжений свидетельствует об отклонении фактического уровня от заданного. Тогда элемент сравнения посылает команду элементу управления 5, а тот, в свою очередь, формирует команду управления и включает исполнительный механизм 6 — электропривод затвора 7 на подъем или опускание (в зависимости от знака отклонения) на время, пока рассогласование не будет ликвидировано. Поскольку мощность сигнала от-

клонения, вырабатываемого элементом сравнения, оказывается недостаточной для последующего воздействия на исполнительный механизм, в схеме предусмотрен элемент усиления 4 (усилитель). Все элементы системы автоматического регулирования, обозначенные на рисунке пунктиром, входят в состав автоматического регулятора и являются основными, поскольку без какого-либо из них обычно автоматический регулятор не может работать. В других регуляторах в зависимости от сложности решаемых ими задач имеются и иные элементы, но основные, как правило, оказываются обязательными.

Из приведенной структурной схемы следует, что система автоматического регулирования (за исключением задатчика) — замкнутая цепь воздействий. Входом системы считают элемент сравнения, где выявляется отклонение измеренного значения регулируемой величины от заданного. От элемента сравнения команда передается последовательно от одного элемента к другому (по стрелке) до объекта регулирования, являющегося выходом системы. От входа до выхода образуется *прямая цепь* воздействий, а от выхода до входа — *обратная* (обратная связь). Систему в целом называют *замкнутой*, или с *обратной связью*.

Структура и принцип действия рассмотренной системы автоматического регулирования не являются специфическими только для регулирования уровня воды в канале. Очевидно, что основной принцип ее действия не зависит от характера регулируемой величины и будет аналогичным для других величин. На этом основании такую систему автоматического регулирования в общем случае определяют как замкнутую систему автоматики, в которой процесс регулирования осуществляется без непосредственного участия человека.

Ранее уже упоминалось, что в основу работы автоматических систем могут быть положены различные принципы.

Действие описанного выше регулятора основано на измерении отклонения регулируемой величины от заданной. Поэтому такой принцип называют регулированием по отклонению (регулированием с обратной связью).

При *регулировании по отклонению* в регулирующем устройстве происходит сравнение действительного значения $x_{\text{вых}}(t)$ регулируемой величины с требуемым значением $x_{\text{вх}}(t)$, и в зависимости от результатов этого сравнения осуществляется регулирование.

Структурная схема регулирования по отклонению показана на рисунке 2.2. В общем случае задающее воздействие выражается некоторой математической функцией $x_{\text{вх}}(t)$, а сигнал на выходе — функцией $x_{\text{вых}}(t)$. Действующее на объект возмущающее воздействие выражено функцией $v(t)$. Управляющее воздействие $u(t)$ в этой системе вырабатывается в зависимости от значений функции отклонения, то есть функции разности

$$\Delta x = x_{\text{вх}}(t) - x_{\text{вых}}(t);$$

$$u(t) = k\Delta x(t),$$

где k — коэффициент передачи регулирующего устройства.

Таким образом, характерной чертой автоматических систем, построенных на основе принципа регулирования по отклонению, является наличие обратной связи, по которой информация о состоянии управляемого объекта передается с выхода системы на вход устройства регулирования. Обратную связь называют отрицательной при отклонении $\Delta x(t) = x_{\text{вх}}(t) - x_{\text{вых}}(t)$ в элементе сравнения.

Принцип управления по отклонению универсален и эффективен, поскольку позволяет осуществлять требуемый закон изменения управляемой величины независимо от того, какими причинами последнее вызвано.

Рассмотрим пример, когда требуется поддерживать уровень воды в резервуаре (рис. 2.3, а), в который вода поступает по проточному трубопроводу 4, а вытекает по расходному трубопроводу 2.

В системе, основанной на регулировании величины по отклонению от ее заданного значения, должен измеряться уровень жидкости в баке. В качестве измерительного элемента принят поплавковый датчик уровня, связанный с регулирующим органом — клапаном 3, который при превышении заданного уровня

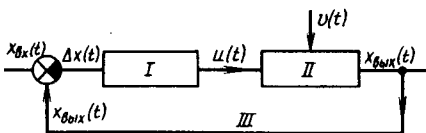


Рис. 2.2. Структурная схема автоматического регулирования по отклонению: I — автоматический регулятор; II — объект регулирования; III — обратная связь

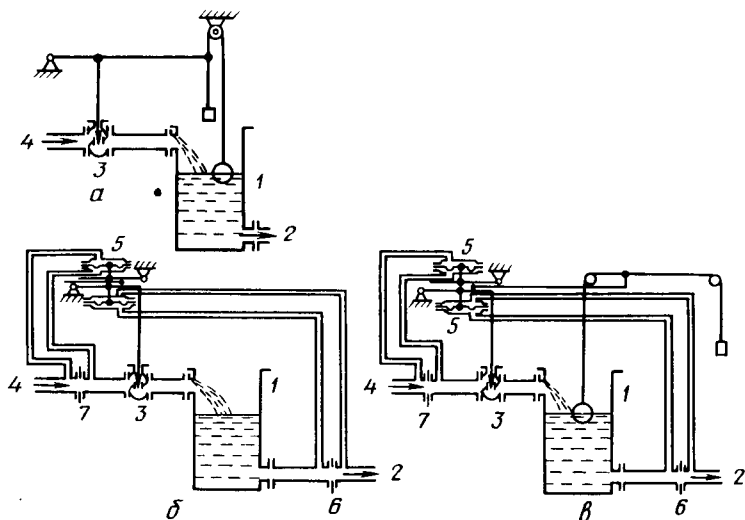


Рис. 2.3. Регулирование уровня жидкости в резервуаре:
а — по отклонению регулируемой величины; *б* — по возмущающему воздействию; *в* — по комбинированному принципу; 1 — резервуар; 2, 4 — трубопроводы; 3 — клапан; 5 — мембраны; 6, 7 — диафрагмы

прикрывается, а при снижении открывается. Таким образом, недопустимые отклонения регулируемой величины ликвидируются автоматически, независимо от того, какое внешнее возмущающее воздействие послужило причиной отклонения. В этом основное преимущество такого вида регулирования.

Однако уже сам рассматриваемый принцип предполагает запаздывание действия регулятора по отношению к возмущениям, вызывающим отклонение уровня, так как перестановка регулирующего органа происходит по мере накопления отклонения регулируемой величины. Значит, регулятор по отклонению реагирует не на причину отклонения, а на следствие, то есть на уже произошедшее отклонение. В этом основной недостаток систем регулирования по отклонению.

При *управлении по возмущению* управляющее воздействие в системе вырабатывается в зависимости от результатов измерения возмущения, действующего на объект. Системы, построенные по этому принципу, не имеют обратной связи и работают по разомкнутой цепи.

Наиболее вероятными возмущающими воздействиями, влияющими на уровень воды в баке, в рассматриваемом примере (рис. 2.3, *б*) являются изменения давления в приточном трубопроводе и его сопротивления, которые изменяют баланс между поступлением воды в бак и ее расходом. В данном случае при помощи мембран 5, присоединенных к диафрагмам 6 и 7, контролируются расходы воды через трубопроводы 2 и 4. Положение

регулирующего органа — клапана 3 — изменяется в зависимости от разницы в расходах. Передача от мембран к регулирующему органу выполнена так, что, когда приток воды преобладает над расходом, клапан 3 прикрывается. Следовательно, такое устройство воздействует на регулирующий орган в направлении поддержания баланса между количеством воды, поступающей в бак и вытекающей из него. При этом объем воды в баке остается неизменным, а следовательно, и уровень.

Положительное свойство системы регулирования по возмущению — воздействие на регулирующий орган практически без всякого запаздывания по отношению к моменту возникновения возмущения, то есть до того, как может измениться значение регулируемой величины. В современных автоматических системах принцип управления по возмущению используют широко, так как он позволяет существенно уменьшать погрешности, вызываемые возмущающими воздействиями.

Основное достоинство его — высокое быстродействие, обусловленное тем, что система реагирует непосредственно на причину, а не на следствие.

Однако эти системы имеют существенные недостатки. Так, в рассматриваемом примере регулирование велось по возмущающему воздействию только одного типа; при возникновении каких-либо других не учтенных возмущающих воздействий система на них реагировать не будет. Кроме того, накапливаются во времени возможные отклонения регулируемой величины, возникающие из-за неизбежных неточностей в работе регулятора. За счет суммирования накопленной ошибки с течением времени отклонение уровня может выйти за допустимые пределы.

Обычно в системах регулирования по возмущению учитывают действие одного или нескольких существенных возмущений, которые измеряются управляющим устройством (учесть же и измерить все возмущения практически невозможно).

При *комбинированном управлении*, используемом при создании автоматических систем высокой точности, сочетаются преимущества обоих ранее рассмотренных принципов регулирования, и оно свободно от их недостатков. В подобных системах воздействуют на регулирующий орган как по возмущению (в более сложных случаях — по нескольким возмущениям), так и по отклонению регулируемой величины от заданного значения.

Система для регулирования уровня воды в баке, показанная на рисунке 2.3, в, может служить примером комбинированной системы. Здесь при возникновении возмущения элементы, действующие по возмущению, обеспечивают немедленную перестановку регулирующего органа. Элемент регулирования по отклонению включается в работу либо в случае возникновения других неучтенных возмущений, либо когда в результате неточности действия первых элементов образуется недопустимое отклонение регулируемой величины. Комбинированные системы применяют

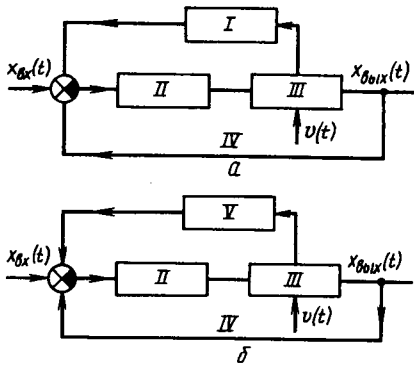


Рис. 2.4. Структурные схемы систем автоматического регулирования по принципу адаптации:

a — экстремальной; *б* — самонастраивающейся; *I* — устройство поиска экстремума; *II* — автоматический регулятор; *III* — объект регулирования; *IV* — обратная связь; *V* — устройство самонастройки

для регулирования режима в отсеках каналов, плотин, возбуждения синхронных двигателей и для многих других целей.

Принцип адаптации (приспособления) более сложен, чем изложенные выше, которые осуществляют стабилизацию регулируемого параметра или его изменение по заранее установленному закону. Системы, построенные по принципу адаптации, не имеют строго определенного закона регулирования, а изменяют его в процессе управления. Во многих современных технических процессах характеристики объектов известны недостаточно полно и могут изменяться непредвиденным образом. Если эти характер-

стики непрерывно изменять, то создается возможность оказывать в соответствии с ними такое воздействие на регулятор, чтобы обеспечивать наилучший режим. К системам, использующим принцип адаптации, относятся экстремальные и самонастраивающиеся.

В экстремальных системах управления поддерживается экстремальное — наибольшее или наименьшее — значение регулируемой величины (например, максимум КПД, минимум расхода электроэнергии и т. д.). Экстремальное значение автоматически отыскивается на характеристике объекта и задается системе.

В самонастраивающихся системах управления параметры самой системы автоматически настраиваются таким образом, чтобы достигнуть наилучших показателей технологического процесса.

Структурные схемы систем автоматического регулирования, действующих по принципу адаптации, приведены на рисунке 2.4. Экстремальная система управления (рис. 2.4, *a*) отличается от системы управления по отклонению тем, что содержит дополнительное устройство поиска экстремума (УПЭ), которое изучает характеристику объекта и изменяет задаваемую величину $x_{вх}(t)$ в таком направлении, чтобы привести регулируемую величину к экстремальному значению. В самонастраивающуюся систему управления (рис. 2.4, *б*) входит устройство самонастройки (УС), которое изучает процесс, протекающий в системе, и воздействует на параметры регулятора так, чтобы процесс удовлетворял заданному показателю качества.

Общая задача устройств* поиска экстремума и самонастрой-

ки — вычисление показателя качества системы и выработки сигнала, характеризующего отклонение этого показателя от искомого значения. Для определения показателя качества и создания систем по принципу адаптации необходимо применение вычислительных устройств, выполняющих различные математические и логические операции. Поэтому экстремальные и самонастраивающиеся системы управления — характерный пример использования вычислительной техники в автоматике с целью оптимизации режима работы установок.

§ 2.2. Классификация автоматических систем

В основу классификации автоматических систем могут быть положены различные признаки. Здесь рассмотрены только основные из них. В зависимости от способа формирования задающего воздействия различают три основных класса систем автоматического регулирования с обратной связью: автоматической стабилизации, программного регулирования и следящие.

Система регулирования, изображенная на рисунке 2.1, может служить примером системы автоматической стабилизации. В ней одна регулируемая величина — уровень воды, а управляющее воздействие в этой системе вырабатывается в зависимости от значения величины отклонения.

В системах программного регулирования, когда регулируемая величина должна изменяться во времени по заранее известному закону, установка задатчика регулятора не остается неизменной (как в случае систем автоматической стабилизации), а изменяется по заданному закону. Изменение осуществляется специальным задатчиком, простейшим, из которых является кулачковый механизм, приводимый в движение синхронным двигателем (см. § 2.4).

Для следящих систем характерно то, что закон изменения регулируемой величины заранее не известен, вследствие чего исполнительный механизм воспроизводит с минимальной ошибкой движение, задаваемое ему (по любому закону) каким-либо командным механизмом. Следящий электропривод широко распространен в технике автоматического регулирования. В частности, принцип следящей системы используется для изменения положения затворов гидротехнических сооружений и передачи их уставки с диспетчерского пункта в любое промежуточное положение.

Применяются и более сложные, смешанные системы автоматического управления, в которых различным образом сочетаются принципы стабилизации, программного регулирования и следящих.

Классификация по способу формирования сигнала управления основана на том, что свойства систем автоматического регулирования в значительной степени определяются тем, какая

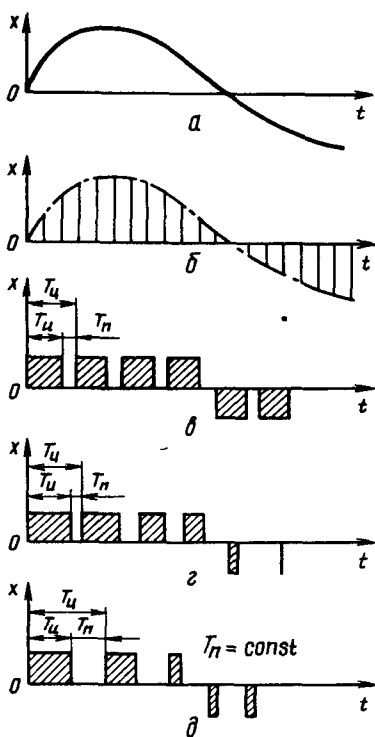


Рис. 2.5. Формы сигналов управления в системах автоматического регулирования:

а — непрерывного действия; б — прерывистого действия; в — импульсного действия; г — пропорционально-импульсного действия с $T_u = \text{const}$; д — пропорционально-импульсного действия с $T_n = \text{const}$

шли преимущественное распространение при автоматизации процесса маневрирования затворами.

Прерывистая — это система, в состав которой входит специальное устройство для периодического размыкания цепи автоматического регулирования. В таких системах непрерывная цепь автоматического регулирования размыкается через равные промежутки времени специальным устройством; при этом длительность всех импульсов одинакова, а их значение и форма меняются в зависимости от значения и формы входной величины $x_{\text{вх}}$ (рис. 2.5, б).

Импульсная — это прерывистая система, в которой использован релейный элемент. Форма сигнала управления в импульсных системах определяется свойствами как прерывистой, так и ре-

форма придается сигналу управления, воздействующему на исполнительное устройство.

По способу формирования сигнала управления принято различать следующие основные системы.

Непрерывная — автоматическая система, в которой непрерывному изменению регулируемой величины соответствует непрерывное изменение параметров во всех ее звеньях. Для этого все элементы системы должны обладать непрерывными характеристиками. Сигнал управления (рис. 2.5) принимает все промежуточные значения в пределах его изменения от минимума до максимума. Таким образом, система регулирования уровня воды в баке (рис. 2.3) является непрерывной.

Релейная — система, имеющая в составе основных элементов хотя бы один релейный элемент, то есть такой, в котором непрерывному изменению входной величины соответствует скачкообразное изменение выходной, принимающей фиксированное значение. При этом выходная фиксированная величины проявляется лишь при определенных значениях входной. Релейные системы на-

лейной систем. В отличие от систем прерывистого действия в импульсных значение импульса на выходе остается неизменным благодаря наличию релейного элемента, причем длительность всех импульсов одинакова (рис. 2.5, в).

Пропорционально-импульсная — система, в которой длительность импульса не остается постоянной, а изменяется пропорционально входной величине. В зависимости от конструктивного исполнения различают пропорционально-импульсные системы регулирования: а — в которых длительность цикла $T_{ц}$, состоящая из продолжительности импульса $T_{и}$ и паузы $T_{п}$, постоянна: $T_{ц} = \text{const}$ (в таких системах переменными являются как импульс, так и пауза); б — в которых пауза остается постоянной независимо от продолжительности импульса, и, следовательно, $T_{ц} \neq \text{const}$.

На рисунке 2.5, г и б приведены перечисленные формы сигналов управления пропорционально-импульсных систем.

В мелиоративных системах для регулирования уровней воды в каналах применяют как импульсные, так и пропорционально-импульсные регуляторы.

§ 2.3. Законы автоматического регулирования

Законом регулирования называют зависимость между входной x и выходной y величинами, составленную для «идеального регулятора», то есть без учета его инерционности. Сигналы, определяющие в совокупности закон регулирования, подаются на вход автоматической системы.

В зависимости от закона регулирования различают следующие основные типы регуляторов систем автоматического регулирования по отклонению.

Пропорциональный, или П-регулятор, реагирующий только на отклонение регулируемой переменной согласно уравнению $y = cx$. В соответствии с этим законом исполнительный орган изменяет свое положение пропорционально отклонению регулируемой величины.

Интегральный, или И-регулятор действует по закону $y = c \int x(t) dt$. Следовательно, чем дольше сохраняется отклонение регулируемой величины, больше перемещение исполнительного органа и значение отклонения, тем выше скорость изменения исполнительного органа, так как $y' = x(t)$.

Дифференциальный, или Д-регулятор осуществляет регулирование согласно уравнению $y = c dx/dt$. Таким образом, значение отклонения пропорционально скорости изменения регулируемой величины. Производную в закон регулирования вводят для улучшения динамических качеств систем (подавление колебаний, убыстрение затухания переходных процессов).

Сам по себе Д-регулятор не применяют. Обычно регулиро-

вание по производной выполняют в сочетании с другими законами.

Пропорционально-интегральный регулятор с производной, или ПИД-регулятор, действует по закону $y = c_1 \int x(t) dt + c_2 x(t) + c_3 dx/dt$. На вход такого регулятора подаются импульсы регулирования по отклонению, интегралу от отклонения и производной от отклонения регулируемой величины.

Применяют также комбинированные ПД- или ПИ-регуляторы. Классификация наиболее распространенных типов регуляторов и их характеристики приведены в таблице 2.1.

Выбор того или иного регулятора, реализующего необходимый закон регулирования, самым непосредственным образом зависит от характеристик регулируемого объекта, поскольку переходные процессы в замкнутой автоматической системе во многом определяются свойствами самого объекта. Изучение свойств систем, главным образом переходных процессов в них, составляет предмет теории автоматического регулирования и управления. Переходные процессы в системах автоматического регулирования сложны и, как видно из обобщенной структурной схемы автоматического регулирования (см. рис. 2.2), обуславливаются взаимодействием регулятора и объекта регулирования.

По характеру переходных процессов в них объекты регулирования принято различать на пропорциональные, инерционные и инерционные с запаздыванием.


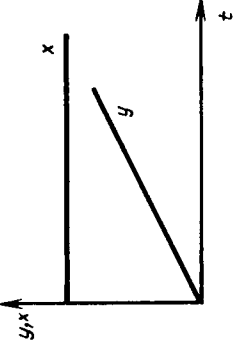
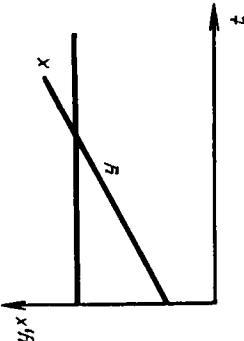
У пропорциональных объектов в переходном процессе выходная величина изменяется при изменении положения исполнительного органа без заметного отставания. Это объясняется незначительной инерцией объекта, которой можно пренебречь.

У инерционных объектов, в противоположность пропорциональным, выходная величина следует за изменением исполнительного органа со значительным отставанием во времени. Воздействие исполнительного органа на регулирующую величину передается путем преодоления инерции самого объекта регулирования.

Инерционные объекты с запаздыванием характеризуются еще большим временем, которое проходит от момента воздействия исполнительного органа до начала изменения регулируемой величины.

Само собой разумеется, что регулятор должен отвечать всему предъявляемому к нему комплексу требований. Так, использование пропорционального регулятора для инерционного объекта с запаздыванием (например, оросительный канал, в котором регулируется уровень) не обеспечивает процесса регулирования. В данном случае применяют импульсный или пропорционально-импульсный регулятор, в котором пауза приостанавливает процесс регулирования на время, необходимое, чтобы ликвидировать влияние запаздывания.

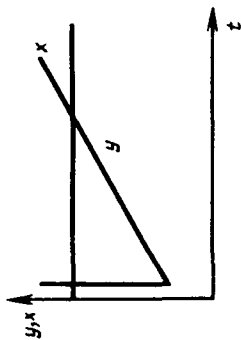
2.1. Характеристики наиболее распространенных типов регуляторов

Тип	Регулятор	Уравнение	Характеристика	Применение
П	Пропорциональный статический	$y = c_2 x$		
И	Интегральный (статический)	$y = c_1 \int x (dx)$		
ПИ	Пропорционально-интегральный (изодромный)	$y = c_1 \int x dt + c_2 x$		$x = dx/dt$

Тип	Регулятор	Уравнение	Характеристика	Применение
-----	-----------	-----------	----------------	------------

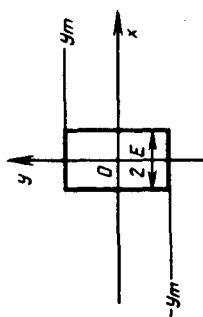
ПИД Пропорционально-интегральный с производной

$$y = c_1 \int x dt + c_2 x + c_3 \dot{x}$$



Рп Двухпозиционный (релейный)

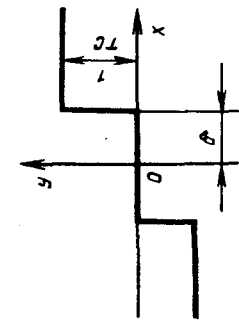
$$\begin{aligned} \dot{y} &= y_m \operatorname{sgn}(x - E) \\ &\text{при } x > 0 \\ \dot{y} &= -y_m \operatorname{sgn}(x + E) \\ &\text{при } x < 0 \end{aligned}$$



Рс Постоянной скорости (релейный)

$$\begin{aligned} \dot{y} &= \operatorname{sgn} x / T_c \text{ при } |x| > \delta \\ \dot{y} &= 0 \text{ при } |x| < \delta \end{aligned}$$

$1/T_c$ — скорость пере-
становки регулирующего
органа



$$\begin{aligned} \operatorname{sgn} x &= +1, \text{ если } x > 0 \\ &= 0, \text{ если } x = 0 \\ &= -1, \text{ если } x < 0 \end{aligned}$$

§ 2.4. Построение систем автоматического управления

Этапы построения систем автоматического управления рассмотрены ниже в общем виде.

Чтобы управлять каким-либо объектом (процессом), необходимо в первую очередь установить и обосновать цель управления, которая обуславливается технологическими и экономическими факторами, современным уровнем науки и техники в данном производстве и рядом других конкретных условий.

После этого разрабатывают алгоритм управления, то есть устанавливают последовательность связанных друг с другом математических и логических зависимостей между переменными параметрами, характеризующими поведение управляемого объекта. Нередко зависимости, определяющие алгоритм, недостаточно изучены или сложны и не могут быть выражены в аналитической форме; в таких случаях их определяют экспериментально.

Затем выбирают или создают устройства автоматического управления.

Вслед за этим определяют методы получения и передачи первичной информации управления, которая должна быть наиболее полной — отражать фактическое состояние производственного процесса и служить основанием для получения сигналов управления.

Если, например, в качестве объекта принять оросительную систему, то для управления ею необходимо располагать данными о расходах и уровнях на многих регулируемых узлах и сооружениях, знать аккумулирующие способности и резервные объемы воды в отсеках каналов и состояние уровня грунтовых вод, иметь сведения о работе дренажных устройств и т. д. Для этого на местах устанавливают специальные датчики и контрольно-измерительные приборы (КИП), вырабатывающие информацию о состоянии и изменении переменных параметров системы. Получаемую информацию передают на диспетчерский пункт, решая при этом задачу: каким образом наиболее простыми техническими средствами выполнить передачу заданного объема информации. Так как объекты оросительной системы разбросаны на большой территории и удалены от диспетчерского пункта, то для передачи информации применяют устройства телемеханики (см. гл. 13). Полученная информация должна быть переработана и преобразована в сигналы управления в соответствии с алгоритмом управляемого объекта.

Переработка информации и преобразование ее в сигналы управления требуют для многих современных производственных процессов, и в частности для гидромелиоративных систем, сложной, большего объема математической работы. С подобной вычислительной работой и в ограниченное время диспетчер, разумеется, справиться не может. Поэтому применяют точные

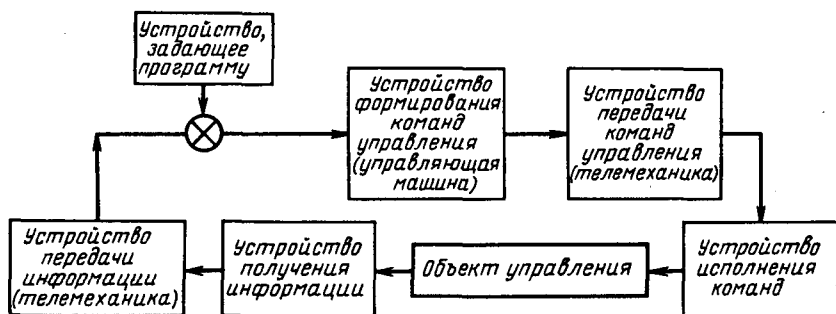


Рис. 2.6. Обобщенная структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования

и быстродействующие логические счетно-решающие устройства, вычислительные и управляющие машины. В них первичная информация преобразуется в сигналы управления. Для реализации управления в конкретные действия переработанную информацию от вычислительно-управляющей машины вновь передают в виде команд средствами телемеханики к исполнительным механизмам, которые выполняют требуемые операции. Таким образом, составными частями процесса автоматического управления являются получение, передача, переработка и использование информации автоматически действующими исполнительными механизмами и устройствами.

Весь процесс автоматического управления без участия человека происходит преимущественно по замкнутому контуру. В общем виде структурная схема автоматического управления с замкнутой цепью воздействия показана на рисунке 2.6. Как видно из этой схемы, в устройство формирования команд управления поступает первичная информация о состоянии фактических параметров системы, а также вводится программа от специального задающего устройства. Команды формируются в процессе сопоставления программы и результатов ее исполнения по данным поступающей информации.

Группы средств устройств автоматического управления выделяют в общем случае в соответствии с рассмотренной схемой: средства, обеспечивающие автоматическую последовательность работы агрегатов объекта в процессе пуска и остановки, автоматическую защиту от возникновения отклонения от режима, автоматический ввод резерва и др.;

средства для получения информации (чувствительные элементы, датчики, измерительные схемы, анализаторы и т. п.);

средства для передачи информации (устройства телемеханики);

средства для переработки информации и формирования

команд управления (счетно-решающие устройства, вычислительные и управляющие машины);

средства, выполняющие команды управления (автоматические регуляторы, исполнительные механизмы, программные устройства, следящие системы и т. п.).

Следует иметь в виду, что приведенная на рисунке 2.6 схема носит сугубо принципиальный характер и в зависимости от конкретных условий может так или иначе изменяться. Например, чтобы не перегружать устройство телемеханики, когда количество информации велико, непосредственно в месте ее получения устанавливают устройство предварительной обработки информации. Для гидромелиоративных систем большой протяженности системы телемеханики и вычислительные устройства можно использовать между различными звеньями по несколько раз. Однако возможное многообразие схем не меняет принцип управления по замкнутому контуру на основе информации; постоянными остаются также применяемые основные группы средств автоматики.

Из рассмотренных принципов и структур следует, что автоматические системы, выполняющие свои функции без непосредственного участия человека, делятся на два класса.

Системы первого, наиболее обширного, класса, получившие название информационных, или ациклических, работают с замкнутой цепью воздействия и характеризуются тем, что автоматическое управление осуществляется на основе информации о фактическом протекании процесса, то есть на основе информационных процессов.

К системам второго класса, которые называют циклическими, или детерминированными, относятся системы программного управления, выполняющие свои функции по заранее заданной программе вне зависимости от фактического протекания процесса, то есть без обратной связи. В этом случае автоматическое программное управление заключается в том, что устройства автоматики обеспечивают начало, необходимую последовательность и прекращение операций, составляющих данный процесс. Последовательность операций осуществляется или в функции времени, или в зависимости от завершения какой-либо предыдущей стадии процесса. Следовательно, информация управления, то есть сведения о состоянии параметров, характеризующих выполнение заданных функций, непосредственно не используется.

Циклические системы применяют в процессе автоматического пуска и остановки машин и механизмов для обеспечения определенной последовательности работы многих механизмов и агрегатов (поточные линии), для выполнения жестких, заранее заданных программ, работа которых устанавливается эмпирически.

Программное управление часто используется в мелиоративных системах. Рассмотрим простейшую циклическую систему программного управления поливом стационарной дождевальной системы (рис. 2.7). Насосная станция подает воду

в магистральный напорный трубопровод 4, откуда она поступает в оросительные трубопроводы 1, оборудованные дождевальными аппаратами 2. В местах присоединения оросительных трубопроводов к магистральному установлены электрические управляемые клапаны 3.

Оросительные трубопроводы включаются в работу в соответствии с программой, задаваемой профильными шайбами 5, которые жестко закреплены на общем валу и приводятся во вращение через редуктор 6 синхронным двигателем 7. Последовательность работы электрических клапанов, а значит и подачи воды в оросительные трубопроводы, и время работы управляемого клапана, а следовательно, время полива на данном участке определяются соответственно взаимным расположением выступов на шайбах и шириной выступов.

В автоматических системах, подобных рассмотренной, управление ведется с разомкнутой цепью воздействия, то есть устройство автоматического управления воздействует на объект управления, обратного же воздействия нет. Действительно, информация о фактическом состоянии влажности почвы в данной системе непосредственно для управления не используется.

Этапы автоматизации в общем случае можно выделить в зависимости от применяемых технических средств.

Первый этап — местная автоматизация. Установки и сооружения оснащают контрольно-измерительной аппаратурой, полуавтоматическими или автоматическими исполнительными механизмами и устройствами, расположенными непосредственно у объектов управления. Элементы телемеханики и вычислительной техники не используют. Все управление возлагается на местный обслуживающий персонал. Команды управления передаются по телефону. Процесс управления не замкнут. Необходимое условие местной автоматизации — предшествующая механизация автоматизируемых узлов системы.

Второй этап — комплексная автоматизация с замкнутым процессом управления через человека (диспетчера). Все установки и сооружения на местах автоматизированы, но в отличие от

предыдущего этапа они работают без постоянного обслуживающего персонала. Режим полностью устанавливает и осуществляет диспетчер, который передает команды местным устройствам автоматики, исходя из требований, предъявляемых к системе в целом. Диспетчер располагает средствами контроля, которые позволяют ему следить за выполнением команд, переданных устройствам автоматики, а в случае необходимости вмешиваться в их работу и вносить необходимые коррективы. На этом широко распространенном сейчас этапе, кроме средств местной автоматики, применяют средства телемеханики, передающие на расстояние информацию в обе стороны, то есть от диспетчера к объектам управления и обратно.

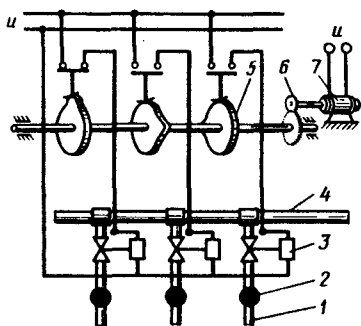


Рис. 2.7. Схема программного управления поливом стационарной дождевальной системы:

1 — оросительный трубопровод; 2 — дождевальный аппарат; 3 — электрические управляемые клапаны; 4 — магистральный трубопровод; 5 — профильная шайба; 6 — редуктор; 7 — синхронный двигатель

Третий этап — комплексная автоматизация с замкнутым через человека процессом управления и с выполнением ряда телеавтоматических операций. Характерная черта — применение, помимо средств местной автоматики и телемеханики, отдельных логических счетно-решающих устройств и даже вычислительных машин. Большая часть информации до поступления к диспетчеру проходит машинную обработку, а затем в обобщенном виде представляется диспетчеру. Это облегчает работу диспетчера, повышает ее эффективность и точность управления.

Четвертый этап — этап полной автоматизации, когда автоматическая система осуществляет управление без непосредственного участия человека.

Система автоматического управления, представленная на рисунке 2.6, может быть отнесена к полностью автоматизированной, поскольку во всем цикле управления человек непосредственно не участвует. Такая степень автоматизации в современных условиях считается высшей. Для ее осуществления необходимы определенные условия технического, организационного и экономического характера.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), которые создаются и уже действуют в ряде отраслей промышленности и в водном хозяйстве, характеризуются применением электронно-вычислительных машин (ЭВМ), благодаря чему возможности автоматического управления расширяются.

Использование ЭВМ позволяет резко увеличивать число регулируемых параметров (до нескольких сотен, а иногда и тысяч), осуществлять значительно более сложные алгоритмы управления, перестраиваться (за счет изменения программ) на новые алгоритмы управления. Кроме того, наличие в ЭВМ памяти позволяет учитывать при управлении не только настоящее состояние регулируемого параметра, но и предыдущее.

Как уже было сказано несколько ранее, на третьем этапе автоматизации для решения отдельных задач управления и перестройки информации также не исключается применение ЭВМ. В отличие от такого частичного использования ЭВМ в АСУТП используются целые комплексы средств вычислительной техники, обеспечивающие автоматизацию задач сбора и передачи информации об управляемом объекте, а также переработки информации и выдачи управляемых воздействий на объект управления.

Первоначально в АСУТП получило развитие так называемое прямое управление, когда одна ЭВМ используется для управления работой большого числа объектов (например, многих станков или даже целого предприятия). Это требовало значительных расходов на программирование, на создание таких математических моделей, которые позволили бы ЭВМ контролировать все переменные, определяющие производственные процессы, и управлять ими. Такая ЭВМ очень дорога, а кроме того, в случае

выхода ее из строя целиком прекращается процесс управления. Наиболее перспективным оказалось направление, получившее название «иерархического» подхода, когда небольшие и соответственно сравнительно недорогие ЭВМ запрограммированы на выполнение простых единичных функций для управления работой одного станка, агрегата или сооружения. Одновременно они посылают информацию о своей работе в ЭВМ «более высокого порядка».

При подобной системе управления перед различными по сложности ЭВМ ставятся и различные задачи, а выход из строя «большой» ЭВМ не останавливает производство, так как «малые» ЭВМ продолжают выполнять свои функции.

Можно привести, хотя они еще немногочисленны, примеры применения небольших ЭВМ для управления водораспределением на крупных гидроузлах и каналах водохозяйственных систем. Обычно в этих случаях каждым большим гидротехническим узлом сооружений управляет отдельная ЭВМ.

Отдельно нужно сказать об экономической эффективности внедрения полной автоматизации. В общем случае она обеспечивается за счет повышения производительности труда, совершенствования технологических процессов, сокращения затрат, улучшения качества продукции, уменьшения рабочего персонала. Доминирующую роль при этом играют качественные факторы. Следует, однако, отметить, что заранее определить всю экономическую эффективность в результате внедрения полной автоматизации очень трудно. Ее внедрению предшествуют этапы частичной автоматизации, исследовательские и экспериментальные работы.

§ 2.5. Дискретная техника

Одним из важнейших путей качественного изменения систем автоматического управления и регулирования стало использование дискретной (цифровой) техники, применяемой в вычислительных и управляющих электронных машинах, а также в различных автоматических устройствах. Здесь приводятся общие сведения, необходимые для понимания принципов и устройств управления на базе дискретной техники, применяемой при автоматизации водохозяйственных систем. Подробнее эти вопросы изложены в специальной литературе.

В основе построения дискретной техники лежит способ представления информации в дискретной форме, методы ее обработки и передачи.

Непрерывная кривая изменения некоторого параметра во времени и ее дискретная форма приведены на рисунке 2.8. Непрерывной формой сигнала является такая, когда величина сигнала изменяется непрерывно.

Приведенная на этом же рисунке дискретная форма сигнала отличается тем, что сигнал изменяется не непрерывно, а скачками, через равные отрезки времени Δt , оставаясь в течение отрезка неизменной. Дискретная форма кривой может быть получена превращением непрерывной кривой в ступенчатую. Такое преобразование непрерывных функциональных зависимостей в ступенчатые называют *квантованием*.

В данном случае кривая квантуется во времени, то есть величина параметра измеряется дискретно через определенные промежутки времени. Очевидно, что чем чаще измеряется величина параметра (чем меньше Δt), тем ближе дискретная форма к непрерывной. Ясно, что дискретные значения не должны отличаться от соответствующих значений функции больше, чем на величину допускаемой погрешности.

Преимущество дискретной формы сигналов заключается в том, что она значительно легче поддается обработке электронными средствами, нежели непрерывная запись (см. § 2.6).

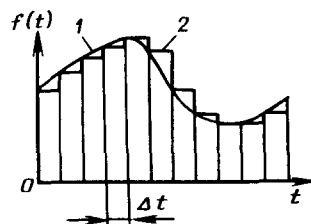


Рис. 2.8. Преобразование непрерывной кривой (1) в ступенчатую (2)

§ 2.6. Двоичная система счисления

Любую дискретную величину можно представить (кодировать) в виде числа. В современных вычислительных устройствах для записи чисел используется двоичная система счисления, имеющая ряд преимуществ по сравнению с общеупотребительной десятичной.

В привычной для нас десятичной системе для обозначения чисел используют десять цифр (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Числа больше десяти представляют в виде последовательности цифр, которая строится в соответствии с определенными правилами. Последовательность первоначального ряда знаков задается, и то, что после знака 6 следует знак 7, принимается как исходное. Однако переход от 9 к 10 осуществляется выполнением следующих операций: последний из знаков (9) заменяется на первый знак системы (0); знак соседний слева заменяется на следующий за ним знак системы.

Таким образом, при переходе от данного числа к следующему необходимо выполнить действия:

заменить правую крайнюю цифру числа на следующую цифру системы (например, 6 на 7);

если правая крайняя цифра числа является последней цифрой системы, то ее надо заменить на первую цифру системы, а соседнюю порядковую цифру заменить на следующую цифру системы, например 69 на 70;

если следующая порядковая цифра также является последней

цифрой системы (в таких числах, как 499, 99), то надо осуществить второе действие до тех пор, пока не будет достигнута порядковая цифра меньше последней цифры системы и которую можно заменить на следующую цифру данной системы счисления, например 99 на 100 или 499 на 500.

Этот метод перехода от одного числа к следующему справедлив для всех систем счисления и не зависит от того, какие цифры или знаки используются, а также от числа знаков в системе.

В десятичной системе число представляется в виде суммы произведений различных степеней 10 на различные коэффициенты, которые могут принимать значения от 0 до 9. Например: $159 = 1 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0$; $46,708 = 4 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0 + 7 \cdot 10^{-1} + 0 \cdot 10^{-2} + 8 \cdot 10^{-3}$.

Для упрощения записи пишут только значения коэффициентов, располагая их слева направо по убывающим степеням основания 10.

В зависимости от позиции, в которой стоит цифра, различают разряды единиц, десятков, сотен и т. д. (единицу можно записать в виде 10^0 , так как по определению, нулевая степень любого числа равна единице).

Двоичная система счисления является системой с основанием 2. Любое число в двоичной системе можно представить в виде суммы произведений различных степеней 2 на коэффициенты, которые в этом случае принимают лишь два значения — 0 или 1. Например: $159 = 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 128 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1$. Как и в десятичной системе, записывают только значения коэффициентов $159 \rightarrow 10011111$.

Для перевода чисел из десятичной системы в двоичную можно пользоваться следующим правилом: исходное число делим на 2 и результат округляем до целого числа с недостатком; полученное число снова делим на 2 и результат также округляем с недостатком и т. д. Все промежуточные результаты, включая само число, выписывают в столбик и против каждого нечетного числа пишут 1, а против каждого четного — 0. Полученный столбик единиц и нулей снизу вверх записывают в строчку слева направо — это и есть искомая двоичная запись исходного числа.

Например:

$$\begin{array}{r} 159 : 2 = 79 \frac{1}{2} \quad 159 \quad 1 \\ \quad \quad \quad \quad \quad 79 \quad 1 \\ 79 : 2 = 39 \frac{1}{2} \quad 79 \quad 1 \\ \quad \quad \quad \quad \quad 39 \quad 1 \\ 39 : 2 = 19 \frac{1}{2} \quad 19 \quad 1 \\ \quad \quad \quad \quad \quad 19 \quad 1 \\ 19 : 2 = 9 \frac{1}{2} \quad 9 \quad 1 \end{array}$$

$$9:2 = 4 \frac{1}{2} \quad 4 \quad 0$$

$$4:2 = 2 \quad 2 \quad 0$$

$$2:2 = 1 \quad 1 \quad 1$$

$$159 \rightarrow 10011111$$

Для того чтобы осуществить перевод числа двоичной системы в десятичную, необходимо знать, чему равна в десятичной системе каждая единица двоичного числа. Если двоичное число имеет один (нулевой) разряд, то находящаяся в нем 1 равна единице десятичной системы, это определяется из условия $1 \cdot 2^0 = 1$. Если единица отсутствует и в нулевом разряде имеется «ноль», то получаем $0 \cdot 2^0 = 0$.

Следовательно, в десятичной системе в этом случае записывают нуль. Это правило распространяется на любой m -й разряд двоичного числа:

$$1 \cdot 2^m = 2^m;$$

$$0 \cdot 2^m = 0.$$

Сказанное позволяет определить правило, по которому осуществляется перевод двоичного числа в десятичное. Записывается сумма ряда соответствующих степеней 2, перед которыми поставлены нуль или единица в соответствии с двоичным числом. Например, двоичное число 100110 в десятичную систему переводят, записывая ряд $1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 38$.

Значения различных степеней основания системы, пользуясь которой легко написать десятичное значение двоичного числа 2, приведены ниже.

$$2^0 = 1$$

$$2^1 = 2$$

$$2^2 = 4$$

$$2^3 = 8$$

$$2^4 = 16$$

$$2^5 = 32$$

$$2^6 = 64$$

$$2^7 = 128$$

$$2^8 = 256$$

$$2^9 = 512$$

$$2^{10} = 1024$$

$$2^{11} = 2048$$

$$2^{12} = 4096$$

Основные преимущества двоичной системы счисления следующие:

возможность применения для считывания и запоминания дискретных величин элементов автоматики с релейным эффектом, имеющих два фиксированных состояния. Если, например, на выходе релейного элемента имеется полезный сигнал, то этому состоя-

нию можно присвоить значение 1, а состоянию, когда сигнал отсутствует, значение 0;

большая точность передаваемого числа, а так как для записи его нас интересует лишь наличие или отсутствие сигнала, то возможные колебания величины самого сигнала (из-за нестабильности источника питания или из-за наличия помех) не влияют (в довольно больших пределах) на точность передаваемого числа;

экономия оборудования, несмотря на увеличение (по сравнению с десятичной системой) числа разрядов для записи числа. Это объясняется тем, что при использовании десятичной записи мы должны запоминать в каждом разряде один из десяти возможных коэффициентов, тогда как для двоичной системы это число снижается до двух. Так, для откладывания на обычных счетах числа от 1 до 999 нам необходимо иметь три разряда по 9 косточек в каждом — всего 27 косточек. В двоичной же системе для откладывания любого числа от 1 до 999 требуется 10 разрядов, но зато в каждом разряде достаточно одной косточки для изображения цифры 1; цифра 0 изображается простым отсутствием косточки. Таким образом, экономия «ячеек памяти», какой является косточка, составляет почти 60 %;

простота правил выполнения арифметических действий (см. § 2.7).

Все перечисленные обстоятельства дают представление о преимуществах двоичной системы счисления. При использовании дискретной техники в качестве основных элементов применяют преобразователи непрерывных величин напряжения тока, температуры и другие в дискретные. Такие преобразователи получили название «аналого-цифровой преобразователь» (АЦП) (см. гл. 3).

При этом каждому дискретному значению должна соответствовать своя комбинация электрических импульсов, называемая кодовой комбинацией, или кодом.

§ 2.7. Арифметические действия с двоичными числами

Сложение двоичных чисел. Двоичная система счисления позволяет наиболее просто производить арифметические действия с числами. Фактически — это главная причина применения двоичной системы в логических схемах и электронно-вычислительных машинах.

При сложении двоичных чисел следует помнить лишь два следующих простых правила: 0 плюс 1 = 1;

1 плюс 1 = 0 с переносом единицы в следующий высший разряд. Например, при сложении двух пятиразрядных двоичных

$$\begin{array}{r} 01101 \\ + \\ 01001 \\ \hline 10110 \end{array} \quad \begin{array}{l} 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 13 \\ 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 9 \\ 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 22 \end{array}$$

чисел; зачастую влево от двоичного числа в прямоугольнике про- ставляют код знака числа (0 для положительного числа и 1 для отрицательного). В этом случае двоичное число 13 запишется: $\boxed{0} 01101 = +13$. $\boxed{1} 01101 = -13$.

Операции с кодами ячеек знака проводят так же, как и с кодами разрядов самого числа. Получившийся в результате сложения кодов знак и есть код знака суммы.

Вычитание двоичных чисел. Для вычитания в двоичной систе- ме счисления используют прием, называемый дополнением — заменой вычитания данного числа на сложение с числом, допол- нительным к данному числу, которое получают вычитанием данно- го числа из некоторого фиксированного числа, то есть вычитание данного числа заменяют на сложение с дополнительным числом. Таким образом, если к данному числу найдено дополнение, то последнее позволяет провести вычитание путем сложения. Рас- смотрим это на следующем примере: вычтем 32 из 48. Приняв за фиксированное число 100, найдем, что дополнением к 32 будет 68 ($100 - 32$). Теперь, чтобы вычесть 32 из 48, сложим 48 с допол- нением: $48 + 68 = 116$. Опустив фиксированное число 100 и вы- черкнув единицу высшего разряда, получим число 16, являющее- ся результатом вычитания. Следовательно, вычитание можно вы- полнить сложением уменьшаемого и дополнения к вычитаемому, если из результата затем вычесть фиксированное число. Фиксиро- ванное число имеет порядок $n + 1$, если число знаков в вычитаемом равно n .

Дополнительное число к данному в двоичном счислении опре- деляют следующим образом: в данном числе в каждом разряде единицу заменяют на нуль, а нуль на единицу и прибавляют 1 в низшем разряде.

Например, дополнением к числу 11 010 будет число 00 110, ко- торое получают таким образом:

$$\begin{array}{r} 11\ 010 \text{ изменяют нули, единицы на нули;} \\ 00101 \text{ добавляют единицу в крайнем правом разряде;} \\ \underline{\quad 1} \\ 00110 \end{array}$$

Например, требуется из числа 15 вычесть число 9. $+15$ в двоич- ном исчислении равно $\boxed{0} 01111$; -9 в двоичном исчислении равно

$$\boxed{1} 01001. \text{ Дополнение к числу } -9 = \boxed{1} 10111.$$

Теперь сложим прямое число 15 и дополнение к числу 9

$$\begin{array}{r} +15 \quad 0\ 1111 \text{ переносы} \\ -9 \quad \boxed{1} 01111 \\ \hline +6 \quad \boxed{1} 10111 \\ \hline \boxed{0} 00110 \end{array}$$

Рассмотрим вычитание большего числа из меньшего.
 Вычтем 8 и 3 в десятичной и двоичной системах счисления

$$\begin{array}{r} - 3 \text{ 0011} \\ - 8 \text{ 1000} \\ \hline -5 \end{array}$$

Дополнением к числу 1000 будет 1000 (случайное совпадение), прибавим дополнение

$$\begin{array}{r} \text{00011} \\ + \\ \text{11000} \\ \hline \text{11011} \end{array}$$

Наличие после сложения 1 в разряде знака указывает на необходимость определения дополнения к этому числу. Дополнением к 11011 будет число 0101 (десятичное число — 5).

Таким образом, процесс вычитания большего числа из меньшего заключается в определении дополнительного числа к вычитаемому и сложении дополнительного числа с уменьшаемым. Всякий раз, когда после сложения получается отрицательное число, действительным результатом вычитания является не это число, а дополнение к нему.

Умножение двоичных чисел. Умножение проводят, применяя следующие два правила:

$$\begin{array}{l} 1 \times 0 = 0 \\ 1 \times 1 = 1 \end{array}$$

Обычное правило смещения влево на один порядок после каждого умножения остается в силе. Используя эти два правила, умножим два числа

$$\begin{array}{r} 15 \text{ 001111} \\ \times 9 \text{ 01001} \\ \hline 135 \text{ 01111} \\ \text{00000} \\ \text{00000} \\ \text{01111} \\ \text{00000} \\ \hline \end{array}$$

$$\text{0100 00111} = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 128 + 4 + 2 + 1 = 135.$$

Из примера следует, что умножение двух чисел сводится к

умножению множимого на каждый разряд множителя и к суммированию полученных частных произведений, со сдвигом их каждый раз на один разряд влево. При этом умножение на единицу означает повторение множимого, а умножение на 0 — что во всех разрядах полученного частного произведения будут нули. Знак произведения определяют отдельно комбинацией знаков ячеек обоих множителей.

Как видно, перемножение двоичных чисел сводится к написанию множимого на соответствующем месте (при умножении на единицу) или его исключению (при умножении на 0) с соблюдением правила смещения на один порядок после каждого умножения. Таким образом, умножение, по существу, сводится к сложению.

Деление двоичных чисел. Деление выполняют способом, во многом сходным с делением десятичных чисел.

При этом сравнивают делимое с делителем. Если делимое равно или больше делителя, в частное записывают единицу, если меньше — 0.

Например, разделим 1001 (десятичное число 9) на 0100 (десятичное число 4). Ответ должен быть 2,25

$$\begin{array}{r} 1001 \overline{) 0100} \\ \underline{100} \\ 000100 \\ \underline{100} \\ 000 \end{array}$$

Частное от деления (10,01) переводим в десятичный эквивалент обычным способом:

$$1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^{-2} = 2,25.$$

§ 2.8. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные

Для контроля и управления производственными процессами применяют различные датчики, характеризующие состояние процесса. Датчики измеряют давление, расход, перемещение, температуру и множество других параметров, которые непрерывно изменяются во времени. Обычно измеряемые параметры получают в виде напряжения или тока, величины которых пропорциональны соответствующим параметрам.

Чтобы использовать получаемую в таком виде информацию в цифровых устройствах автоматического управления, и в том числе в электронно-вычислительных машинах, применяют устройства для преобразования непрерывных сигналов в дискретные, получившие наименование АЦП (аналого-цифровой преобразователь). Имеется довольно много подобных преобразователей как электромеханических, так и электронных. Электронные преобразователи характеризуются быстродействием.

Они могут выполнять до миллиона двоичных преобразований в секунду. Будучи бесконтактными, они надежнее в работе, нежели электромеханические. В основном применяют два способа преобразования аналоговых сигналов в дискретные: время-импульсный метод и метод ступенчатой компенсации напряжения.

Рассмотрим сущность этих методов.

Времяимпульсный метод. Линейно изменяющееся напряжение, которое необходимо преобразовать в дискретную величину, накладывают на напряжение генератора линейно-изменяющегося напряжения. Генератор создает периодическое напряжение (рис. 2.9), которое в течение определенного интервала времени (t), называемого рабочим ходом, нарастает пропорционально времени. После этого наступает обратный ход, при котором напряжение уменьшается до нуля, а затем вновь начинает линейно возрастать, и цикл повторяется.

В точках $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ напряжения оказываются равными. В точке B_1 напряжение равно $u_1 = t_1 \operatorname{tg} \alpha$. Поскольку угол наклона α линейно нарастающего напряжения — величина постоянная, то напряжение в точке B_1 в соответствующем масштабе равно отрезку t_1 . С учетом этого обстоятельства преобразование непрерывно изменяющегося напряжения в дискретное выполняют по схеме, представленной на рисунке 2.10. Датчик подает импульсы на счетчик. Одновременно этот датчик импульсов включен на пересчетное устройство, сигнал на выходе которого появляется через n импульсов, то есть через время

$$T = 1n/f_n,$$

где f_n — частота импульсов, генерируемых датчиком.

Сигнал на выходе пересчетного устройства — сигнал включения датчика импульсов на счетчик в точках A (рис. 2.9).

На вход устройства сравнения напряжения подаются сравниваемые напряжения: линейно изменяющиеся напряжения и напряжение, которое необходимо преобразовать в дискретную форму $u = f(t)$. В тот момент, когда эти напряжения равны (точки B на рис. 2.9), устройство логического сравнения подает

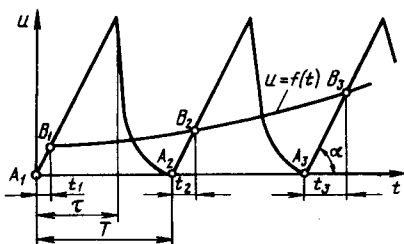


Рис. 2.9. Схема сравнения двух напряжений

импульс на выключатель, являющийся сигналом отключения датчика импульсов от счетчика. Таким образом выключатель пропускает на счетчик число импульсов, которое пропорционально величине изменяющегося напряжения в точке *B*. Подсчитав число этих импульсов, счетчик на выходе дает величину напряжения *u* в дискретной форме. Тип счетчика определяет систему кодирования дискретного напряжения. При применении двоичного счетчика напряжение будет представлено в двоичном коде. После выдачи сигнала показания счетчика сбрасываются на нуль, и он вновь готов для подсчета напряжения *u* в следующем интервале. Недостатки этого метода — сравнительно невысокая точность отсчетов через неравные интервалы времени и неоднозначность отсчетов. Кроме того, положение точки начала счета импульсов (точка *A*) определяется недостаточно точно. Чтобы точно установить положение этой точки, требуется специальная схема.

Метод ступенчатой компенсации. Он основан на сравнении мгновенных значений преобразуемого непрерывного напряжения *u* с рядом эталонных напряжений. В качестве эталонных выбирают напряжения вида

$$u_{эТ} = 2^k,$$

где *K* — любое целое число.

Поэтому эталонными являются напряжения

$$u_{эТ0} = 1В; u_{эТ1} = 2В; u_{эТ2} = 4В; u_{эТ3} = 8В \text{ и т. д.}$$

Применяют следующие логические правила сравнения преобразуемого напряжения с эталонным. Берут наибольшее из имеющихся эталонных напряжений и проводят сравнение.

1. Если $u \geq u_{эТk}$, то в *k*-м разряде выдается единица и для дальнейшего сравнения берется сумма двух эталонных напряжений $u_{эТk} + u_{эТk-1}$.

2. Если $u < u_{эТk}$, то в высшем *k*-м разряде принимается сигнал нуля и далее для сравнения берут следующее меньшее значение эталонного напряжения ($u_{эТk-1}$).

3. Далее, в зависимости от результатов, в пунктах 1 и 2 аналогичные сравнения проводят по одному из рассмотренных условий: $u \geq u_{эТk-1}$ или $u \geq u_{эТk} + u_{эТk-1}$; если соответствующее неравенство выполнено, то в разряд *k* — 1 подается единица, если нет, то ноль.

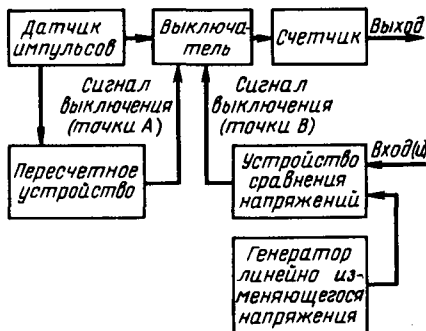


Рис. 2.10. Схема времяимпульсного метода преобразования

4. Аналогичные сравнения проводят с суммами всех низших разрядов.

Пример. Преобразовать в двоичную дискретную форму значение напряжения $u = 48$.

Эталонные напряжения, имеющиеся в преобразующем аппарате, равны 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64. Работает аппарат по этапам, приведенным в таблице 2.3.

2.3. Логическая схема преобразующего аппарата

Номер разряда	Вид сравнения	Результаты сравнения	Выход в соответствующем разряде
6	$48 \geq 64$	Нет	0
5	$48 \geq 32$	Да	1
4	$48 \geq 32 + 16$	Да	1
3	$48 \geq 32 + 16 + 8$	Нет	0
2	$48 \geq 32 + 16 + 4$	Нет	0
1	$48 \geq 32 + 16 + 2$	Нет	0
0	$48 \geq 32 + 16 + 1$	Нет	0

Таким образом, осуществляется преобразование: $48 \rightarrow 0110000$.

Так как импульсы выдаются аппаратом последовательно, то говорят, что аппарат имеет последовательный по времени выход.

При использовании электронно-лучевого коммутатора метод ступенчатой компенсации выполняет кодирование со скоростью до 100 000 операций в секунду. Точность преобразования, выполняемого этим методом, выше, чем времяимпульсным методом, ибо она ограничена только точностью эталонного напряжения и схемы сравнения.

Недостаток этого метода — применение относительно сложной логической схемы.

§ 2.9. Преобразование дискретных сигналов в непрерывные

В ряде случаев возникает необходимость в преобразовании дискретных сигналов в непрерывные, в частности, при выводе информации из управляющей электронно-вычислительной машины,

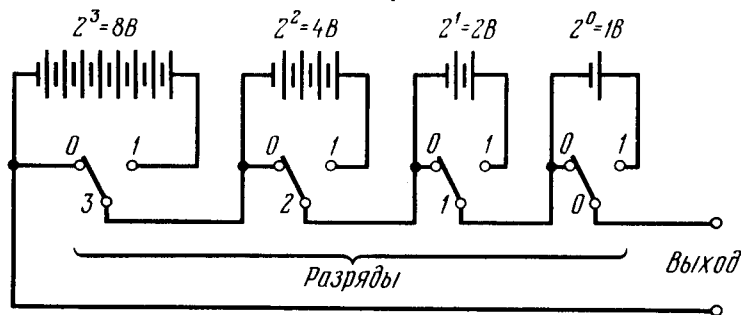


Рис. 2.11. Схема преобразования двоичного кода в постоянное напряжение

работающей в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Для этих случаев применяют цифроаналоговые преобразователи (ЦАП). Наиболее распространенный способ преобразования дискретных величин в непрерывные — так называемый метод взвешивания, который получил свое название благодаря тому, что при его использовании проводится «взвешивание» всех единиц двоичного числа, в котором обычно записывают дискретные значения измеряемых параметров. Например, имеется двоичное число 111. В этом числе крайняя левая единица «весит» 4 В, средняя — 2, а правая единица — 1 В. В сумме получаем $4 + 2 + 1 = 7$ В. На этом принципе строят схему преобразования. Схема для преобразования четырехразрядных чисел показана на рисунке 2.11. Если в такой схеме установить n эталонных источников напряжения, то она может быть использована для преобразования любого n -разрядного числа.

В этой схеме необходимое положение переключателей устанавливается в соответствии с поступающим дискретным сигналом. При отсутствии импульса (единицы) в данном разряде соответствующий переключатель находится в левом положении. Если в разряде имеется единица, то переключатель переключается в правое положение, включая эталонное напряжение, соответствующее весу данной единицы. Например, если подано число 1011, то ключи переключаются в правое положение в 3, 1 и 0 разрядах, подавая на выход соответственно напряжения 8, 2 и 1 В. Поэтому на выходе схемы появится суммарное напряжение, равное $8 + 2 + 1 = 11$ В.

В схеме на рисунке 2.11 применены электронные переключатели, обеспечивающие преобразование двоичного кода со скоростью до 1 млн импульсов в секунду. В результате преобразования дискретных сигналов в постоянные напряжения получается ступенчатая кривая (рис. 2.12), точно отображающая напряжение только в тех точках, в которых производилось преобразование. При этом чем с большей частотой производится преобразование, тем точнее полученная кривая напряжения. Зачастую на выходе преобразующего устройства устанавливают соответствующие фильтры и на выходе получают сглаженную кривую напряжения (см. рис. 2.12, кривая 2).

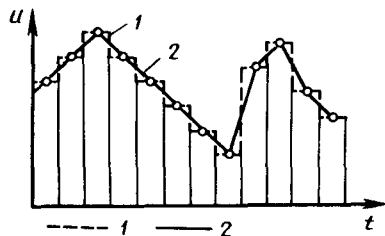


Рис. 2.12. Форма напряжения на выходе преобразующего аппарата: 1, 2 — кривые

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют системой автоматического регулирования и что — автоматического управления?

2. Охарактеризуйте понятия «автоматика» и «кибернетика».
3. Изложите известные вам принципы автоматического управления.
4. Расскажите о классификации автоматических систем.
5. Какие вы знаете формы сигналов управления и типы автоматических регуляторов?
6. В чем особенности дискретной техники?
7. Чем отличается двоичная система счисления от других и почему ее применяют в вычислительных и управляющих электронных машинах?
8. Выполните арифметические действия с двоичными числами.
9. Расскажите, с какой целью преобразовывают непрерывные сигналы в дискретные и дискретные в непрерывные.
10. Какие вам известны методы преобразования непрерывных и дискретных сигналов?

Глава 3. ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ, АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

§ 3.1. Общие сведения

Одно из фундаментальных достижений научно-технического прогресса — электронно-вычислительные машины (ЭВМ) — появились в пятидесятых годах и вскоре нашли широкое применение. Использование ЭВМ, в свою очередь, содействовало ускорению научно-технического прогресса во всех сферах человеческой деятельности. Этот процесс имеет постоянный характер.

ЭВМ оказывает большое влияние на развитие фундаментальных научных исследований в атомной энергетике, космической механике и в ряде других важных научных областей. Появление ЭВМ ускорило развитие математических исследований в самых разнообразных направлениях. Сфера применения ЭВМ вскоре переместилась из области научных исследований в область экономики, планирования, автоматизации производственных процессов; управления производством и распределением. С появлением ЭВМ был совершен качественный скачок в области автоматизации и управления производственными процессами. Сердцевинной любой АСУ является управляющая ЭВМ.

Применение ЭВМ во всех сферах человеческой деятельности оказывает большое влияние на развитие общества, его производительных сил и производственных отношений.

В нашей стране внедрение ЭВМ во все отрасли народного хозяйства рассматривается в качестве насущной социально-экономической задачи. Ниже рассмотрены основные принципы устройства и действия управляющих вычислительных машин, имея в виду их применение для управления гидромелиоративными системами.

§ 3.2. Принцип действия ЭВМ

ЭВМ — устройство с гибким программным управлением, предназначенное для выполнения вычислительных операций. Схема основных устройств цифровой вычислительной машины приведе-

на рисунке 3.1. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), в котором хранятся данные, используемые при вычислениях, и команды, выполняемые машиной. Устройство управления (УУ) в определенном порядке управляет выполнением команд и логических операций. Арифметическо-логическое устройство (АЛУ) выполняет арифметические действия (сложение, вычитание, умножение, деление и др.), а также логические операции И, ИЛИ, НЕ и т. п. Устройство ввода обеспечивает ввод в память программы и обрабатываемые данные, а вывода — вывод из машины результатов вычислений, применяемых для непосредственного управления или как рекомендации оператору.

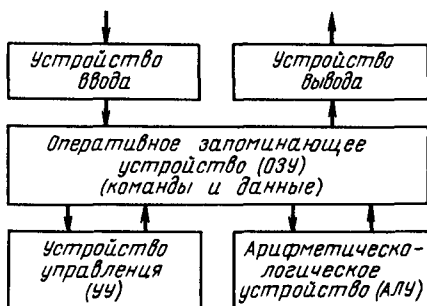


Рис. 3.1. Основные устройства цифровой ЭВМ

Обрабатываемые в ЭВМ данные представляют собой двоичные коды, в которых используют совокупности нулей и единиц, преобразуемые в электрические сигналы. Как известно (см. гл. 2), любое десятичное число может быть представлено комбинацией этих двух цифр — 1 и 0. Поэтому для изображения любого числа нужно иметь только два состояния электронных устройств: «Включено» — соответствует единице, и «Выключено» — соответствует нулю. В запоминающих устройствах просто и экономно организуется хранение чисел. В них, например, применяют миниатюрные магнитные сердечники, которые при помощи электрического тока могут быть приведены в одно из двух состояний, представляющих 1 или 0. При этом длительность цикла чтения — записи числа составляет менее 1...2 мкс. Это означает, что ЭВМ может записать или выдать информацию со скоростью 1 млн операций в секунду. Такое время цикла в сочетании с быстродействием интегральных схем, используемых в АЛУ и УУ, приводит к высокому быстродействию ЭВМ.

УУ воспринимает команды, поступающие из запоминающего устройства, и управляет работой других узлов машин в соответствии с указанием команд, следит за соблюдением последовательности выполнения команд — арифметических действий и логических операций, правильностью их выполнения, организует потоки информации внутри машины и координирует работу всех ее устройств.

АЛУ состоит из одного или нескольких автономно функционирующих блоков, то есть из нескольких устройств запрограммированной обработки информации в ЭВМ. АЛУ предназначено для выполнения арифметических и логических действий над операндами (исходными элементами данных, над которыми выполняются операции), полученными из запоминающего устройства,

то есть преобразовывает информацию. В набор действий, которые выполняет АЛУ, обычно входят операции сложения, вычитания, умножения, деления чисел, логические операции над последовательностями двоичных разрядов, двоичное поразрядное сложение, двоичное умножение, сдвиг кодов, обращение кодов (отрицание) и ряд других. Наиболее сложные операции, выполняемые АЛУ, — сложные процессы преобразования символьной информации, обработка разноформатных данных переменной длины и т. д.

АЛУ, УУ, ОЗУ и рабочие регистры (накопители, предназначенные для хранения информации в процессе обработки данных ЭВМ) представляют собой центральное устройство ЭВМ и носят название «*центральный процессор*».

Несмотря на то что основной объем переработки информации ложится на АЛУ, оно по объему оборудования всей машины в целом занимает обычно 10...20 %. ЭВМ в целом сложная система, в которую входят ряд дополнительных устройств — запоминающих, ввода-вывода и др.

Запоминающее устройство (ЗУ), или память, хранит команды и данные. К данным относятся числа, двоичная информация различной числовой природы, символьная информация, то есть весь материал, который служит в качестве операндов, подлежащих преобразованию. ЗУ подразделяют на внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) и внутреннее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). ОЗУ делится на ячейки, или слова, состоящие обычно из фиксированного числа двоичных разрядов. В разрядах машинного слова могут храниться числа или части чисел, команды или символьная информация, смысл которой определяется задачей, в которой эта информация используется.

УУ и АЛУ могут непосредственно получать и обрабатывать информацию только из ОЗУ. Чтобы обработать информацию, находящуюся в ВЗУ, необходимо ее предварительно передать в ОЗУ. ВЗУ по объему намного превосходит ОЗУ, но, как правило, данные, находящиеся в ВЗУ, обрабатываются в сотни раз медленнее. Чтобы добраться до одного числа, хранящегося в ВЗУ, например, на магнитной ленте, надо затратить в $1 \cdot 10^6$ раз больше времени, чем при обращении к ОЗУ.

Вводные-выводные устройства служат соответственно для ввода внешней информации в вычислительную машину и вывода обработанной информации из машины. Устройства ввода позволяют загружать ЗУ машины информацией, приготовленной вне машины. С их помощью машины начинаются программами и данными, подлежащими обработке.

Устройства вывода позволяют выдать результаты работы машины в форме, пригодной для дальнейшего использования: в виде таблиц, графиков, изображений на телевизионных экранах, на носителях информации, пригодных для дальнейшего ввода в машину.

За время существования ЭВМ устройства ввода-вывода постоянно совершенствовались. Однако до сих пор они являются наиболее медленно действующими устройствами ЭВМ. Например, ввод с перфокарт связан с их механическим перемещением под считывающими элементами ввода. Несмотря на то что в устройствах ввода используется фотосчитывание, максимальное быстродействие устройств достигает порядка 2000 карт в минуту. За время существования ЭВМ скорость электроники возросла в несколько тысяч раз, в то время как быстродействие вводных устройств — всего лишь в 10...15 раз. Гораздо большую эволюцию претерпели устройства вывода. Наряду с ранее применявшимися медленно действующими цифропечатающими устройствами, перфокартами и перфолентами, сейчас в наборе выводных устройств появились графопостроители, широкоформатные буквенно-цифровые печатающие устройства, устройства вывода на электронно-лучевых трубках, на больших индикационных экранах и т. п.

Вводное-выводное оборудование, называемое «периферия», по объему и стоимости оборудования превышает объем и стоимость центрального процессора.

Таким образом, центральным процессором обычно называют УУ, АЛУ, и ОЗУ (см. рис. 3.1). Остальные устройства машины называют внешними или периферийными устройствами (ПУ). Следовательно, в состав ЭВМ входят центральный процессор и периферийные устройства. В отличие от такого принятого нами определения ЭВМ, иногда термин ЭВМ используют для того, чтобы обозначить не всю систему в целом, а только ее центральную часть, за исключением периферийных устройств. В этом случае всю систему в целом называют *вычислительной системой*.

В комплект любой современной машины входят также устройства подготовки данных, хотя они работают независимо от машины и никак с ней не связаны.

Мы рассмотрели в самом общем виде состав устройств ЭВМ. Говоря о быстродействии как одной из основных характеристик машин, имели в виду скорость выполнения основных арифметических операций. Однако она не всегда определяет то время, за которое может быть решена та или иная задача. Например, если для задачи требуется гораздо больше памяти, чем объем ОЗУ, приходится обращаться к медленно действующим ВЗУ, и общее время решения задачи определяется главным образом временем работы внешних устройств. Следовательно, о производительности ЭВМ при решении задач можно судить лишь по совокупности таких параметров, как скорость АЛУ, объем ОЗУ, характеристики внешних запоминающих и вводных-выводных устройств.

Из описания принципа действия ЭВМ следует, что гибкое программное управление (возможность хранить наряду с опе-

рандами программу в памяти машины и возможность изменять алгоритм вычислений в ходе вычислений) — самое главное, что отличает современные ЭВМ от счетно-перфорационной техники.

Счетно-перфорационные машины-сортировки, табуляторы, электронные вычислители могут выполнять достаточно сложные вычисления и достаточно сложные процессы обработки данных. Однако отсутствие возможности быстро и гибко менять программу вычислений в ходе самого процесса вычислений, как это выполняется в ЭВМ, привело к тому, что они уступили свои позиции современным ЭВМ.

§ 3.3. Схемотехника ЭВМ

ЭВМ строят на электронных схемах. Схемы и способы их сочетания для выполнения программ называют схемотехникой ЭВМ. Большое значение в выполнении команд ЭВМ имеют логические элементы. При управлении технологическим процессом решают ряд логических операций при помощи соответствующих электронных систем. Процесс управления в большинстве случаев происходит по принципу «Если..., то». Например, «Если в масляной ванне нет масла, то насосный агрегат не должен включаться» или «Если включено устройство X , то можно включить устройство Y » и т. д. Когда логические операции сложны и для управления должна быть создана система автоматики, возникает необходимость в логической обработке информации, которая осуществляется на основе законов логики.

В середине прошлого века ирландским математиком Джорджем Булем была разработана алгебра логики, или Булева алгебра (названная так по имени автора). Он установил законы логики и ввел для логических операций математические соотношения, разработал логические исчисления, позволяющие оперировать с логическими суждениями так же, как это делается в элементарной математике с алгебраическими символами, которые можно складывать, умножать и т. д.

В алгебре логики каждая переменная может принимать одно из двух значений — «истинно» или «ложно». Если буквой A обозначить какое-либо сообщение, называемое «высказыванием», то каждое высказывание может быть либо истинным (правильным), либо ложным (неверным). Истинность высказывания обозначают словом «Да», а ложность высказывания — словом «Нет». Для передачи высказывания используют символы — его истинность передается сигналом 1, а ложность — сигналом 0. В последующем алгебра логики стала математической теорией для переключательных электрических схем, и в частности для электронных схем ЭВМ. В более общем случае Булева алгебра применима к любым переменным, которые могут принимать два и только два значения (включено — выключено, принято — отверг-

нуто, да — нет и т. д.). Следует подчеркнуть, что эти два значения обозначают символами 0 и 1, которые совпадают по написанию с обычными арифметическими единицей и нулем, однако только внешне. Смысл же их различен. Логическая единица не есть одна штука чего-

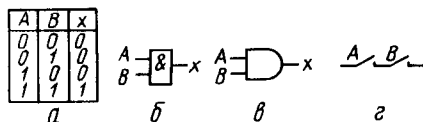


Рис. 3.2. Логическая операция И: а — таблица истинности; б, в — условные графические обозначения элемента И; г — схема реализации

то. В технических и других практических приложениях это знак того, что совершилось рассматриваемое событие, замкнулась электрическая цепь, заработал генератор, принято решение и т. д.

В алгебре логики простые суждения выражают буквами, сложные — выражениями, составленными из букв. Первые называют логическими переменными, вторые — логическими функциями. Рассмотрим основные логические элементы, выполняющие соответствующие функции или операции.

Логический элемент И. Он выполняет операцию логического умножения, которая читается: высказывание X истинно в том случае, если истинны высказывания A и B . В алгебре логики эта операция описывается следующим правилом: выходной сигнал X равен единице только тогда, когда входные сигналы A и B равны единице. В общем случае число входных сигналов может быть и более двух, и в этом случае все они должны быть равны единице, чтобы выходной сигнал был равен единице. Это операция логического умножения и обозначают ее, так же как и в элементарной алгебре, знаком умножения: $X = A \cdot B$. Ее также называют *конъюнкцией* и обозначают знаками \wedge или $\&$. Поэтому выражения $X = A \cdot B$; $X = A \wedge B$ и $X = A \& B$ идентичны и читаются одинаково: X равен A и B .

Если выписать все значения, которые могут принимать переменные A и B , то результат конъюнкции может быть представлен в виде: $0 \wedge 0 = 0$; $0 \wedge 1 = 0$; $1 \wedge 0 = 0$; $1 \wedge 1 = 1$. Все значения переменных вместе со значением функции X представлены в таблице истинности (рис. 3.2, а), из которой видно, что результат операции равен единице только тогда, когда все переменные равны единице. Условное изображение логического элемента И, а также соответствующая контактная схема его реализации даны на рисунке 3.2, б, в, г в соответствии со всесоюзным стандартом ГОСТ 2.743—82 (см. рис. 3.2, б) и американской спе-

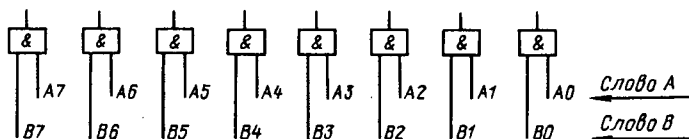


Рис. 3.3. Операция И над двумя словами A и B , каждое длиной 8 бит

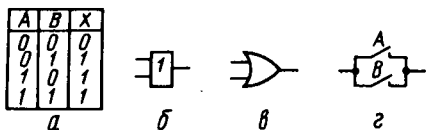


Рис. 3.4. Логическая операция ИЛИ:
 а — таблица истинности; б, в — условные
 графические обозначения элемента ИЛИ;
 г — схема реализации

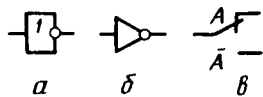


Рис. 3.5. Логическая опера-
 ция НЕ:
 а, б — условные графиче-
 ские обозначения элемента
 НЕ; в — схема реализации

цификацией М11, которая часто встречается в переводной ли-
 тературе (см. рис. 3.2, в).

Арифметико-логическое устройство ЭВМ, которое содержит
 восемь двухходовых логических элементов И, что позволяет вы-
 полнить операцию И над двумя словами A и B , каждое длиной
 8 бит, изображено на рисунке 3.3. При выполнении АЛУ опера-
 ции И над словами 10110110 и 01001111 результатом будет
 00000110, так как лишь во втором и третьем разрядах обоих слов
 стоят единицы.

Логический элемент ИЛИ. Он выполняет операцию логическо-
 го сложения, которая читается: высказывание X истинно в том
 случае, если истинно A или B . В алгебре логики это описывается
 следующим правилом: выходной сигнал X равен единице, когда
 один из входных сигналов равен единице, — это операция ло-
 гического сложения и обозначают ее $X = A + B$. Ее также на-
 зывают *дизъюнкцией* и обозначают знаком \vee . Выражения
 $X = A + B$; $X = A \vee B$ идентичны и читаются одинаково: $X = A$
 или B .

Если выписать все значения, которые могут принять пере-
 менные 1 и 0, то результат дизъюнкции может быть представлен
 в виде:

$$0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1; 1 + 1 = 1.$$

Первые три выражения являются такими же, как в элемен-
 тарной алгебре. Четвертое выражение не совпадает со сложе-
 нием как в десятичной, так и в двоичной системе счисления.
 Это происходит потому, что логическая 1 не является единицей,
 а символом истинности. Все значения переменных вместе с соот-
 ветствующими значениями функции X представлены в таблице
 истинности (рис. 3.4, а), из которой видно, что результат опера-
 ции ИЛИ равен нулю во всех случаях, когда значения всех пе-
 ременных равны нулю $A + B = 0$, и равен единице, если хотя бы
 одно значение переменного равно единице. Условные изображе-
 ния логического элемента ИЛИ, а также соответствующая схема
 его реализации даны на рисунке 3.4, б, в, г.

Арифметико-логическое устройство ЭВМ, содержащее восемь
 двухходовых логических элементов ИЛИ, выполняет операцию
 ИЛИ над двумя 8-битовыми словами. Если ЭВМ обрабатывает

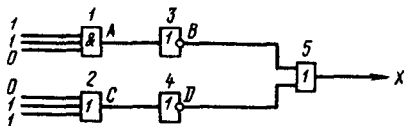
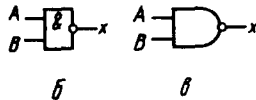


Рис. 3.6. Функциональная логическая схема составленная из элементов И, ИЛИ и НЕ

A	B	x
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рис. 3.7. Логический элемент И—НЕ: а — таблица истинности; б, в — условные графические обозначения элемента И—НЕ



слова 10010110 и 11100001, то результатом выполнения над ними операции ИЛИ будет 11110111, так как только в четвертом разряде обоих слов стоит нуль.

Инвертор. Выходной сигнал инвертора противоположен по значению входному сигналу. Сигналы на входе и выходе инвертора всегда не совпадают: если на входе 0, то на выходе 1; если на входе 1, то на выходе 0. Так как выходной сигнал инвертора противоположен по значению входному, то его называют логическим элементом НЕ.

Условные графические изображения инвертора, соответствующие общесоюзному и американскому стандартам (кружок на выходе означает выполнение операции НЕ), приведены на рисунке 3.5, а и б. Операцию отрицания аналитически записывают в виде $X = \bar{A}$. Горизонтальная черта над переменной читается как НЕ, то есть $X = \bar{A}$, $X = \text{НЕ } A$. Элемент НЕ широко используется в ЭВМ. Например, в АЛУ для нахождения дополнительного кода числа приходится инвертировать значения всех его бит.

Рассмотренные логические элементы И, ИЛИ и НЕ позволяют составлять из их комбинаций различные функциональные схемы. Одна из таких функциональных логических схем приведена на рисунке 3.6. Здесь цифрой 1 обозначен логический элемент И, выходной сигнал которого A равен нулю. На выходе B инвертора 3 сигнал равен единице. Логический элемент 2 выполняет операцию ИЛИ, его выходной сигнал C равен единице. На выходе инвертора 4 сигнал D равен нулю. Таким образом, на вход элемента 5 ИЛИ поступает сигнал B , равный единице, и сигнал D , равный нулю. На выходе элемента 5 появится сигнал X , равный единице. Следует иметь в виду, что логические элементы И, ИЛИ и НЕ не являются независимыми. Они связаны между собой следующими уравнениями:

$$A + B = \overline{\bar{A} \cdot \bar{B}},$$

$$A \cdot B = \overline{\bar{A} + \bar{B}}.$$

Черточки над двумя буквами обозначают отрицание логического произведения или суммы. Легко убедиться в правильности этих уравнений. Учитывая правила логического умножения и сложения, следует рассмотреть эти равенства для всех (четырёх) возможных значений A и B :

$$A = 0011$$

$$B = 0101.$$

Следует отметить, что число типов электронных схем логических элементов, при помощи которых можно выполнить любое сложное высказывание, может быть сведено к одному. Одним из таких элементов является логический элемент И — НЕ.

Логический элемент И — НЕ. Условное графическое изображение элемента И — НЕ приведено на рисунке 3.7, б и в.

Сигнал X на выходе элемента И — НЕ равен нулю только тогда, когда входные сигналы равны единице. Значения истинности логического элемента И — НЕ приведены на рисунке 3.7, а. Операция И — НЕ аналитически записывается следующим обра-

зом: $X = \overline{A \cdot B}$. Над переменными сначала совершается операция И, результат которой инвертируется.

Имея элемент типа И — НЕ, можно построить схемы, выполняющие операции НЕ, ИЛИ, И (рис. 3.8.).

В качестве примера доказательства рассмотрим схему элемента ИЛИ (рис. 3.8, б), обозначив выходы первых двух элементов И — НЕ через X_1 и X_2 , получаем $X_1 = \overline{A \cdot 1}$; $X_2 = \overline{B \cdot 1}$; $X = \overline{X_1 \cdot X_2}$.

Сравнивая полученные результаты с правилами логического сложения, легко убедиться в том, что схема на рисунке 3.8, б выполняет логическую операцию ИЛИ (дизъюнкцию высказываний).

Логический элемент ИЛИ — НЕ (рис. 3.9, а, б, в). В логическом элементе ИЛИ — НЕ сначала выполняется операция ИЛИ, а затем инвертирование. Аналогичная операция ИЛИ — НЕ записывается следующим образом:

$$X = \overline{A + B}.$$

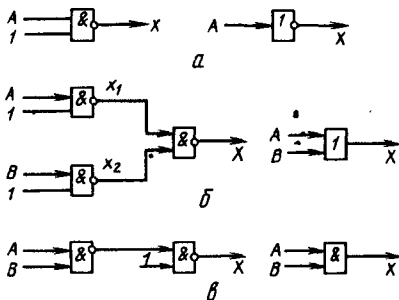


Рис. 3.8. Схемы выполнения логических операций отрицания (а), дизъюнкций (б) и конъюнкции (в) при помощи элементов типа И — НЕ

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

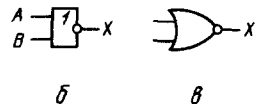


Рис. 3.9. Логический элемент ИЛИ — НЕ:

а — таблица истинности; б, в — условные обозначения

A	B	X
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

a

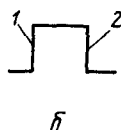
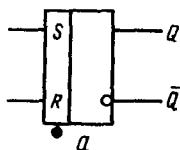
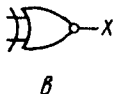


Рис. 3.10. Логический элемент, исключающий ИЛИ:
a — таблица истинности; *б, в* — условные обозначения

Рис. 3.11. Условное графическое обозначение триггера:
a — условное обозначение; *б* — момент времени передачи сигнала; 1 — фронт сигнала; 2 — срез сигнала

Графическое изображение элемента ИЛИ — НЕ такое же, как и для элемента ИЛИ, с добавлением кружка на выходе. Положения истинности логического элемента ИЛИ — НЕ приведены на рисунке 3.9, *a*. Так как этот элемент выполняет операцию инвертирования, то единица появляется лишь в первой строке таблицы.

Так же как и для логического элемента И — НЕ, логическую схему можно построить на основе элементов одного типа ИЛИ — НЕ.

Логический элемент, исключающий ИЛИ. В этом случае (рис. 3.10, *a* и *б*) выходной сигнал равен единице тогда, когда один из входных сигналов равен единице (рис. 3.10, *в*). Если АЛУ ЭВМ содержит восемь двухходовых логических элементов, исключающих ИЛИ, то в нем можно выполнить эту операцию над двумя словами, каждое из которых имеет длину 8 бит.

Если, например, операция, исключающая ИЛИ, выполняется над словами 01001111 и 10001111, то результатом будет 11000000.

Триггеры. Это элемент с двумя выходами и может находиться в одном из двух устойчивых состояний, значения сигналов на которых противоположны друг другу: если на одном из выходов 1, то на другом 0, и наоборот. Поэтому выходы триггера обозначают *Q* и \bar{Q} . \bar{Q} по значению противоположно *Q*.

Триггер имеет также дополнительные выходы: установки, обозначаемой *S* (*Set* — установка), и сброса, обозначаемого *R* (*Reset* — сброс).

Появление импульса на входе *S* переводит триггер в состояние $Q=1$; это — процесс называют установкой триггера в 1. Таким образом, вход, на который подают сигнал для получения на выходе *Q* значения 1, называют установкой триггера в 1.

В зависимости от схемных особенностей триггера установка в 1 будет проходить при подаче на этот вход либо сигнала 1, либо сигнала 0.

Вход *R* используют для перевода триггера в 0. Этот процесс называют установкой триггера в 0, или сбросом. Условное графическое обозначение рассмотренного триггера приведено на рисунке 3.11, *a*.

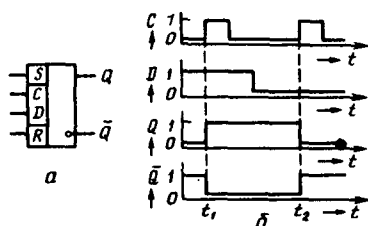


Рис. 3.12. Д-триггер:
 а — условное графическое изображение;
 б — временная диаграмма работы

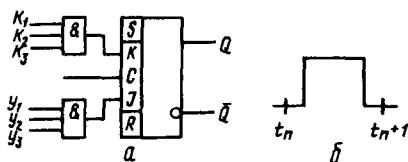


Рис. 3.13. JK-триггер:
 а — условное графическое изображение;
 б — моменты времени переключения сигнала синхронизации

Основное применение триггера — использование его в качестве запоминающего элемента, называемого защелкой. Например, память строится на триггерах, причем для запоминания в ячейке слова длиной 8 бит требуется 8 триггеров.

Рассмотрим два типа триггеров, используемых в ЭВМ:

D-триггер (применяют как запоминающий элемент);

двухтактный *JK*-триггер (используют как запоминающий элемент, так и для деления частоты в два раза).

Оба триггера имеют вход синхронизации, сигналы на который подаются от генератора тактовых сигналов. Момент времени передачи информации со входа на выход триггера определяется его типом: *D*-триггер реагирует на появление фронта, а *JK*-триггер — на появление среза синхросигнала (рис. 3.11, б).

Условное графическое изображение *D*-триггера показано на рис. 3.12, а. У *D*-триггера два входа: *C*-синхронизации и *D*-задержки. Кроме того, имеются входы *S*-установки и *R*-сброса.

Временная диаграмма *D*-триггера представлена на рисунке 3.12, б. Сигнал, появляющийся на входе *D*, передается на выход *Q* при переключении сигнала синхронизации из нуля в единицу. Значение сигнала на выходе *Q* сохраняется даже при последующих изменениях сигнала на входе *D*, что и позволяет использовать триггер для запоминания информации. В момент t_2 , когда сигнал синхронизации снова становится равным единице, новое значение сигнала со входа *D* передается на выход *Q* и запоминается.

Рассматриваемый *D*-триггер управляется фронтом синхросигнала. У двухтактного *D*-триггера на выходе повторяется то значение, которое имел входной сигнал при появлении фронта синхросигнала.

Двухтактный *JK*-триггер. Условное графическое изображение двухтактного *JK*-триггера дано на рисунке 3.13, а. Он имеет три входа *I* и три входа *K*.

Входы *I* и *K* предназначены для подачи на них управляющих сигналов, в то время как входы *S* и *R* используются для установки и сброса: если *R* становится равным нулю, то $Q=0$, $\bar{Q}=1$; если *S* становится равным нулю, то $Q=1$, $\bar{Q}=0$. Триггер го-

тов к работе, если $S=1$ и $R=1$ (в этом случае входы S и R не оказывают влияния на его функционирование).

Входы I и K вводятся на логический элемент И, имеющийся в триггере, и выполняются операции:

$$I = I_1 I_2 I_3;$$

$$K = K_1 K_2 K_3.$$

Сигнал $I=1$, если на всех входах I появляются единицы, аналогично и на входе K . Момент времени, предшествующий переключению сигнала синхронизации из нуля в единицу, обозначим t_n , а момент времени, непосредственно следующий за обратным переключением сигнала синхронизации, — t_{n+1} (рис. 3.13, б). Ниже показан переход IK -триггера в момент времени t_n и t_{n+1} .

В момент t_n		В момент t_{n+1}	
$I = I_1 I_2 \dots$	$K = K_1 K_2 \dots$	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}
0	0	Q_n	\bar{Q}_n
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Q_n	\bar{Q}_n

Из таблицы получают целый ряд сведений о работе триггера: если $I=0$ и $K=0$, то состояния выходов в момент времени t_n и t_{n+1} одинаковы (первая строка);

если $I=0$, то сигнал $K=1$ передается по срезу синхросигнала на выходы и переводит их в состояния $Q=0$, $\bar{Q}=1$ (вторая строка);

если $I=1$, то сигнал $K=0$ передается по срезу синхросигнала на выходы и переводит их в состояния $Q=1$, $\bar{Q}=0$ (третья строка);

триггер работает как запоминающий элемент с установочными входами для комбинаций входных сигналов $I=0$, $K=1$ и $I=1$, $K=0$;

если $I=1$ и $K=1$, то состояния выходов изменяются на противоположные после окончания действия синхросигнала, то есть $Q_{n+1} = \bar{Q}_n$, другими словами, состояния выхода Q в момент времени t_n и t_{n+1} противоположны — выход Q переключается;

если на входах I и K присутствуют единичные сигналы, то, как следует из предыдущего, IK -триггер может работать как схема деления частоты входного синхросигнала на два.

Регистры. Совокупность триггеров для хранения двоичного числа определенной длины называют регистром.

Установку триггеров в состояния 0 и 1 в соответствии со значениями разрядов входного слова называют приемом информации в регистр. Его можно выполнить, подавая соответствующие сигналы на входы установки или сброса триггеров. Для

возможности хранения в регистре 8-битных слов он содержит 8 триггеров. *Сдвигающий регистр* — это регистр, в котором можно сдвигать слова на требуемое число разрядов. В сдвигающем регистре информация, хранящаяся в триггерах, сдвигается вправо или влево при появлении сигнала синхронизации. В вычислительных машинах сдвигающие регистры используют, кроме того, для выполнения операции умножения и деления.

§ 3.4. Блок-схема алгоритма

Чтобы составить программу автоматизации какого-нибудь процесса с выполнением ее на ЭВМ, начинают с тщательного изучения объекта автоматизации и постановки задачи. Далее задача должна быть детально проработана. Уровень проработки задачи должен быть таким, чтобы на его основе можно было легко написать программу. Для этого прежде всего необходимо формально описать последовательность выполняемых операций, которые приводят к решению задачи. Такое формальное описание

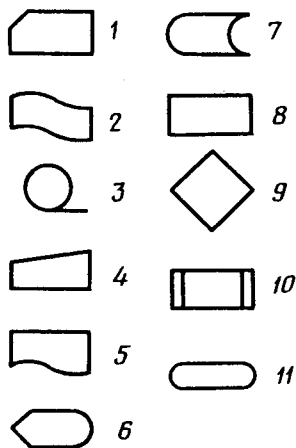


Рис. 3.14. Условные обозначения блоков при построении блок-схем:

1, 2, 3, 4 — ввод или вывод данных соответственно с перфокарт, перфолент, с магнитной ленты, телетайпа; 5 — вывод данных на печатающее устройство; 6, 7 — ввод или вывод данных соответственно с дисплея и магнитного диска; 8 — операция преобразования данных; 9 — условный оператор; 10 — подпрограмма; 11 — начало или конец программы

задачи и выбранный для нее метод решения называют *блок-схемой алгоритма*, или, коротко, *блок-схемой*. Ниже описано построение блок-схемы, которая представляет собой упорядоченную совокупность блоков, соединенных между собой. В каждом блоке содержится описание одной или нескольких операций. При составлении блок-схемы используют символы, изображенные на рисунке 3.14.

Пример типичной блок-схемы для циклической программы приведен на рисунке 3.15. При каждом цикле сначала выполняют требуемую операцию, а затем проверяют, выполнено ли заданное условие. Если условие не выполнено, то процесс продолжается в направлении стрелки НЕТ, и происходит изменение данных (например, прибавляется единица). Затем операция повторяется, вновь анализируется полученный результат. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполнено заданное условие, после чего программа продолжает свою работу, переходя по стрелке, помеченной словом ДА.

Типы блок-схем. Разрабатывают ее до тех пор, пока каждому блоку соответствует одна команда из системы команд машины. Однако практически построить та-

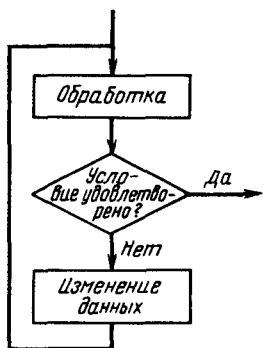


Рис. 3.15. Блок-схема циклической программы

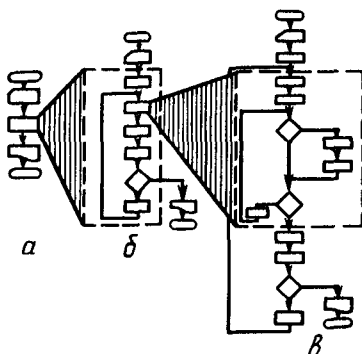


Рис. 3.16. Типы блок-схем: а — системная; б — укрупненная; в — детальная

кую детальную блок-схему сразу не удастся. Поэтому обычно начинают с построения укрупненной блок-схемы, отражающей общую постановку задачи. В этом случае каждый блок соответствует некоторой совокупности процессов и операций. Затем постепенно детализируют каждый блок, пока не будет достигнуто соответствие одного блока одной команде программы.

Выделяют три типа блок-схем:

системная блок-схема показывает, какие устройства используют для ввода, вывода и хранения данных. Алгоритм решения задачи изображается в виде единственного блока (рис. 3.16, а);

укрупненная блок-схема детализируется до укрупненных блоков, где каждый содержит несколько команд программы (рис. 3.16, б);

подробные (детальные) блок-схемы, в которых происходит дальнейшая детализация алгоритмов укрупненной блок-схемы так, что каждый блок представляет одну или две-три команды (рис. 3.16, в).

Рассмотрим пример составления блок-схемы алгоритма одной простой задачи. Поставлена задача — найти сумму ряда последовательных чисел от X до Y , которые могут быть любыми. Задача должна быть решена при условии, что число данных, вводимых в машину, минимально, поэтому в машину вводят только начальное число X и конечное Y .

Начальное число X помещают в ячейку памяти с символическим адресом «первое», который впоследствии преобразовывают в действительный адрес ячейки памяти ЭВМ.

Когда число X будет обработано, адресу «первое» будет присвоено следующее значение. Это действие символически обозначают $\text{первое} \rightarrow (\text{первое}) + 1$. Эту символическую запись расшифровывают следующим образом. В ячейку памяти с символическим адресом «первое» посылается число, равное сумме прежнего

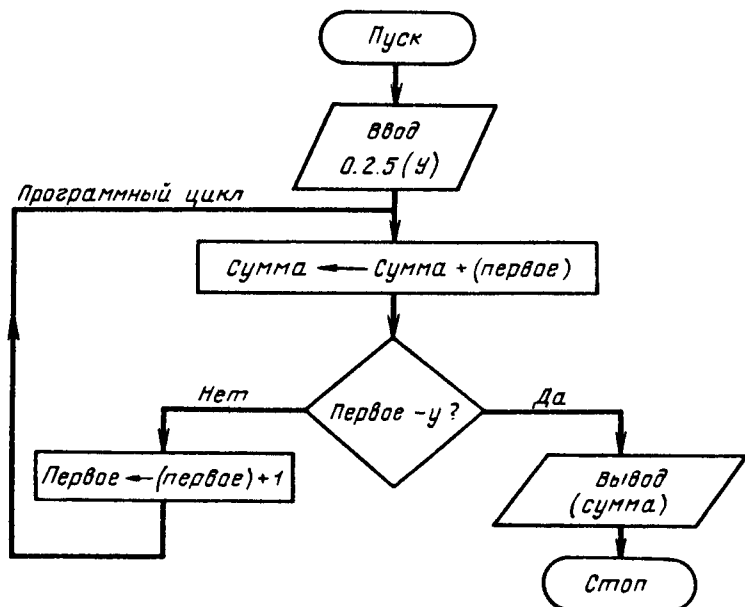


Рис. 3.17. Пример блок-схемы алгоритма

значения содержимого ячейки памяти с адресом «первое» и 1. Когда необходимо указать содержание ячейки памяти, то ее адрес заключают в скобки. Содержимое ячейки «первое» прекращают увеличивать (инкрементировать) на единицу после того, как оно станет равным Y . Для этого необходимо постоянно сравнивать содержимое ячейки памяти с адресом «первое» с содержимым ячейки памяти, в которую помещено значение Y . Последнее помещают в ячейку памяти с присвоенным символическим адресом «последнее».

Если содержимое ячейки «первое» равно значению Y , то программа продолжается в направлении ДА. Если оно не равно Y , то программа продолжается в направлении НЕТ. Операция сравнения показана на рисунке 3.17.

Следует иметь в виду, что за одну команду ЭВМ может выполнить сложение только двух чисел.

Для решения задачи поступают так: помечают ячейку, в которой накапливается сумма, символическим адресом «сумма». Вначале в эту ячейку посылают значение 0. Затем на каждом шаге суммирования увеличивают содержание ячейки «сумма» на соответствующее значение. Сначала прибавляют к содержимому ячейки «сумма» первое число $0 + X = X$, затем второе число $X + (X + 1) = 2X + 1$. К новому содержимому прибавляют третье число $2X + 1 + X + 2 = 3X + 3$. Этот процесс символически изображают таким образом: $\text{сумма} \leftarrow (\text{сумма}) + (\text{первое})$. Запись

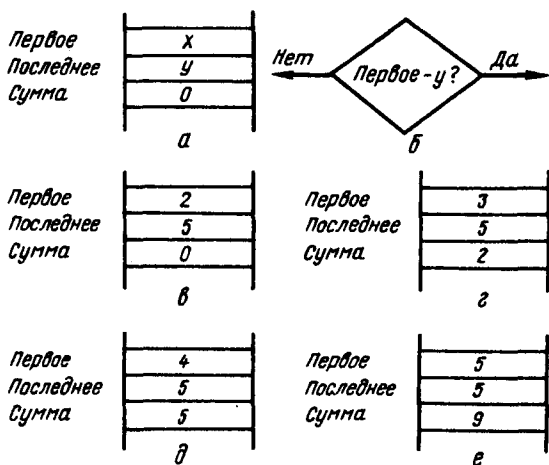


Рис. 3.18. Пример составления программы:
 а...е — последовательность выполнения программы

расшифровывают так: в ячейку с символическим адресом «сумма» посылается результат сложения прежнего содержимого ячейки «сумма» и содержимое ячейки памяти с символическим адресом «первое». Следует иметь в виду, что после каждого цикла суммирования содержимое ячейки «первое» увеличивается на единицу. Последовательность решения задачи показана на рисунке 3.18, а метод ее решения — на рисунке 3.17. Оператор «пуск» указывает начальную точку программы. Затем вводят исходные данные (см рис. 3.18, в). Для простоты пусть $X=2$ и $Y=5$. В машину вводят исходные данные 2, 5, 0 и начинается процесс вычислений $\text{сумма} \leftarrow (\text{сумма}) + (\text{первое})$. Содержимое адреса «сумма» становится равным $0+2=2$. Затем сравнивают содержимое адреса «первое» с числом 5. Содержимое адреса «первое» равно 2. Поэтому результат сравнения соответствует ситуации «нет». Этот процесс называют программным циклом. Цикл выполняется до тех пор, пока содержимое адреса не станет равным 5.

Теперь выполняется операция $\text{первое} + (\text{первое}) + 1$.

В результате этой операции содержимое ячейки станет равным $2+1=3$ (см. рис. 3.18, г). Далее повторяется вычисление $\text{сумма} \leftarrow (\text{сумма}) + (\text{первое})$. Содержимое ячейки «сумма» становится равным $2+3=5$. Когда содержимое ячейки «первое» сравнивается с числом 5, результат сравнения приводит к ситуации ДА, подсчитанное значение суммы (число 14) выдается в печать, и программа останавливается.

§ 3.5. Программирование

Чтобы ЭВМ могла решать задачу, например, автоматического управления гидроузлом или насосной станцией, необходимо на базе разработанной блок-схемы алгоритма составить программу в форме, доступной пониманию ЭВМ. Такую программу называют *объектной программой*. Однако сразу ее не пишут.

Недостатки объектной программы: из-за большой длины команд легко перепутать единицы и нули и совершить ошибку; объектный двоичный код трудно воспринимается человеком.

Поэтому программист (специалист по программированию) пишет программу с использованием символического языка, состоящего из буквенных кодов операций, называемых *мнемоническими кодами*, а программу, написанную с использованием подобных мнемонических кодов, — *исходной программой*. Для написания исходных программ используют машинно-ориентированные или проблемно-ориентированные языки. Часто вместо термина «проблемно-ориентированный язык» используют термин «язык высокого уровня», которым далее будем пользоваться. Применяют следующие языки программирования: языки высокого уровня — Бейсик, Фортран, Пл/М, Кобол и другие, и машинно-ориентированный язык — ассемблер.

В операторах ассемблера учитываются особенности соответствующей ЭВМ и поэтому программист, составляющий программу на языке ассемблера, должен хорошо знать организацию соответствующей ЭВМ. Язык ассемблера наиболее часто применяют для написания программ для микро-ЭВМ.

Каждый из языков высокого уровня имеет область преимущественного применения, в частности Фортран используют для программирования научных прикладных задач, Кобол — для разработки программ экономических задач. Для микро-ЭВМ языком программирования является Бейсик.

Программы-трансляторы. После того как программа составлена на языке ассемблера, Бейсик или другом, она должна быть преобразована в объектную программу.

Команды исходной программы перфорируются ленточным перфоратором. При вводе перфоленты пробивки на ней преобразуются в электрические сигналы, воспринимаемые ЭВМ.

Программа-транслятор, как и любая другая программа, должна быть нанесена на перфоленту и введена в ЭВМ.

С помощью программы-транслятора ЭВМ преобразует исходную программу в объектную.

Программу-транслятор для программ, написанных на языке ассемблера, называют *ассемблером*, а для перевода с языков высокого уровня в ряд машинных команд — *компилятором*.

Особенность компилятора заключается в том, что он переводит одно выражение языка высокого уровня в ряд машинных команд.

Программы, разрабатываемые программистом, вместе с программами, поставляемыми изготовителем вычислительной машины, образуют то, что называют «*программное обеспечение системы*».

Изготовитель ЭВМ — главный поставщик специальных программ, использующих саму ЭВМ для перевода программ с языков высокого уровня на язык машины. Изготовитель ЭВМ поставляет также ряд программ, называемых подпрограммами, представляющих специализированные последовательности команд, которые предназначены для вычисления избранных функций или выполнения широко распространенных процедур. Примером может служить программа вычисления синуса некоторой переменной; другим примером служит программа, которая воспринимает, переводит в двоичную форму и запоминает данные, вводимые с клавиатуры типа клавиатуры пишущей машинки. Так как выполнение таких функций многократно требуется большому числу пользователей, целесообразно освободить каждого конкретного пользователя от разработки и отладки собственных программ вычисления указанных и им подобных функций. Изготовителем ЭВМ поставляются также служебные программы. Их разрабатывают с целью облегчения работы программиста. В качестве примера можно назвать программу, которая выдает сводку выполнения программы.

В число служебных программ входят загрузчики, с помощью которых программа вводится в память с внешних носителей, и программы-распечатки, которые выводят содержание ячеек памяти, с тем чтобы программист мог определить, что его программа выполнялась в данный момент.

Следующие два принципа программирования являются важными. Это мультипрограммирование и разделение времени.

Мультипрограммирование — это метод использования вычислительной системы, при котором в главной памяти одновременно находится несколько программ. Эти программы начинают выполняться, как только становятся доступными необходимые средства и время. Например, если в памяти ЭВМ находятся две программы, то первая из них для дальнейшего выполнения может требовать завершения операции ввода-вывода. В этом случае система выполняет вторую программу до тех пор, пока не закончится операция ввода-вывода для первой программы. Затем возобновляется выполнение первой программы. Таким путем можно использовать всю производительность машины.

Принцип мультипрограммирования играет большую роль в АСУТП, так как позволяет параллельно управлению процессом решать задачи, не связанные непосредственно с управлением.

Управление технологическим процессом — это самая важная функция из тех, которые АСУТП должна выполнять. В это время машина ничего другого не должна делать. Однако, когда происходят загрузки, связанные с выполнением ввода-вывода, или

когда выполнение программы управления приостанавливается по другим причинам, машина может заняться другой работой. Такой способ функционирования АСУТП возможен лишь в режиме мультипрограммирования.

Принцип «разделение времени» заключается в том, что большое число пользователей разделяют между собой вычислительные средства. Принятый способ связи потребителя с системой через терминал (абонентский пульт), простейшим из которых является устройство типа пишущей машинки. Чтобы обслужить каждого пользователя, машинное время делится между ними поровну.

Очень важную роль при функционировании АСУТП играет так называемое диагностическое программирование, предназначенное для обнаружения факта неправильного функционирования АСУТП и последующего определения неисправности устройства. После исправления неисправности диагностические программы используют для проверочного прогона системы, с тем чтобы удостовериться, что в результате ремонта ЭВМ снова исправна. В идеале диагностические программы должны действовать в течение всего времени управления процессом. Следовательно, диагностику выполняют в свободное время.

Большая гибкость АСУТП объясняется тем фактом, что работу системы можно быстро изменить, загрузив в нее новую программу. Таким образом программирование — это область, в которой сосредоточиваются значительные творческие усилия, направленные на совершенствование функционирования АСУ.

Ниже рассмотрены отдельные аспекты программирования, дающие лишь представление о программном обеспечении.

В области программного обеспечения постоянно происходят изменения — новые языки для более легкой связи с АСУ, новые методы оптимизации процессов программирования и т. д.

§ 3.6. Терминология

В электронно-вычислительных машинах используют специальные термины: слово «бит» означает «двоичная единица» — один двоичный разряд.

Двоичное число, состоящее из 4 бит, называют *тетрадой*, последовательность из 8 бит — *октетом*, или *байтом*.

Двоичное число в целом называют словом. *Длиной слова* называют число содержащихся в нем бит и соответственно байт.

§ 3.7. Системы кодирования

В подавляющем большинстве для преобразования сообщения в дискретный сигнал применяют двоичные коды. Число возможных сообщений, которое может быть передано, зависит от числа разрядов двоичного числа $N = q^n$, где q — основание кода, или

число используемых признаков, а n — число разрядов кодовой комбинации, или длина слова.

Здесь приведены коды для сокращенной записи двоичных чисел, а также для представления информации из букв, цифр и других символов в виде комбинации из нулей и единиц.

Шестнадцатиричная система счисления. Она является системой счисления с основанием 16. В цифровой вычислительной технике ее применяют не для вычислений, а для сокращенной записи двоичных чисел, или, иначе говоря, шестнадцатиричную систему счисления используют как средство кодирования двоичных чисел. Из самого определения следует, что алфавит шестнадцатиричной системы состоит из шестнадцати символов: 0, ..., 9, A, B, C, D, E, F.

Шестнадцатиричные числа вместе с их эквивалентами в десятичной и двоичной формах приведены в таблице 3.1.

Для представления числа в шестнадцатиричной системе требуется меньшее число символов, чем в двоичной системе, а правила перевода из двоичной системы в шестнадцатиричную и обратно просты.

Для записи двоичного числа в шестнадцатиричном коде разбивают двоичное число на группы из 4 бит, то есть на тетрады, каждой из которых соответствует свой шестнадцатиричный символ.

3.1. Изображение шестнадцатиричных чисел

Число			Число		
десятичное	двоичное	шестнадцатиричное	десятичное	двоичное	шестнадцатиричное
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

Результатом замены тетрад соответствующими шестнадцатиричными символами будет искомое представление числа в шестнадцатиричном коде.

Например, разбиение слова $101100101001_{(2)}$ на тетрады дает 1011, 0010, 1001; в результате замены тетрад соответствующими символами получим $B29_{(16)}$.

Также просто преобразовать шестнадцатиричное число в двоичное, пользуясь таблицей 3.1.

$$3FA_{(16)} = 00111111010_{(2)}.$$

Как видно, шестнадцатиричный код существенно сокращает

запись двоичных чисел и поэтому его применяют в цифровой вычислительной технике.

Двоично-десятичный код. Он позволяет представить в вычислительной машине десятичные числа в двоичном коде. При двоично-десятичном кодировании каждая десятичная цифра заменяется соответствующим двоичным числом из 4 бит.

Десятичное число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Двоично-десятичное число	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001

При этом, хотя двоичным числом из 4 бит могут быть записаны числа в диапазоне 0...15, числа от 10 до 15 специально кодируются. Например, при двоично-десятичном кодировании числа 14 кодируются отдельно цифры 1 и 4, то есть код числа 14 имеет вид: 00010100⁽²⁾.

Расширенный двоично-кодированный (EBCDIC) 8-битный код. Как уже говорилось, ЭВМ оперирует лишь нулями и единицами, в то время как в повседневной жизни для записи информа-

Шестнадцатиричное представление числа	Код EBCDIC 8 бит	Шестнадцатиричное представление числа	Код EBCDIC 8 бит	Шестнадцатиричное представление числа	Код EBCDIC 8 бит
81	<i>a</i>	A9	<i>Z</i>	F0	0
82	<i>b</i>	C1	<i>A</i>	F1	1
83	<i>c</i>	C2	<i>B</i>	F2	2
84	<i>d</i>	C3	<i>C</i>	F3	3
85	<i>e</i>	C4	<i>D</i>	F4	4
86	<i>f</i>	C5	<i>E</i>	F5	5
87	<i>g</i>	C6	<i>F</i>	F6	6
88	<i>h</i>	C7	<i>G</i>	F7	7
89	<i>i</i>	C8	<i>H</i>	F8	8
90	—	C9	<i>I</i>	F9	9
91	<i>j</i>	1	<i>j</i>	5B	\$
92	<i>k</i>	2	<i>K</i>	5C	+
93	<i>l</i>	3	<i>L</i>	5D)
94	<i>m</i>	4	<i>M</i>	6C	%
95	<i>n</i>	5	<i>N</i>	6E	>
96	<i>O</i>	6	<i>O</i>	6F	?
97	<i>p</i>	7	<i>P</i>	7B	≠
98	<i>q</i>	8	<i>Q</i>	40	Пробел
99	<i>r</i>	9	<i>R</i>	4C	<
A2	<i>s</i>	E2	<i>S</i>	4D	⊂
A3	<i>t</i>	E3	<i>T</i>	4E	+
A4	<i>u</i>	E4	<i>U</i>	4F	!
A5	<i>v</i>	E5	<i>V</i>	50	&
A6	<i>w</i>	E6	<i>W</i>	—	—
A7	<i>x</i>	E7	<i>X</i>	—	—
A8	<i>y</i>	E8	<i>Y</i>	—	—
7E	==	E9	<i>Z</i>	—	—
7	„	E9	—	—	—

ции используется широкий набор различных цифр, букв и других символов, например: ? , ; , % и т. д. Чтобы написанную подобным образом информацию можно было ввести в вычислительную машину, пользуются кодами, в которых каждому исходному символу ставится в соответствие определенная комбинация нулей и единиц.

Таких кодов существует несколько. Например, расширенный двоично-кодированный код, который приведен выше.

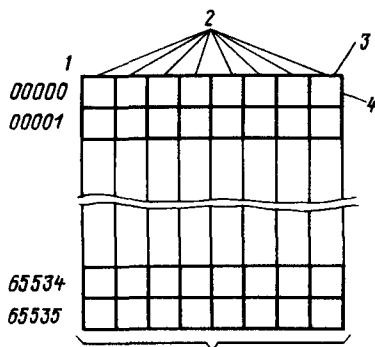


Рис. 3.19. Организация оперативной памяти:

1 — адрес ячейки памяти; 2 — содержимое ячеек памяти; 3 — элемент памяти; 4 — ячейка памяти

§ 3.8. Основная память ОЗУ

Основная память организована так, чтобы расположенные в ней команды и данные были легкодоступны.

Память состоит из блоков одинакового размера, называемых словами, или ячейками памяти (рис. 3.19), состоящими из элементов памяти. Если ячейка памяти состоит из восьми элементов, то в этом случае говорят о 8-битной ЭВМ. В каждом элементе хранится одно двоичное число — 1 бит (1 или 0), а всего в ячейке содержится 8 бит. Поскольку 8 бит равно 1 байт, то говорят, что длина ячейки равна 1 байт.

Следовательно, содержимое ячейки памяти (слова) представляет собой совокупность нулей и единиц.

Каждая ячейка памяти имеет свой адрес. Если, например, максимальное значение адреса составляет $2^{16} = 65536$, то этим числом ограничивается размер основной памяти, и большее число ячеек памяти использовать нельзя.

§ 3.9. Периферийные устройства (ПУ) ЭВМ

ПУ ЭВМ по их назначению подразделяют на две группы: внешние запоминающие устройства, предназначенные для хранения больших объемов информации; устройства ввода-вывода, обеспечивающие связь машины с внешней средой путем ввода в ЭВМ и вывода из нее информации (рис. 3.20).

Операцией ввода называют передачу информации в ЭВМ из внешней среды или из внешних запоминающих устройств, а *операцией вывода* — передачу информации из ЭВМ во внешнюю среду или во внешние запоминающие устройства.

Устройства ввода позволяют вводить в машину исходные данные и программы и при необходимости вносить исправления в программы и в данные, хранящиеся в памяти ЭВМ. Устрой-

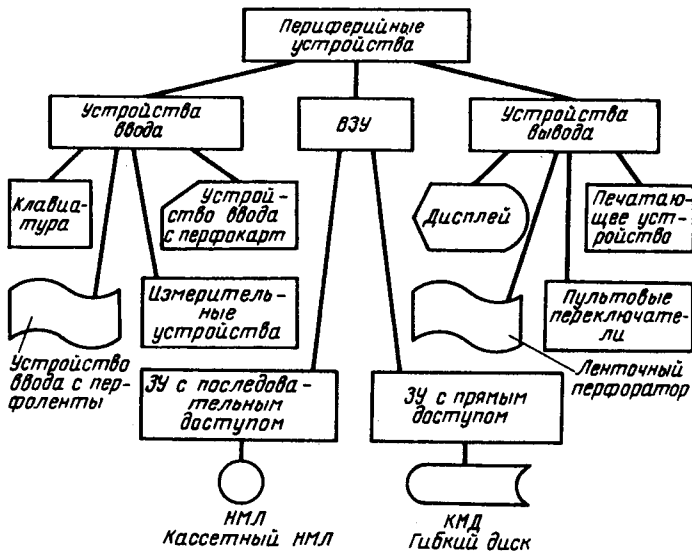


Рис. 3.20 Периферийные устройства

ства вывода служат для вывода из ЭВМ обработанных данных, их регистрации и отображения. Характеристикой ПУ является скорость, с которой устройство может принять или выдать данные. Как правило, скорость работы ПУ много ниже скорости работы электронных устройств ЭВМ. Для различных ПУ скорость передачи данных, с которыми они работают, колеблется от нескольких единиц до 10^6 байт/с.

Внешние запоминающие устройства (ВЗУ). Строятся они на электромеханическом принципе. Наибольшее распространение получили следующие три вида устройства: магнитные барабаны (редко), магнитные диски и магнитные ленты.

Независимо от вида устройства в них используется принцип магнитной записи цифровой информации. Процесс магнитной записи осуществляется, как показано на рисунке 3.21, взаимодействием магнитного носителя информации (барабан, диск или лента) с магнитной головкой.

Магнитные головки — это миниатюрные электромагниты, располагаемые над поверхностью движущегося магнитного носителя с небольшим зазором при бесконтактной записи или без зазора при контактной записи. Информация записывается на носителе вдоль дорожки, проходящей под головкой.

При записи в обмотку магнитной головки посылается соответствующая записываемой информации последовательность положительных и отрицательных сигналов. Смена сигнала в обмотке головки приводит к изменению полярности намагничивания участка дорожки на магнитном носителе. При считыва-

нии информации в обмотке головки возникают импульсы той или иной полярности, которые воспринимаются как сигналы считанных 1 или 0.

Накопитель на магнитном барабане (НМБ). Магнитный барабан (рис. 3.22) представляет собой цилиндр, покрытый слоем магнитного материала. Частота вращения цилиндра $1500...3000 \text{ мин}^{-1}$ для больших барабанов, 6000 мин^{-1} для малых. Запись и считывание дискретной информации (последовательность 0 и 1) осуществляются с помощью магнитных головок, расположенных вдоль образующих цилиндра. Записываемые сигналы размещаются на рабочих дорожках узких кольцевых полосок поверхности барабана. Адрес информации на барабане указывается номером дорожек и местом на дорожке.

Устройство управления выборкой определяет адрес записи и передает информацию из барабана в ОЗУ (режим чтения) или из ОЗУ на барабан (режим записи). Выбирается первая часть адреса в регистре адреса A и определяется дорожка, на которой записана информация. Место записи на дорожке (угол поворота барабана) определяется непрерывным счетом специальных меток, записанных на особую дорожку. Содержимое счетчика непрерывно сравнивается с заданным адресом места, и при их совпадении устройство управления выборкой начнет передачу информации через специальный регистр в ОЗУ или из ОЗУ.

Время на поиск места, на котором записана информация, называют временем доступа. Для магнитных барабанов оно определяется скоростью их вращения. При частоте вращения 3000 мин^{-1} один оборот совершается за $0,02 \text{ с}$, среднее время доступа (на установку головки и поворот барабана) составляет $0,01 \text{ с}$. Скорость передачи данных после нахождения места их записи определяется размерами барабана, частотой его вращения и плотности записи информации вдоль дорожки.

При осуществляемой плотности записи 60 бит на один миллиметр длины дорожки и диаметра барабана 60 см общая длина дорожки составляет около 2 м. Следовательно, на одной дорожке может разместиться 120 тыс. бит информации. При частоте вращения 3000 мин^{-1} этот объем информации может быть считан или записан за $1/50 \text{ с}$. Скорость обмена информации при этом достигает 6 млн бит/с.

При размещении на одном барабане 800...1000 головок общий объем информации, записанный на одном барабане, состав-

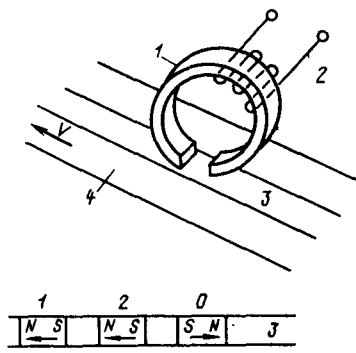


Рис. 3.21. Принцип магнитной записи цифровой информации:
1 — головка записи считывания;
2 — обмотка головки; 3 — дорожка;
4 — магнитная поверхность носителей

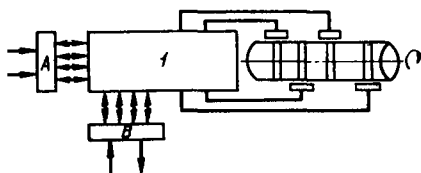


Рис. 3.22. Схема магнитного барабана:
1 — устройство управления выборкой

запись информации осуществляется лишь на одной поверхности цилиндра, что ведет к неэффективному использованию всего объема; трудности замены барабана.

Накопители на магнитном диске (НМД). Магнитный диск представляет собой пластмассовую пластинку, покрытую тонким слоем магнитного материала. Диск имеет диаметр около 35 см. В отличие от грампластинок, с которых возможно только воспроизводить (читать), на диск можно также записать информацию. Кроме того, на грампластинке имеется лишь единственная спиральная дорожка, идущая от края к центру диска, а на диске имеется 203 концентрированные дорожки. Последние разделены на блоки, каждый из которых снабжен адресом. Частота вращения диска 2400 мин^{-1} . Несколько дисков обычно объединены в пакет, в котором в зависимости от числа пластинок может иметься 10...20 рабочих поверхностей. Пакет, в котором 10 рабочих поверхностей, показан на рисунке 3.23. Для работы с таким пакетом требуется десять головок для чтения записи. Головки закреплены на рычагах, которые, в свою очередь, закреплены на суппорте. Перемещение его позволяет расположить головки над нужной дорожкой. Все дорожки с одинаковыми номерами образуют цилиндр. Таким образом, в пакете дисков имеется 203 цилиндра, которым присваиваются номера от 000 до 202. Нормально используются 200 цилиндров, оставшиеся три — запасные.

Чтобы выбрать требуемый блок, следует знать номер: цилиндра, головки (на каждую рабочую поверхность имеется своя головка чтения — записи), сектора (каждая дорожка разделена на секторы, называемые также блоками).

Суммарное время доступа складывается из следующих составляющих времен: установки головки на нужный цилиндр (примерно 6 мс), выборки нужной дорожки в пределах цилиндра (выборка осуществляется электронной схемой, и время этой

вит 100...120 млн бит, то есть 12...15 млн байт.

Магнитные барабаны заменяют более эффективными ВЗУ в виде магнитных дисков и магнитных лент. Недостатки магнитных барабанов: наличие большого числа головок и соответственно — сложного и дорогостоящего коммутатора; за-

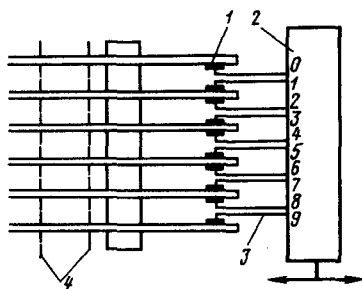


Рис. 3.23. Накопители на магнитных дисках:

1 — головка чтения-записи; 2 — суппорт; 3 — рычаг; 4 — цилиндр

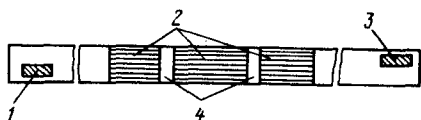


Рис. 3.24. Структура расположения информации на ленте:

1 — начало ленты (ВОТ); 2 — блоки; 3 — конец ленты (ЕОТ); 4 — межблочные промежутки

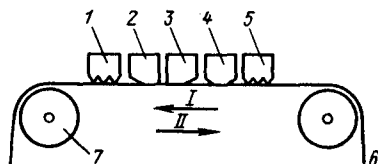


Рис. 3.25. Схема перемещения магнитной ленты:

1, 5 — прямой и обратный чистильщики; 2 — 9 головок чтения; 3 — 9 головок записи; 4 — головка стирания; 6 — магнитная лента; 7 — направляющий ролик; I, II — соответственно прямое и обратное направления

операции пренебрежимо мало по сравнению с временем установки головки), установки головки на нужный блок (так как частота вращения диска равна 2400 мин^{-1} , один оборот совершается за 25 мс. Следовательно, среднее значение времени установки равно 12,5 мс).

На каждой дорожке диска записывается около 32 000 бит, то есть около 4000 байт. Из этого числа 375 байт используется для адресации блоков. Отсюда следует, что емкость дорожки равна 3625 байт. В рассматриваемом НМД имеется 20 цилиндров, в каждом из которых находится 10 дорожек. В результате общая емкость пакета равна $200 \cdot 10 \cdot 3625 = 7,5$ млн байт. Пакет дисков с 20 рабочими поверхностями имеет соответственно емкость 15 млн байт.

Накопитель на магнитной ленте (НМЛ). Магнитная лента представляет собой пластмассовую основу, на которой нанесена магнитная пленка. Ширина ленты — 12,7 мм. На ленте обычно предусматривается восемь-девять основных дорожек для побайтовой записи информации и одна-две дополнительные, употребляемые для контроля правильности записи и считывания информации, а также для размещения специальных меток фиксации различных зон на ленте. Данные записываются на ленту и считываются с нее блоками. Между соседними блоками имеется пустое пространство, называемое межблочным промежутком.

Структура расположения информации на ленте показана на рисунке 3.24.

В начале и в конце магнитной ленты записываются специальные маркеры, обозначающие начало и конец. Они имеют стандартное обозначение ВОТ (начало ленты) и ЕОТ (конец ленты). Лентопротяжный механизм НМЛ похож на механизм обычного магнитофона, однако поскольку скорости в НМЛ существенно выше, чем в обычном магнитофоне, а время разгона и торможения существенно меньше, то к механизмам запуска и остановки предъявляются более жесткие требования. Механизм чтения-записи представлен на рисунке 3.25. Информация с магнитной

ленты может считываться при движении ее в прямом и обратном направлениях. Однако записывать информацию можно только при движении ленты в прямом направлении, поскольку имеет-ся всего одна стирающая головка. В зависимости от необходимого объема памяти к ЭВМ может быть подключено несколько стоек с НМЛ. Емкость ленточной памяти практически неограниченна, ибо, как и в магнитофоне, кассеты с магнитной лентой можно менять. Длину ленты обычно принимают до 1 км. Накопитель на магнитной ленте представляет собой ЗУ с последовательным доступом, то есть для доступа к нужным данным следует просмотреть всю ленту с начала до того места, где находятся данные. Поэтому время доступа к данным на магнитной ленте может быть очень большим (например, около 3 мин). В этом отношении ЗУ на магнитных лентах резко отличаются от ЗУ на магнитных барабанах и дисках, в которых время доступа на три-четыре порядка меньше и которые называют ЗУ с прямым доступом.

НМЛ характеризуют следующие основные параметры: скорость перемещения ленты по отношению к головкам чтения записи (скорость ленты) имеет стандартные значения — 0,95; 1,9; 2,85; 3,81 м/с; плотность записи информации показывает, какое количество информации (байт) может быть записано на отрезке единичной длины. Стандартными значениями плотности записи в байтах на миллиметр являются 8, 22, 32, 64, 126 байт/мм.

Приведенные данные позволяют представить себе порядок величин емкости ЗУ, скорости выборки. В принципе возможны и другие значения рассмотренных параметров.

§ 3.10. Устройство ввода информации

Устройство ввода информации предназначено для преобразования вводимых данных из внешней формы представления в электрические сигналы, которые могут восприниматься ЭВМ.

Классификация устройств ввода информации представлена на рисунке 3.26. В группу устройств ручного ввода входят пульты управления ЭВМ, электрифицированные пишущие машинки, дисплей и др. Ввод осуществляется с клавиатуры вручную со сравнительно низкой скоростью, не превышающей 10 символов/с. Автоматические устройства делят на две группы: устройства для считывания информации с промежуточного носителя и устройства непосредственного ввода.

Ниже рассмотрены устройства с промежуточным носителем информации с перфокарт, перфолент, а также с магнитных лент. Аналого-цифровые преобразователи сигналов, относящиеся к устройствам непосредственного ввода, рассмотрены в § 3.12.

Устройство ввода с перфокарт. Перфокарта — наиболее часто применяемый носитель информации. Перфокарта Э (рис. 3.27) имеет 80 столбцов и 12 строк. Строки 11 и 12 называют зонными,

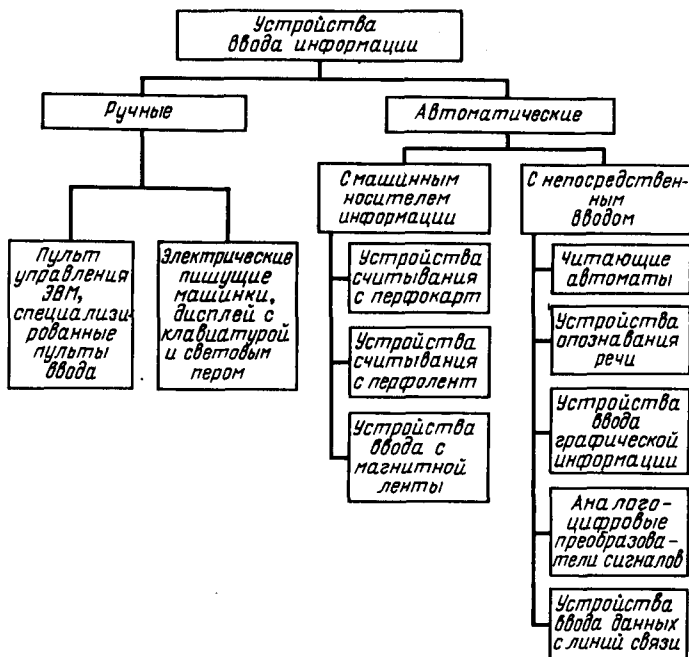


Рис. 3.26. Классификация устройств ввода информации

а остальные 10 строк — цифровыми. Срезанный угол перфокарты упрощает проверку правильной их установки в считывающее устройство. Устройство, преобразующее информацию, нанесенную на перфокарты в виде пробивок в электрические сигналы, называют устройством ввода с перфокарт, в котором используются фотоэлементы. Обычно считывающий орган имеет в своем составе 12 фотоэлементов, и за один прием вводится содержимое одной колонки с перфокарты (один символ).

Устройство ввода с перфоленки. Наиболее часто применяемая 8-канальная перфоленка приведена на рисунке 3.28. С помощью синхронизирующих пробивок при чтении данных перфоленка передвигается на одну позицию. Способ передвижения ленты при помощи зубчатого колеса показан на рисунке 3.29.

Помимо стартстопного принципа работы, существуют устройства с перфоленкой с непрерывно движущейся лентой. При каждом проходе синхронизирующей пробивки над читающей головкой формируется стробирующий сигнал, обеспечивающий считывание соответствующего символа (читающая головка — это деталь устройства ввода с перфоленки, преобразующая пробивки перфоленки в электрические сигналы).

Устройства ввода с непрерывно движущейся лентой обеспе-

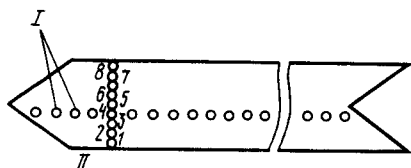


Рис. 3.28. Восьмиканальная перфо-
лента:
I — синхронизирующие пробивки; II — до-
рожки

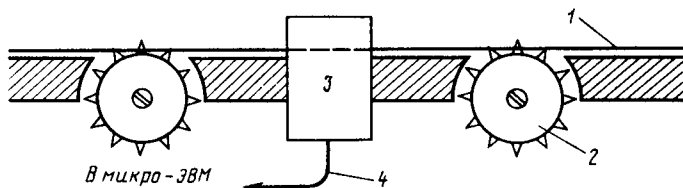


Рис. 3.29. Лентопотяжный механизм для перемещения перфо-
ленты:

1 — перфолента; 2 — приводное зубчатое колесо; 3 — читающие го-
ловки; 4 — электрические сигналы

чивают значительно большую скорость ввода данных, чем стар-
тостопные устройства.

Недостатком устройства ввода с непрерывно движущейся лентой является то, что тормозной путь существенно больше расстояния между соседними пробивками. Чтобы после считывания блока данных (символов) не был прочитан ни один символ следующего блока, между ними оставляется незаполненное пространство, называемое межблочным промежутком.

Так же как у перфокарт, пробивки на перфоленте в электрические сигналы преобразуются при помощи фотоэлементов.

§ 3.11. Основные типы устройств вывода информации

Классификация устройств вывода информации приведена на рисунке 3.30. Устройства вывода подразделяют на три группы:

устройства вывода цифровой информации на промежуточный носитель — перфокарты и перфоленты путем пробивки в них соответствующих комбинаций отверстий. Этот способ вывода информации предназначен для последующего ввода ее в ЭВМ;

устройства различного рода печати и устройства вывода информации на экраны и графопостроители;

устройства вывода информации во внешнюю среду (цифро-аналоговые преобразователи и устройства выдачи данных на линии связи). Выводные устройства второй группы либо выдают поступающую из ЭВМ информацию в виде текста на бумаге, либо отображают ее на дисплеях в виде текста, изображений и графиков, либо рисуют графики и чертежи на бумаге — графопостроители.

Алфавитно-цифровые печатающие устройства делят на ме-

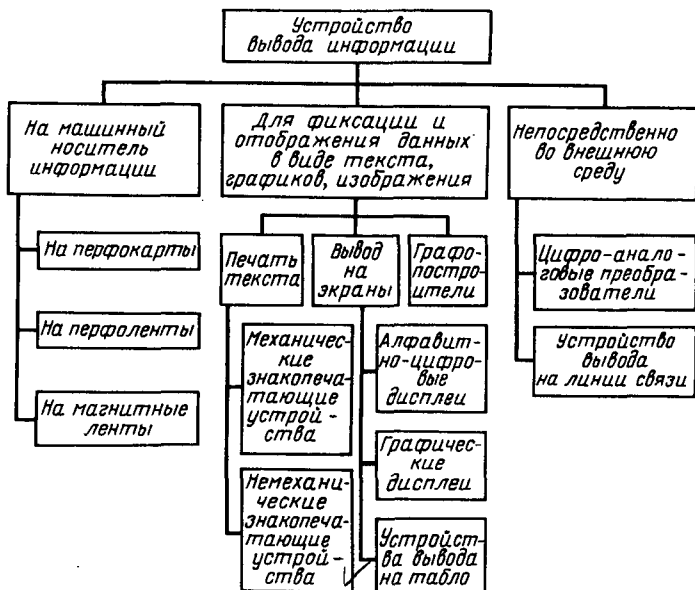


Рис. 3.30. Классификация устройств вывода информации

ханические и немеханические. В состав механических знакопечатающих устройств входят электрифицированные пишущие машинки, телетайпы и др. В немеханических устройствах используют ксерографический, электрохимический, термический, искровой и другие методы регистрации информации. Скорость вывода данных в немеханических устройствах много выше, чем у электромеханических печатающих устройств. Однако они много сложнее, имеют высокую стоимость и низкую надежность. Поэтому применяют их значительно реже.

Устройства вывода информации на перфоленту и перфокарты пробивают отверстия кода и синхроотверстия.

Перфолента в момент пробивки отверстий должна быть неподвижной, поэтому ленточные перфораторы используют стартовый принцип работы. Для пробивки кода символа блок управления должен включить электромагнит пробивки синхроотверстия и электромагниты, соответствующие тем дорожкам перфоленты, где должны быть пробиты кодовые отверстия.

В составе комплексов ЕС ЭВМ разработаны специальные устройства вывода на перфоленты и перфокарты. Аппараты вывода информации на перфокарты состоят из механизмов пробивки, подачи, транспортировки и укладки перфокарт.

Печатающие устройства выдают информацию в виде документов в удобной для человека форме. Распространенным печатающим устройством является электрифицированная пи-

шущая машинка. Выводимые из ЭВМ данные обычно печатаются на бумаге черным цветом. Скорость печати до 10 знаков в секунду. Распространение получило устройство построчной печати. Принцип действия построчной печати барабанного типа показан на рисунке 3.31. Устройство содержит набор одинаковых печатающих колес с нанесенными на них литерами. Число колес равно числу знаков в строке. Колеса собраны на одной оси в виде барабана, вращающегося с постоянной скоростью.

Знаки регистрируются без остановки барабана.

Каждая печатная позиция имеет свою печатающую систему, состоящую из электромагнита, управляемого им молоточка 1 и колеса с полным набором знаков 4. Между бумагой 2 и печатающими колесами проходит красящая лента 3. В момент прохождения нужного знака под молоточком последний ударяет по бумаге и ленте, прижимая их к знаку на печатающем колесе. За каждый оборот барабана печатается строка. Включает и выключает ток в обмотках электромагнитов специальный электронный блок управления.

Устройство построчной печати, выпускаемое в системе ЕС ЭВМ, имеет скорость печати 600...900 строк в минуту. В строке размещается 128 знаков, а на каждом колесе — 84 знака.

Дисплей. Одним из устройств ввода-вывода является устройство с электронно-лучевой трубкой, называемое дисплеем. В зависимости от типа дисплея на экран может выводиться алфавитно-цифровая и графическая информация. С помощью клавиатуры и светового пера возможно ввести в ЭВМ нужную информацию, а также вызвать нужную информацию, хранящуюся в памяти машины, при необходимости внести в нее коррективы и отправить обратно в машину для дальнейшей обработки.

При наличии дисплеев общение человека с машиной упрощается, отпадает необходимость набивать перфоленты или перфокарты с запросами, вводить их в вычислительную машину, печатать полученные от машины ответы, набивать при необходимости исправления, вводить эти исправления в машину и т. д. На экран алфавитно-цифрового дисплея обычно выводится от 128 до 4000 знаков. Для редактирования информации используется световое перо. На его кончике устанавливаются элемент, чувствительный к свету (например, фотодиод). При совмещении кончика пера со знаком, отображенным на экране, в чувствительном элементе

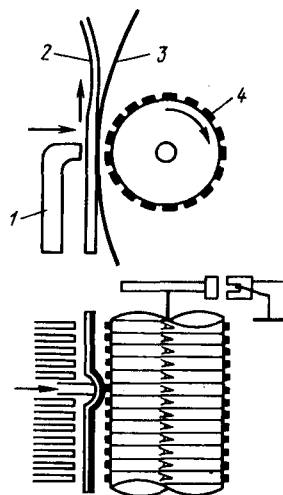


Рис. 3.31. Принцип действия построчного печатающего барабанного устройства:

1 — молоточек; 2 — бумага; 3 — красящая лента; 4 — набор знаков

возникает импульс, благодаря которому определяется адрес ячейки, хранящий этот знак в ЗУ, что позволяет изменять информацию в ячейке по данному адресу.

Наряду с алфавитно-цифровыми дисплеями существуют графические, отображающие графическую информацию и имеющие средства, позволяющие оператору задавать и вводить в память машины и корректировать изображение на экране.

Дисплеи, как следует из описания, являются удобными средствами связи человека с машиной как при вводе, так и при выводе соответствующей информации.

7.3

Достоинства АСУТП
на базе ЭВМ

§ 3.12. Особенности управляющего вычислительного комплекса (УВК) для автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП)

Центральный процессор УВК, как и в любой ЭВМ, содержит устройство управления (УУ), обеспечивающее выполнение машиной своих функций предписанным образом, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) для хранения команд, программы и данных, а также электрические схемы, реализующие арифметические и логические операции (АЛУ). Однако по сравнению с ЭВМ общего назначения УВК имеют ряд особенностей, которые рассмотрены ниже.

Реальный масштаб времени. Управляющий вычислительный комплекс работает в реальном масштабе времени. Вычислительная система соединяется с объектом управления, и поступающая в систему объектная информация должна обрабатываться с такой скоростью, чтобы результат обработки мог использоваться для воздействия на протекание процесса в объекте. Время обработки поступающей информации и формирования управляющего воздействия обычно составляет от нескольких долей секунд до нескольких секунд. Таким образом, АСУТП является системой реального времени. Для обработки информации о протекании технологического процесса и его оптимизации используют управляющие вычислительные комплексы (УВК), создаваемые, как правило, на базе малых и микро-ЭВМ, (см. § 3.13).

Центральный процессор АСУТП должен выполнять функции, связанные с отсчетом времени, прерыванием и защитой памяти.

Отсчет времени. Как уже отмечалось, управление процессом осуществляется в реальном масштабе времени. Кроме того, для управления процессом необходимо иметь расписание событий в процессе и формировать управляющие воздействия на процессы в определенные моменты времени, после появления каких-либо событий. Поэтому в программы, реализуемые в АСУТП, вводится время двумя методами.

Первый метод заключается в использовании часов реального времени в качестве одного из устройств ввода-вывода (электрон-

ные часы). Программа считывает показания этих часов и определяет наступление момента, назначенного для выполнения заданного действия.

Второй метод заключается в использовании таймера, который функционирует подобно счетчику, работающему с заданной скоростью. Задавая на счетчике любое численное значение и зная интервал между отсчетом, измеряют любой временной интервал.

Прерывание. Введением в вычислительную систему устройства прерывания обеспечивают возможность АСУТП реагировать на определенные события или аварии. При управлении технологическим процессом возникает необходимость в ответ на некоторые возникающие события изменить порядок управления. Например, если возникает перегрев подшипника работающего электропривода, то может потребоваться изменение текущей программы вычислительной машины и введение другой — предназначенной для выдачи необходимых команд в этом случае. Такой метод изменения направления работой УВК называют «программное прерывание». Это значит, что в любом месте последовательности команд программы машина может прекратить выполнение команды этой программы и перейти к выполнению команд другой программы. Адрес ячейки, из которой после возврата к прерванной программе должна быть взята очередная команда, запоминается в другой ячейке.

Программу АСУТП составляют так, чтобы программа (подпрограмма) в секции памяти, выделенной для этого прерывания, предопределяла действия, которые необходимо выполнять в данной ситуации. Как только корректирующее действие завершается, программа возвращается к ячейке памяти с адресом первичной команды и выполнение прерванной программы возобновляется.

Система прерывания дополняется введением приоритетов. Дело в том, что некоторые события более важны, чем другие. Поэтому возникает необходимость в организации нескольких уровней прерывания, каждому из которых назначается свой приоритет. Приоритетное прерывание позволяет своевременно реагировать на непредвиденно-возникающие события, связанные с протеканием процесса, сигнализировать об ошибках, обнаруженных в системе ввода-вывода или во время выборки информации из памяти, сигнализировать об окончании операции ввода-вывода, осуществляемой синхронно с выполнением программы, и т. д.

Защита памяти. УВК снабжают устройством защиты памяти, необходимой для предохранения программы от случайных ошибок и от влияния посторонних программ, находящихся в главной памяти.

Чтобы полнее использовать возможности высокопроизводительных машин, их снабжают мультипрограммными операционными системами. Эти системы допускают одновременное размещение в главной памяти большого числа программ, часто не

связанных между собой. Благодаря этому наряду с управлением технологическим процессом УВК используется для компилирования и отладки новых программ.

Многочисленность программ и возможность появления в них ошибок вынуждают включать в состав АСУ средства защиты памяти.

Входные и выходные устройства для связи с процессом. Большое место в составе управляющего вычислительного комплекса занимают входные и выходные устройства для связи с управляемым технологическим процессом.

Одна из существенных особенностей УВК для АСУТП заключается в том, чтобы УВК был способен воспринимать сигналы из внешней среды, реагировать на них и осуществлять управление в реальном масштабе времени.

Поэтому в УВК должны быть входные и выходные устройства, позволяющие осуществлять связь с датчиками технологического процесса, функционирующими в реальном масштабе времени.

Аналоговые сигналы, существующие в реальном мире и поступающие в процессор УВК от датчиков технологического процесса, должны быть преобразованы в цифровую форму в двоичном коде. Это преобразование выполняет устройство аналогового входа, состоящее из нескольких частей. Основной из них является аналого-цифровой преобразователь (АЦП), осуществляющий преобразование аналогового сигнала датчика в дискретную величину, представленную в двоичном коде. Существуют несколько типов АЦП, принципы работы некоторых из них приведены в § 2.8. Обычно аналого-цифровой преобразователь работает с входным напряжением $0... \pm 5$ В, которое считается сигналом высокого уровня. Для работы с сигналом низкого уровня в диапазоне $0... \pm 500$ мВ используют усилители.

Важная часть устройства аналогового входа — коммутатор. Если надо ввести в УВК сигналы от большого числа датчиков, нецелесообразно ставить отдельный АЦП на каждый входной сигнал. В этом случае используют средства поочередного подключения сигналов от всех датчиков к общему УВК. Такой способ называют коммутацией входов.

Следующая часть устройства аналогового входа — средства нормирования сигнала. Уровни сигнала не всегда соответствуют требованиям АЦП или коммутатора. Чтобы привести уровни сигнала в соответствие, на каждой линии можно устанавливать элементы нормирования сигнала. В зависимости от потребности в качестве таких элементов устанавливают attenuаторы (для понижения уровня напряжения), усилители (для усиления сигнала) и фильтры (для исключения электрических помех, создаваемых линиями электропитания). Так как в электрическом отношении внешняя среда УВК является «помехосоздающей», то в этом случае фильтры исключают помехи, создаваемые линиями

электропитания. Одна из схем устройства аналого-цифрового преобразователя с сигналами высокого уровня приведена на рисунке 3.32. Она дает представление об устройстве преобразователя в целом. Входные сигналы вводятся в систему через переходное устройство. Учитывая, что система с сигналами высокого уровня, возникающими в переходном устройстве — электрические эффекты, такие, как термоэлектрические потенциалы и контактное сопротивление, в общем незначительны, их во внимание не принимают, и переходное устройство по существу является механическим коммутационным устройством. Затем сигналы проходят через схемы нормализации (если в них имеется потребность) в коммутатор. По команде устройства управления канал коммутатора замыкается, и выходной сигнал подается на буферный усилитель, обеспечивающий низкий импеданс на входе АЦП. Выход усилителя подсоединяют к АЦП, который и осуществляет преобразование в цифровую форму.

На выходе УВК устанавливают систему обратного преобразования цифровых величин в аналоговые, используемые в качестве управляющей информации, которая состоит из преобразователя цифровых величин в аналоговые — ЦАП (см. § 2.9), коммутатора для поочередного подключения сигналов датчиков к ЦАП и дополнительных устройств (усилителей, фильтров и других подобных устройств ввода).

§ 3.13. Структурная схема связи УВК с объектом

Структурная схема связи УВК с объектом в рамках АСУТП при непосредственном цифровом управлении приведена на рисунке 3.33.

Установленными на объекте датчиками (Д) измеряют и контролируют все необходимые параметры (X_1, X_2, \dots, X_n), характеризующие качество протекания процесса, эффективность, производительность и другие, а также измеряемые не регулируемые параметры, зависящие от внешних факторов. Эта информация преобразуется в цифровую форму и в таком виде поступает в процессор УВК, который обрабатывает эту информацию в соответствии с установленным законом управления, определяет управляющие воздействия u'_i , преобразовывает их в аналоговую форму u_i , пригодную для приложения к исполнительным механизмам ИМ, изменяющим регулируемые параметры Y_1, Y_2, \dots ,

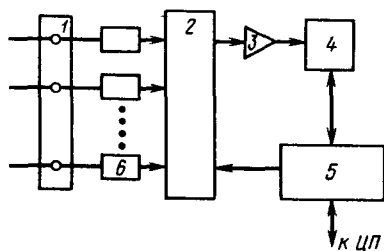


Рис. 3.32. Схема устройства аналогового преобразования сигналов высокого уровня:

1 — переходное устройство; 2 — высокоуровневый коммутатор; 3 — буферный усилитель; 4 — АЦП; 5 — устройство управления; 6 — нормализация сигнала

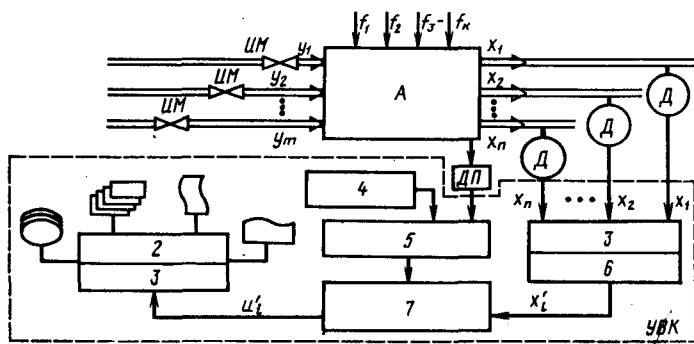


Рис. 3.34. Режим сбора данных (условные обозначения см. рис. 3.33)

способа управления сбор данных для целей анализа и уточнения математической модели почти всегда включается как одна из первых задач управляющего вычислительного комплекса.

Следующая форма использования УВК в рамках АСУТП — управление в режиме советчика оператора (рис. 3.35). В этом случае УВК работает в ритме процесса, но в разомкнутом контуре, то есть выходы УВК не связаны с органами, управляющими процессом. Управляющие воздействия осуществляются оператором по полученным указаниям от УВК. АСУТП в этом случае функционирует следующим образом: через заданные промежутки времени (в зависимости от конкретных условий, обычно один раз в 5...10 мин) необходимые входные параметры через АЦП описанным выше образом преобразуются в цифровую форму и поступают в УВК. Эти величины, если требуется, переводятся в

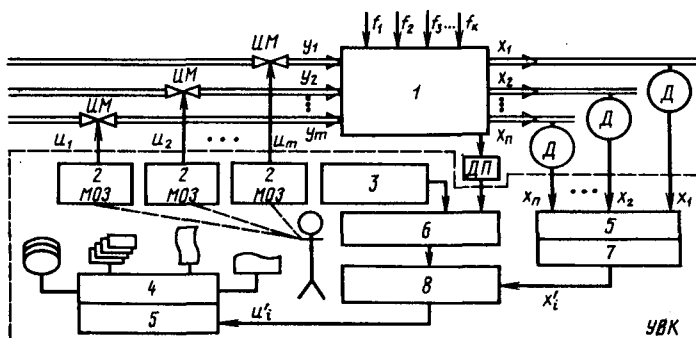


Рис. 3.35. Режим советчика оператора:

1 — объект управления (технологический процесс); 2 — регулятор; 3 — электронные часы; 4 — преобразователь ЦА; 5 — коммутатор; 6 — устройство преобразования; 7 — преобразователь АЦ; 8 — вычислительная машина

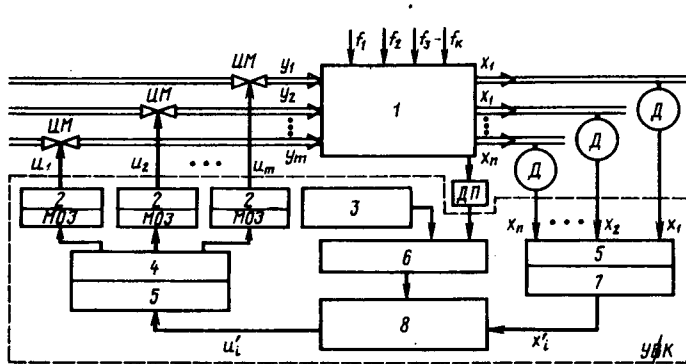


Рис. 3.36. Супервизорное управление (условные обозначения см. рис. 3.35)

технические единицы, используются в модели управления процессом для выработки управляющих воздействий, необходимых для приближения процесса к оптимуму, и выдаются оператору в печатном виде. Оператор управляет процессом, изменяя уставки регуляторов или выполняя другие действия в соответствии с рекомендациями, вырабатываемыми УВК. Изменяя уставки регуляторов, оператор поддерживает оптимальный уровень процесса. В этом случае он выполняет роль следящего, управляющего звена и вносит изменения в соответствии с рекомендациями УВК, которые непрерывно и безошибочно предоставляют ему сведения для оптимизации технологического процесса. Число входных переменных в системе, работающей в режиме советчика оператора, обычно находится в пределах до 100, хотя УВК может, если это экономически выгодно, обрабатывать и большее число переменных. Ограничивающим фактором в этой системе управления является не УВК, а оператор, который может следить лишь за ограниченным числом уставок и менять их в реальном масштабе времени управления (через каждые 5...10 мин).

Этот способ управления удовлетворяет требованиям постепенного поэтапного подхода при освоении новых методов управления.

При супервизорном управлении (рис. 3.36) в рамках АСУТП УВК используют в замкнутом контуре, то есть он связан с технологическим процессом таким образом, что уставки регуляторов задаются системой непосредственно, без участия оператора.

Работа по этой системе во входной части практически мало чем отличается от входной части системы, работающей в режиме советчика оператора. Также идентичны вычисления по определению управляющих воздействий. Однако дальнейшие операции различны. Если в предыдущем случае значения уставок преобразовались в форму, удобную для восприятия оператором, то в данном случае они преобразуются в величины, которые используются для изменения настроек регуляторов. Если уставки регу-

ляторов представляют собой величины напряжения, то УВК должен преобразовывать их в напряжения соответствующего уровня и знака. Для регуляторов, воспринимающих импульсный сигнал, рассчитанная величина преобразуется в число импульсов или длительность импульса, обеспечивающие смещение уставки на необходимую величину./

Поскольку контур АСУТП в данном случае замкнут, функции оператора сводятся к наблюдению. Его вмешательство может потребоваться лишь при возникновении аварийных ситуаций.

Если при изменении условий функционирования объекта и его входных параметров требуется вычисление новых значений коэффициентов уравнений, описывающих контуры управления, то соответствующие расчеты выполняют УВК после расчета уравнений контуров управления. В этом случае необходимы некоторые средства программного управления, обеспечивающие разделение времени вычислительного комплекса между задачей управления процессом и вычислениями по оптимизации этого процесса./

Оптимизация выполняется периодически, например, один раз в день или по мере необходимости.

Из приведенного описания принципов управления следует, что в режиме советчика оператора прямое управление процессом не осуществляется. Задания на управление выдаются оператору. При супервизорном управлении прямое управление также не осуществляется, несмотря на отсутствие в контуре управления оператора. Уставки регуляторов задаются системой, но сигналы на управляющие органы выдают регуляторы, а не система АСУТП. Только в режиме *непосредственного цифрового управления* (НЦУ) сигналы, используемые для приведения в действие управляющих органов, поступают от АСУТП, и регуляторы как таковые вообще исключаются из системы (рис. 3.33). НЦУ позволяет исключить из системы регуляторы с задаваемой уставкой. Вместо того чтобы рассчитывать уставки регуляторов, требуемые для оптимальной работы, как при супервизорном управлении, АСУТП рассчитывает реальные воздействия и передает соответствующие сигналы непосредственно на управляющие органы (исполнительные механизмы). Такие расчеты выполняются для каждого из контуров управления, число которых может достигать 400.

Однако при применении системы НЦУ оператор должен иметь возможность изменять уставки, контролировать некоторые избранные переменные, варьировать диапазоны допустимого изменения измеряемых величин, изменять параметры настройки и, следовательно, иметь доступ к управляющей программе. Для обеспечения этого необходимо иметь в составе УВК пульт оператора для его связи с машиной.

Одно из главных преимуществ использования АСУТП в режиме НЦУ — возможность изменения алгоритмов управления для

контуров простым внесением изменений в хранимую программу. Отпадает необходимость в установке регуляторов.

Наиболее очевидный недостаток НЦУ проявляется при отказе АСУТП. Следует иметь в виду, что, несмотря на высокую надежность функционирования УВК, отказы полностью не исключаются, и при организации системы НЦУ это всегда учитывают. С этой целью некоторые внедряемые АСУТП являются комбинацией НЦУ и супервизорного управления.

§ 3.14. Поколения ЭВМ

Электронная вычислительная техника непрерывно развивается и совершенствуется.

Развитие элементной базы определило поколения ЭВМ.

Первой автоматически управляемой вычислительной машиной явилась релейно-механическая машина Марк-1 (США, 1944 г.). Надежность работы электромагнитных реле оказалась крайне низкой. Они так часто требовали чистки контактов и настройки, что простой машины составлял большую часть времени ее эксплуатации.

В 1946 г. вступила в строй ЭВМ ЭНИАК (США). В этой машине было использовано 18 000 электронных ламп и 1500 электромеханических реле. Применение электронных ламп повысило скорость выполнения операций приблизительно в 1000 раз. *Электронные лампы стали элементной базой машин первого поколения.*

В 1949—1951 гг. в нашей стране под руководством академика С. А. Лебедева была построена первая ЭВМ — малая электронная счетная машина (МЭСМ), а в 1952—1954 гг. — быстродействующая электронная счетная машина (БЭСМ), которая в то время была одной из самых быстродействующих машин в мире. Она содержала 5000 ламп, время ее работы без сбоев составляло 10 ч и более (до 70 % полезного времени работы машины). Быстродействие достигло 10 000 операций в секунду. Наиболее совершенной ЭВМ первого поколения была М-20, выпущенная в 1958 г. и имеющая быстродействие до 20 000 операций в секунду. Помимо этой машины, к первому поколению относятся разработанные советскими учеными и инженерами ламповые вычислительные машины «БЭСМ-2», «Стрела», М-2, М-3, «Минск-1», «Урал-1», «Урал-2». В основном они были ориентированы на решение научно-технических задач.

С появлением полупроводниковых приборов-транзисторов в середине 50-х годов появились ЭВМ второго поколения, построенные на полупроводниковых элементах, что существенно повысило надежность, снизило потребление мощности и уменьшило размеры машин. Благодаря новым возможностям расширилась их номенклатура. Наряду с машинами для научных

расчетов появились ЭВМ для решения задач планово-экономических и управления производственными процессами.

К машинам второго поколения относятся малые ЭВМ серии «Наири» и «Мир», средние ЭВМ со скоростью 5...30 тыс. операций в секунду, «Минск-22», «Минск-32», «Раздан-2», «Раздан-3», БЭСМ-4, М-220 и управляющие машины «Днепр», ВНИИЭМ-3 и др. Лучшей из второго поколения была сверхбыстродействующая ЭВМ БЭСМ-6 с производительностью 1 млн операций в секунду. Второе поколение ЭВМ позволило развернуть работы по созданию АСУП и АСУТП.

В начале 60-х годов возникло направление — интегральная электроника. Использование интегральных схем для построения ЭВМ стало революцией в вычислительной технике и способствовало появлению машин третьего поколения. *Третье поколение на базе интегральных микросхем* было разработано в начале 70-х годов совместными усилиями стран — членов СЭВ. Было организовано серийное производство Единой системы электронных вычислительных машин (ЕС — ЭВМ) и Системы малых ЭВМ (СМ — ЭВМ) на основе единой унифицированной схемотехнической и конструктивно-технологической базы.

Машины третьего поколения отличаются тем, что для них разработаны специальные операционные системы для повышения эффективности их использования, уменьшения трудоемкости подготовки программ для решения задач на ЭВМ, облегчения связи оператора с машиной и др.

3.2. Характеристики ЕС — ЭВМ

Модель ЕС — ЭВМ	Производительность, тыс. операций в секунду		Максимальная емкость ОП, Кбайт		Мультиплексные каналы	
	ряд 1	ряд 2	ряд 1	ряд 2	ряд 1	ряд 2
ЕС — 1010 (ВР)	3	—	64	—	1	—
ЕС — 1012 (ВР)	6	—	128	—	1	—
ЕС — 1015 (ВР)	—	12...16	—	160	—	1
ЕС — 1020 (СССР, БР)	10...20	—	256	—	1	—
ЕС — 1021 (ЧСФР)	20	—	564	—	1	—
ЕС — 1022 (СССР)	80...90	—	512	—	1	—
ЕС — 1025 (ЧСФР)	—	60	—	256	—	1
ЕС — 1030 (СССР, Польша)	60	—	—	—	1	—
ЕС — 1032 (Польша)	200	—	—	—	1	—
ЕС — 1033 (СССР)	200	—	—	—	1	—
ЕС — 1035 (СССР, БР)	—	140	—	512	—	1
ЕС — 1040 (ГДР)	400	—	—	—	1	—
ЕС — 1045 (СССР, Польша)	—	800	—	4096	—	1—2
ЕС — 1050 (СССР)	500	—	1024	—	1	—
ЕС — 1055 (ГДР)	—	600	—	2048	—	2
ЕС — 1060 (СССР)	—	1300	—	8192	—	2
ЕС — 1065 (СССР)	—	4500	—	16384	—	2

Основные параметры машин ЕС—ЭВМ приведены в таблице 3.2. С 1972 г. начали выпуск модели первой очереди (ряд 1), а потом — второй (ряд 2).

Основные отличия ЭВМ второго ряда: более высокие показатели производительности, стоимости и надежности.

Кроме серии ЕС—ЭВМ, социалистические страны создали систему малых и микро-ЭВМ, предназначенную преимущественно для применения в различных управляющих системах, работающих в реальном масштабе времени, при уменьшении стоимости вычислительного оборудования, уменьшении затрат на его эксплуатацию, упрощении программного обеспечения. Характеристики моделей СМ—ЭВМ приведены в таблице 3.3.

3.3. Характеристики СМ—ЭВМ

Модель	Длина слова, бат	Производительность, тыс. операций в секунду	Максимальная емкость ОП, Кбайт
Малые ЭВМ:			
СМ-2М	16	230	256
СМ-4	16	230	256
Микро-ЭВМ:			
СМ-1600	81; 16	400	256
СМ-1800	8	150...500	64
СМ-1300	16	150...500	64

Стали появляться ЭВМ и вычислительные устройства, которые относят к четвертому поколению. Конструктивно-технологической базой ЭВМ четвертого поколения являются большие (БИС) и сверхбольшие (СБИС) интегральные схемы, содержащие до десятков тысяч транзисторов на одном кристалле.

В программах ряда зарубежных фирм, рассчитанных до 1990 г. и далее, предполагается создание схем, содержащих на одном кристалле 1 000 000 и более логических элементов. Благодаря этому будет осуществляться переход от интеграции функциональных систем к интеграции подсистем ЭВМ, что существенно (не менее чем в 10 раз) повысит надежность. К четвертому поколению относятся реализованные на СБИС микропроцессоры и микро-ЭВМ (см. гл. 4). В четвертом поколении создаются многопроцессорные вычислительные системы с быстродействием в несколько десятков или сотен миллионов операций в секунду и многопроцессорные управляющие комплексы повышенной надежности. Это многопроцессорный комплекс «Эльбрус-2» с суммарным быстродействием до 100 млн операций в секунду и многопроцессорная вычислительная система ПС-2000, содержащая до 64 процессоров, управляемых общим потоком команд, в которой при распараллеливании процесса выполнения программ

3.4. Основные параметры поколений ЭВМ

Признак, параметры ЭВМ	Поколения				
	первое (1946— 1955 гг.)	второе (1955— 1965 гг.)	третье		четвертое (после 1980 г.)
			1965— 1970 гг.)	после 1970 г.	
Основные элементы	Реле, электронные лампы	Полупроводниковые приборы	Интегральные схемы (ИС)	Большие интегральные схемы (БИС)	Сверхбольшие интегральные схемы (СБИС)
Быстродействие	1 мс	1 мкс	10 нс	1 нс	< 1нс
Плотность упаковки (число единиц элементов, входящих на 1 см ³)	0,1	2...3	10...20	1000	> 10 000

может быть достигнуто суммарное быстродействие до 200 млн операций в секунду.

Намечается вычислительная техника пятого поколения. Для этого будут изучены возможности разработки и создания элементов и схем с использованием новых физических явлений в твердом теле, не свойственных транзисторным структурам (молекулярная электроника), внедрение в вычислительную технику достижений оптоэлектроники и др.

Основные параметры различных поколений ЭВМ приведены в таблице 3.4.

В комплексной программе научно-технического прогресса стран — членов СЭВ до 2000 г. намечено создать «Супер-ЭВМ» нового поколения с быстродействием более 10 млрд операций в секунду, с использованием принципов искусственного интеллекта, совершенных средств общения человека с машиной для применения в решении особо сложных научных задач, в управлении экономикой, в создании баз знаний.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют электронно-вычислительной машиной, чем она отличается от счетно-перфорационной техники, из каких основных устройств она состоит?

2. Расскажите об алгебре логики, о логических элементах и логических функциях, а также о роли алгебры в схемотехнике ЭВМ.

3. Что такое триггер, какие типы триггеров Вам известны и как их используют в ЭВМ?

4. Что представляет собой блок-схема, какие типы их Вам известны, можете ли Вы нарисовать блок-схему для циклических программ?

5. Нарисуйте символы, используемые при составлении блок-схем.

6. Перечислите известные Вам типы программ и расскажите, почему сразу не пишут объектную программу.

7. Что называют «программным обеспечением системы» и мультипрограммированием?

8. Какое значение при функционировании АСУТП имеет диагностическое программирование?

9. Для чего служит шестнадцатиричная система счисления, как она построена, какие другие коды Вам известны?

10. Расскажите, как подразделяют применяемые в ЭВМ ЗУ и как организована ОЗУ.

11. Что входит в состав периферийных устройств ЭВМ, для чего используют магнитные барабаны, магнитные диски и магнитные ленты?

12. Расскажите об устройствах ввода и вывода информации.

13. Что такое дисплей, какие их виды Вам известны, какие функции они выполняют?

14. Чем отличается УВК для АСУТП от ЭВМ общего назначения? Перечислите особенности УВК.

15. Расскажите о формах связи УВК с объектом управления в рамках АСУТП.

16. Чем отличается супервизорное управление от НЦУ и в чем преимущество использования НЦУ?

17. Расскажите о поколениях ЭВМ, их особенностях.

18. Что Вам известно об ЕС—ЭВМ?

19. Почему внедрение ЭВМ в нашей стране рассматривают как насущную социально-экономическую задачу?

Глава 4. МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРО-ЭВМ

§ 4.1. Общие сведения

Благодаря успехам микроэлектронной техники было освоено изготовление больших интегральных схем (БИС), представляющих собой миниатюрную полупроводниковую пластинку (кристаллик) длиной и шириной в несколько миллиметров, толщиной в десятые доли миллиметра, в которой размещается большое число микроскопических элементов (транзисторов, диодов, конденсаторов, резисторов и т. д.). В БИС содержится от 1000 до 10 000 функциональных элементов. Освоено также изготовление сверхбольших интегральных схем (СБИС), в каждой из которых размещается более 10 000 элементов, при типовом размере элементов 5 мкм. Осваивается технология изготовления СБИС с уменьшением размера типового элемента до 1 мкм, а в перспективе и до 0,5 мкм. В этом случае в СБИС будут размещаться сотни тысяч и миллионы элементов.

Микроскопические элементы в БИС соединены между собой внутренними связями. Имеется лишь небольшое число (20...40) выводных контактов для присоединения проводов, служащих для внешнего управления работой БИС и ввода и вывода информации. Вместе с присоединительными контактами БИС монтируют в корпусе. Общий вид и габаритные размеры некоторых БИС, смонтированных в корпус, приведены на рисунке 4.1.

Микропроцессор (МП) — это БИС для программно-управляе-

мой обработки данных, или, иначе, — БИС с программируемой логикой. МП, как это следует из самого названия, можно также определить как процессор, реализованный средствами интегральной технологии в одной (иногда нескольких) БИС. Появление микропроцессоров — это результат успехов, достигнутых в микроэлектронной технологии, и предельного упрощения центрального процессора ЭВМ до уровня, который может быть реализован средствами микроэлектроники при достигнутом уровне интеграции.

Микропроцессор содержит устройства арифметико-логического (АЛУ), управления (УУ) и регистры (Р).

Регистр — это накопитель на переключающих элементах, например триггерах, емкость которого обычно равна одному машинному слову. Регистры предназначены для хранения информации в процессе обработки. МП отличается от центрального процессора больших ЭВМ тем, что в нем (помимо регистров) отсутствует внутреннее запоминающее устройство, которое обычно размещается на отдельной БИС.

Микро-ЭВМ включает в свой состав, помимо микропроцессора, устройство памяти, устройство ввода-вывода и периферийные устройства. По сравнению с обычными ЭВМ микропроцессоры и микро-ЭВМ должны иметь большую надежность, так как в них тысячи элементов соединены внутренними связями и отпадает необходимость в применении соединительных проводов, являющихся обычно уязвимым местом ЭВМ.

Большие ЭВМ, как правило, представляют собой дорогостоящие устройства, применение которых во многих случаях экономически нецелесообразно. В отличие от этого МП и микро-ЭВМ, обладая возможностями программируемого вычислительного устройства, имеют относительно низкую стоимость, высокую надежность и экономичность, а также минимальные габариты. Поэтому области применения этих машин непрерывно расширяются.

МП и микро-ЭВМ применяют: в электронных играх и в бытовых приборах; в системах автоматического управления, составляющих единое целое с автоматизируемым оборудованием; для автоматизации различных технологических процессов и производств, а также в больших вычислительных комплексах и в сложных системах управления.

Ниже будут рассмотрены некоторые особенности структур

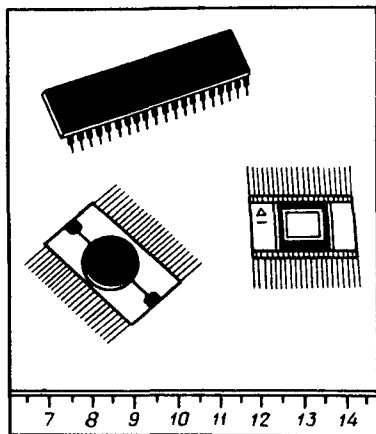


Рис. 4.1. Большие интегральные схемы (общий вид)

построения МП и микро-ЭВМ, а также область их применения при автоматизации и управлении объектами водохозяйственных систем.

§ 4.2. Элементы структуры микропроцессоров и микро-ЭВМ

Обобщенная структурная схема МП приведена на рисунке 4.2. Собственно микропроцессор содержит АЛУ, УУ и Р и мало отличается от структуры процессора ЭВМ небольшой производительности (см. гл. 3). Кроме того, в состав МП входит устройство ввода-вывода (УВВ) для обмена информацией между МП и другими устройствами, а также генератор тактовых импульсов (таймер). Могут быть и другие элементы, не показанные на рисунке.

Для МП характерна шинная структура соединения его различных блоков. Шина — это многожильный кабель с числом линий связи, определяемых разрядностью одновременно передаваемой по шине двоичной информации от одного или нескольких источников к одному или нескольким приемникам. Применяют, как правило, двунаправленные шины, то есть передающие информацию в обоих направлениях. На рисунке 4.2 показаны сигналы трех видов — информационные, адресные и управляющие, ко-

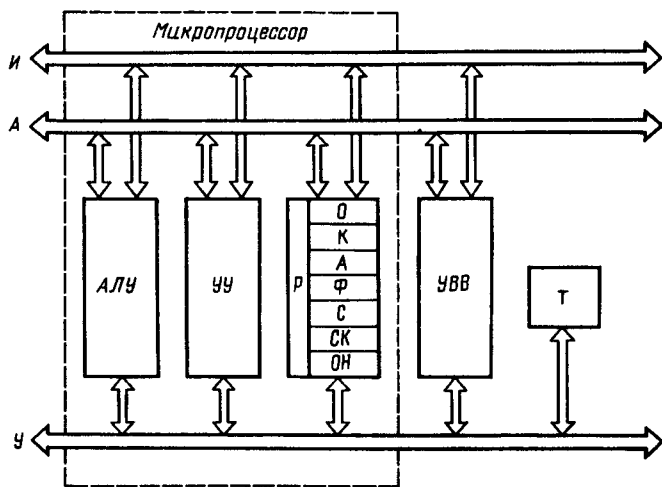


Рис. 4.2. Обобщенная структурная схема МП с тремя отдельными шинами — информационных (И), адресных (А) и управляющих (У) сигналов:

АЛУ — арифметико-логическое устройство; УУ — устройство управления; УВВ — устройство ввода-вывода; Т — таймер; Р — рабочие регистры; О — операндов; К — команд; А — адресов; Ф — флаговые; С — состояний; СК — счетчика команд; ОН — общего назначения

торые передаются двунаправленно по соответствующим трем шинам.

Рабочие регистры МП представляют собой ячейки памяти, служащие для оперативного хранения текущей информации. По выполняемым функциям они разбиты на группы, связанные с определенными элементами структуры МП.

Регистры операндов О хранят в течение времени выполнения операций в АЛУ два двоичных числа, одно из которых по окончании операции заменяется результатом, то есть как бы накапливается, отсюда название регистра — «аккумулятор»-накопитель. Содержимое второго регистра операндов заменяется в следующей операции другим операндом, а содержимое аккумулятора может быть сохранено.

Регистр команд К хранит несколько разрядов командного слова, представляющих код выполняемой операции в течение времени ее выполнения. Адресная часть командного слова находится в регистре адреса А.

Состояние флагового регистра определяет состояние переполнения, если после выполнения какой-либо операции разрядность результата оказывается больше разрядности каждого из операндов.

В системе команд МП важными являются команды переходов к выполнению заданной части программы по определенным признакам и условиям — так называемые команды условных переходов. Такие команды характеризуют способность МП выбирать различные пути в зависимости от возникающих в ходе решений условий, определяемых специальным регистром состояния С, фиксирующим состояние МП в каждый момент выполнения программы и посылающий в УУ сигнал перехода к команде, адрес которой содержится в специальном регистре, называемом счетчиком команд СК — регистром записи адреса команд. При выполнении непрерывной последовательности команд адрес следующей команды получается прибавлением к содержимому СК единицы, то есть образуется в результате счета. Отсюда название регистра — счетчик команд. Однако назначение СК не определять число выполненных команд, как может показаться из его названия, а находить адрес команд. Причем при наличии в программе команд перехода следующая команда может не иметь следующего по порядку адреса. В этом случае в СК записывается адресная часть команды перехода.

Регистры ОН служат для хранения промежуточных результатов, адресов и команд, возникающих в ходе выполнения программы, и могут связываться по общим шинам с другими рабочими регистрами, а также со счетчиком команд и УВВ.

Число регистров ОН в МП обычно не превышает 10...16 разрядностью 2...8 бит каждый. Эти регистры могут быть использованы для записи или извлечения и передачи информации элементам структуры МП и в память.

В состав МП входит также таймер Т, который определяет динамику всех информационных, адресных и управляющих сигналов и синхронизирует работу УУ, а через него и других элементов структуры.

Частота синхронизации, называемая тактовой частотой, выбирается максимальной и ограничивается лишь задержками прохождения сигналов, определяемыми в основном технологией изготовления БИС.

Скорость выполнения МП программы прямо пропорциональна тактовой частоте.

§ 4.3. Типы памяти

Рассмотренные регистры МП хранят небольшую информацию в процессе ее обработки. Для запоминания большого объема информации применяют специальные запоминающие устройства (ЗУ). Все ЗУ разбивают на два класса — внешние запоминающие устройства, имеющие большую емкость и невысокое быстродействие, и внутренние запоминающие устройства, то есть конструктивно совмещенные с вычислительным устройством, относительно небольшой емкости, достаточно быстродействующие и выполненные на полупроводниковых элементах.

Внешние ЗУ являются энергонезависимыми — у них способность к сохранению информации заложена в самой структуре носителя информации — перфокарт, перфолент, магнитных барабанов, дисков и лент (см. § 3, 10). Информация на них накапливается, и постепенно ее объем может увеличиваться.

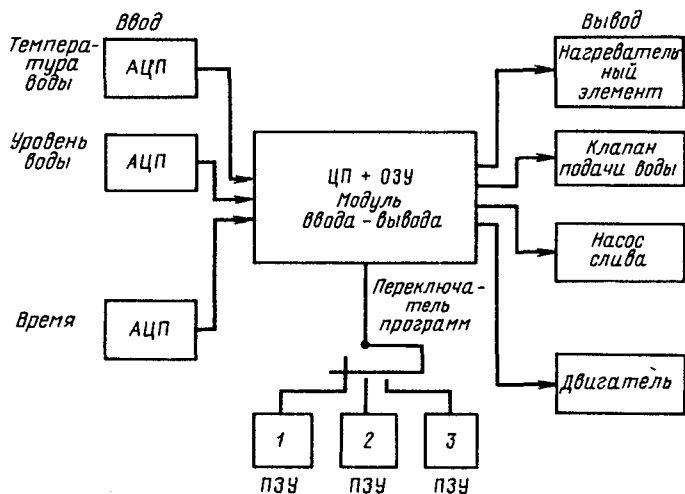


Рис. 4.3. Схема микро-ЭВМ для управления работой стиральной машины:

1, 2, 3 — соответственно стирка тонкого, цветного и белого белья

Внутренние ЗУ разделяют на оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), обычно используемое для хранения данных, с которыми оперируют в процессе выполнения программы. Одна и та же ячейка может использоваться в разное время для хранения различной информации.

Другая группа ЗУ, в которой обычно хранятся программы (ПЗУ), в них содержимое всех ячеек остается неизменным. Их можно только считать, но нельзя менять или обновлять. Имеются три типа ПЗУ:

ПЗУ, запрограммированное изготовителем микро-ЭВМ. Во время производства ПЗУ изготовитель вводит в память программу в соответствии с требованиями заказчика, последующее обновление программы невозможно. Этот тип ПЗУ используют, когда требуется многократное тиражирование подобных ПЗУ;

программируемое ПЗУ (ППЗУ) пользователь может запрограммировать с помощью специального программирующего устройства, который выжигает адресуемые диоды в его матрице; после этого дальнейшие изменения содержимого памяти невозможны. Этот тип памяти используют, когда требуется небольшое число различных ПЗУ;

РППЗУ (репрограммируемые ППЗУ) или стираемые ППЗУ имеют устройства памяти, информация в которых может стираться несколько раз с помощью ультрафиолетового облучения. Перепрограммиро-

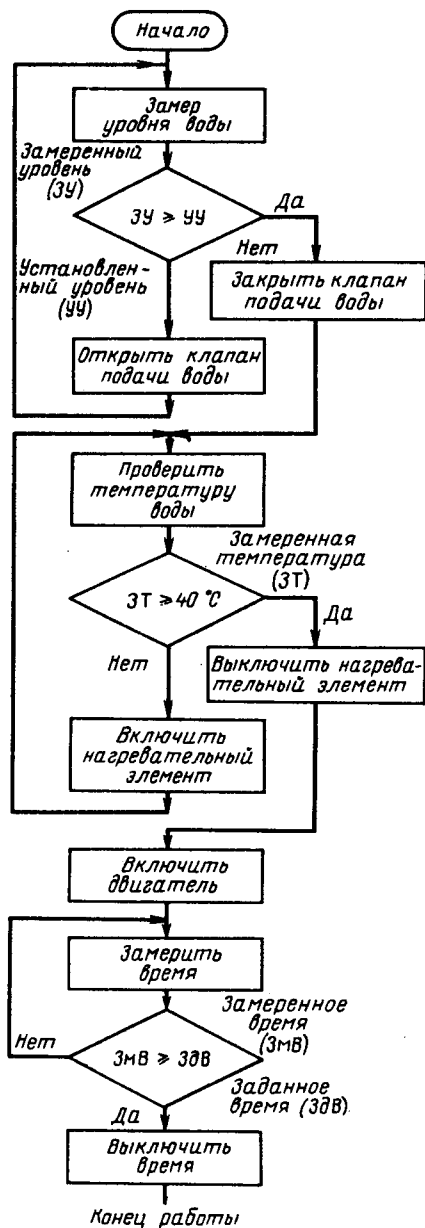


Рис. 4.4. Блок-схема алгоритма тонкой стирки белья

вание осуществляется с помощью программирующего ПЗУ. Преимущество РППЗУ — возможность изменения содержимого памяти или исправления ошибок, не меняя целиком прежнее ПЗУ.

Пример применения микро-ЭВМ. Для ознакомления с работой микро-ЭВМ рассмотрим пример с микро-ЭВМ для управления стиральной машиной (рис. 4.3). Предусмотрено три режима стирки: стирка белого белья, стирка цветного белья, стирка тонкого белья. Каждому режиму соответствует своя программа, записанная в ПЗУ.

Вводимые в микро-ЭВМ данные (температура воды, уровень воды в баке, время стирки) с помощью АЦП преобразуются в сигналы, воспринимаемые ЦП. Сигналы, выдаваемые ЦП, управляют нагревательными элементами, клапаном подачи воды, насосом слива воды, мотором для стирки и центрифугой. Управление осуществляется с помощью реле, трехпозиционного управляемого переключателя и т. д. В ПЗУ хранятся программы различных режимов стирки.

Если необходимо увеличить число программ, изменить некоторые из них, то заменить соответствующие ПЗУ.

Процесс управления приведен на рисунке 4.4 (часть блок-схемы программы «тонкой» стирки); необходимые параметры (температура воды, ее уровень, время, необходимое для стирки и сушки) постоянно хранятся в ПЗУ. Микро-ЭВМ должна принимать решения сравнением замеренных значений параметров с хранящимися в ПЗУ. Например, температура воды при тонкой стирке не должна превышать 40 °С. Если при замере температура воды оказывается равной (или большей) 40 °С, то нагревательный элемент выключается и включается клапан подачи воды. Режим стирки соответствует блок-схеме.

Преимущество применения микро-ЭВМ для обеспечения процесса стирки в каждом из режимов заключается в том, что вместо проектирования жесткой схемы автоматического управления из элементов автоматики выполняется программирование. Если нужно заменить один режим другим, то необходимо только ввести новую программу. Аппаратные средства при этом не меняются. Изменять программы быстрее и легче, чем схемы. Из этого следует, что применение ЭВМ более экономично в тех случаях, когда требуется выполнение разнообразных режимов или сравнительно сложных операций, особенно при массовом применении автоматизированных агрегатов и устройств.

§ 4.4. Микропроцессорные системы

В отличие от собственно МП, который сам по себе не способен перерабатывать информацию, микропроцессорная система предназначается для обработки информации, получения необходимых результатов по заданной программе. Обобщенная структурная схема микропроцессорной системы, куда помимо собственно МП входят обязательными элементами ПЗУ, ОЗУ и интерфейсные схемы, показана на рисунке 4.5. Кроме того, в состав микропроцессорной системы могут входить внешнее ЗУ и также различные периферийные устройства.

Связь элементов структуры МП между собой, а также связь их с ОЗУ, ПЗУ и периферийными устройствами осуществляется через интерфейс, который включает аппаратные средства для обмена данными между частями системы и протокол — правила, описывающие принципы взаимодействия частей системы в ходе обмена данными.

Микропроцессорные системы создаются на основе применения микропроцессоров и других БИС в различных сочетаниях и могут составлять любые вычислительные, управляющие и другие системы, где информацию обрабатывает один МП и более.

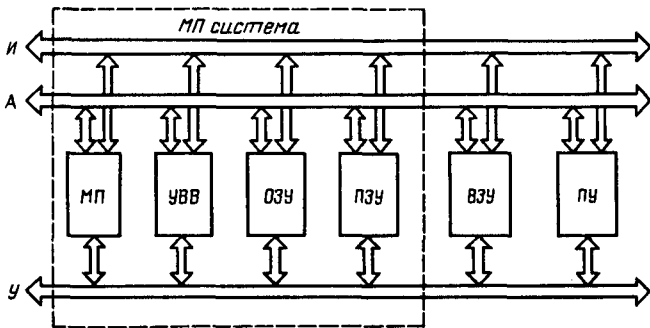


Рис. 4.5. Обобщенная структурная схема микропроцессорной системы:

МП — микропроцессор; УВВ — устройство ввода-вывода; ОЗУ, ПЗУ и ВЗУ — соответственно оперативное, постоянное и внешнее запоминающее устройства; ПУ — периферийное устройство

Конструктивно-завершенную микропроцессорную систему, имеющую собственный источник питания, устройства связи с периферийными устройствами, панель управления и комплект программного обеспечения, называют микро- или мини-ЭВМ в зависимости от разрядности, быстродействия, размеров и стоимости.

Общая классификация микропроцессорных систем приведена на рисунке 4.6. Понятие МП системы включает калькуляторы и простейшие малопрограммные управляющие системы, в которых рабочая программа зафиксирована в ПЗУ (контроллеры), микро- или мини-ЭВМ, многопроцессорные системы, функционально повторяющие возможности больших ЭВМ.

МП можно применять в качестве обрабатывающего и управляющего элемента в рамках логической структуры ЭВМ. В этом случае построение является традиционным и практически повторяет функциональную организацию ЭВМ до микропроцессорного периода. Однако МП обеспечил реализацию принципиально нового подхода к организации вычислений путем создания распределенных средств обработки информации.

Распределение в данном случае означает расчленение общего алгоритма на ряд параллельно реализуемых алгоритмов, не связанных друг с другом во времени, а также оптимальное пространственное распределение вычислительного процесса путем встраивания специализированных МП непосредственно в датчики исходной информации.

Встроенные вычислительные системы — нетрадиционный, качественно новый метод применения МП, позволяющий по-новому решать задачи обеспечения быстродействия, надежности, сокращения размеров и массы средств автоматического управления, контроля и сбора данных.

Характерные свойства МП дают возможность встроенного

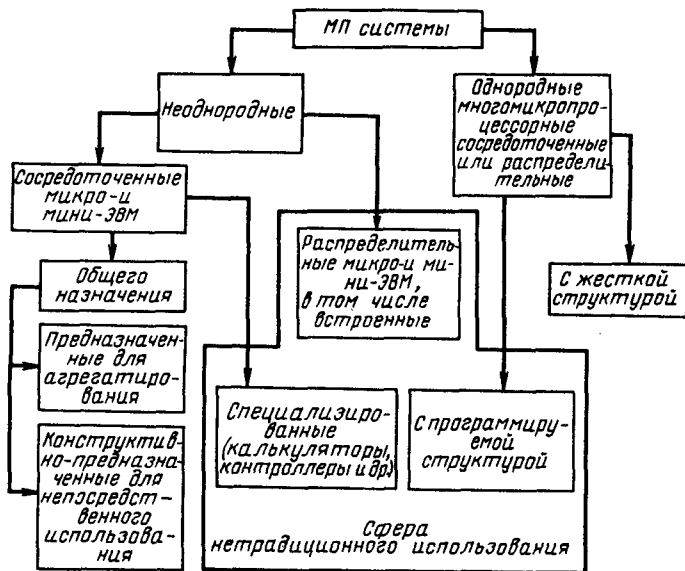


Рис. 4.6. Классификация микропроцессорных систем

управления каждой отдельной единицей аппаратуры, оборудования, что обеспечивает возможность создания полностью автоматизированных устройств и процессов.

В СССР разработаны высокопроизводительные управляющие вычислительные комплексы на базе микропроцессорной техники, например ЭВМ ПС-2000, содержащий группу единообразно связанных между собой процессорных элементов, работающих с единым управлением. Число процессорных элементов берут равным 8, 16, 32 и 64. Каждый процессорный элемент снабжен своим ОЗУ емкостью 12 или 48 Кбайт. При минимальной 8-процессорной и максимальной 64-процессорной конфигурациях производительность этого многопроцессорного вычислительного комплекса составляет соответственно 25 и 200 млн коротких операций в секунду.

§ 4.5. Применение микропроцессорных систем для автоматизации и управления в гидромелиоративных системах

Область применения микропроцессорной техники при автоматизации и управления гидромелиоративных систем широка и многообразна.

Массовая область применения МП — измерительные устройства параметров гидромелиоративных систем, уровня воды, расхода и стока, влажности почвы, температуры и влажности приземного слоя, химического состава воды и т. п. Учитывая много-

образии условий измерения параметров, и в частности расхода в открытых руслах, различные применяемые водомерные устройства (лотки, водосливы, водомерные пороги и др.), широкое применение найдут локальные МП, встраиваемые в измерительные приборы.

Микро-ЭВМ будут применять в системах локального управления и регулирования объектов гидромелиоративных систем (насосных станций, гидротехнических узлов сооружений, технологических режимов полива, дренажных систем и т. п.).

Находят применение микропроцессорные комплексы для АСУТП оросительных систем, характеризующихся распределенной структурой расположения объектов с большими расстояниями между ними. Для подобных условий благоприятно применение распределенных средств обработки информации и использование наборов типовых микропроцессорных модулей.

На базе микро-ЭВМ разработан информационно-управляющий комплекс, предназначенный для автоматизации полива. Для каждого поля и вида культуры рассчитывают сроки полива с учетом информации, получаемой от датчиков, расположенных в поле, об осадках, влажности почвы, а также температуры приземного слоя и учета данных состояния водного баланса.

Примеры применения МП для автоматизации технологических процессов и объектов гидромелиоративных систем приведены в соответствующих разделах книги.

§ 4.6. Комплекс технических средств для локальных информационно-управляющих систем — КТС ЛИУС-2

Первые МП были созданы в 1971 г. Для удовлетворения различных требований, предъявляемых пользователями к МП и микро-ЭВМ, в мире налажено производство сотен типов различных микропроцессорных комплексов и устройств.

В нашей стране в целях обеспечения функциональной, информационной энергетической, конструктивной и эксплуатационной совместимости изделий принято производство агрегатных комплексов Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

В 1978—1985 гг. в рамках ГСП разработан и внедрен в производство комплекс технических средств для локальных информационно-управляющих систем (КТС ЛИУС-2).

КТС ЛИУС-2 построен на базе микросхем с повышенной степенью интеграции и микропроцессоров и предназначен для применения в автоматизированных системах управления установками, агрегатами и технологическими процессами.

Средства КТС ЛИУС-2 можно использовать на нижнем ярусе иерархических АСУТП в относительно обособленных (локальных) системах, а также в качестве устройства связи управляющих

вычислительных комплексов (УВК) с объектом и оперативным персоналом.

Средства КТС ЛИУС-2 в локальных АСУТП собирают, хранят и проводят первичную обработку технологической информации; непосредственное цифровое регулирование технологических параметров (или цифровую коррекцию уставок локальных регуляторов); программно-логическое управление, ручной ввод и отображение технологической информации. В иерархических АСУТП средства КТС ЛИУС-2 дополнительно готовят информацию для смежных и вышестоящих подсистем; обмен данными между территориально рассредоточенными и удаленными подсистемами, включая управляющие ЭВМ; организацию выполнения полученных директив.

Зарегистрированная для комплекса КТС ЛИУС-2 торговая марка «Микродэт» отражает его отличительные особенности и основное назначение: использование современной микропроцессорной базы (микро) в программируемых контроллерах диспетчеризации (Д), автоматике (А) и телемеханики (Т).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое МП и микро-ЭВМ, чем они отличаются?
2. Начертите структурные схемы МП и микро-ЭВМ.
3. Какие Вы знаете типы памяти, применяемые в микро-ЭВМ?
4. Перечислите области применения микро-ЭВМ, приведите известные Вам примеры.
5. Расскажите о микропроцессорных системах и в том числе о высокопроизводительных управляющих вычислительных комплексах на базе микропроцессорной техники.
6. Что Вам известно об области применения микропроцессорной техники в гидромелиоративных системах?
7. Что представляет собой КТС ЛИУС-2?

Глава 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

2 § 5.1. Задачи управления водораспределением

Под водораспределением в оросительных системах понимают процесс транспортирования воды по различным водоводам и выдачи ее потребителям во многих точках системы. Различают нормированный, ненормированный и комбинированный способы выдачи воды.

При *нормированном способе* воду между потребителями распределяют в соответствии с разработанными графиками полива, составляемыми на основе плана водопользования с учетом имеющихся в наличии водных ресурсов. В этом случае имеет место водораспределение в полном смысле этого понятия.

При *ненормированном способе* потребителю представляется возможность пользоваться водой по своему усмотрению. В этом

случае вместо водораспределения происходит бесперебойная подача воды, используемой «по потребности» (как в водопроводных системах). Следует, однако, заметить, что представить потребителю возможность пользоваться водой в любом количестве и в любое время не представляется возможным и не диктуется необходимостью. Практически при таком способе водопользования разброс водопотребления имеет определенные границы. Водопользование по потребности в большинстве случаев применяют на системах с поливом дождеванием. Размеры отклонений водопотребления зависят от принятой технологии полива и от надежности поливной техники. Например, полив по агрометеопараметрам предполагает более значительные отклонения водопотребления, чем при программном поливе. Наиболее вероятные отклонения обычно устанавливают при проектировании оросительной системы и определении ее максимальной пропускной способности.

Наиболее часто отклонение расхода от запланированного принимают равным 30 %.

При *комбинированном способе* сочетаются на одной оросительной системе нормированный и ненормированный способы подачи воды. В этом случае одна часть потребителей получает воду нормированно, другая — по потребности.

Основная задача управления водораспределением сводится к созданию и поддержанию в оросительных системах режима, при котором снабжение потребителей (в общем случае в условиях изменяющегося во времени водозабора) осуществляется без перебоев и холостых сбросов. В водопроводных системах эту задачу решают сравнительно просто. Водоводами здесь служит напорная трубопроводная сеть, трубы которой всегда заполнены, объем воды в них постоянен, приток равен сумме оттоков. Потребность в воде удовлетворяется практически немедленно по желанию потребителей простым открытием водовыпускного устройства. В оросительных системах закрытую трубопроводную сеть используют преимущественно во внутривладельческой сети, а межхозяйственные транспортно-распределительные водоводы в основном выполняют в виде открытых каналов (облицованных и в земляном русле) или наземных железобетонных лотков.

Управление водораспределением в открытых каналах значительно усложняется, так как скорости течения воды в них крайне малы. Почти в каждой оросительной системе в зависимости от рельефа местности имеются сопрягающие каналы с различными уклонами; неодинаково наполнение различных участков канала.

Успешно решить задачу водораспределения в открытых каналах при ручном управлении практически невозможно. Поэтому применяют системы автоматического управления водораспределением без непосредственного оперативного вмешательства обслуживающего персонала, на который возлагают лишь функ-

ции предварительной настройки системы, контроль за ее работой, техническое обслуживание.

Ниже будут рассмотрены различные схемы автоматического управления водораспределением в открытых каналах, решающие эту задачу разными методами и соответственно обеспечивающие различные качественные показатели (точность, надежность, капитальные затраты и др.). Однако при любой выбранной схеме задачу управления водораспределением решают на основе создания в системе резервных емкостей, используемых для покрытия в различных точках системы возросших потребностей в воде на время, пока они не начнут покрываться за счет увеличения водозабора из источников орошения.

Как известно, скорость течения воды в каналах в общем невелика; она ограничивается снизу скоростью, предотвращающей интенсивное заиливание, а сверху — скоростью, грозящей опасностью размыва откосов канала. Средние скорости, выбираемые в интервале граничных, зависят и от многих других факторов (общего расхода, глубины каналов, состава грунта или породы ложа канала, наличия и типа искусственного покрытия и др.). В необлицованных каналах наиболее распространены средние скорости движения воды — от 0,5 до 1,5 м/с. При таких скоростях транспортирование воды в открытых каналах очень медленное. В зависимости от расстояния между источниками водозабора и потребителем время «добегания» может составлять многие часы, а иногда и сутки.

В этих условиях возникшую в данный момент где-либо потребность в дополнительном расходе может покрыть лишь резервная емкость, расположенная вблизи места потребления. Система автоматического управления в этом случае может ускорить передачу команд управления, доведя время ее практически до нуля, но она не в состоянии ликвидировать транспортное запаздывание. Поэтому наличие резервной емкости в открытых каналах оросительных систем в принципе считают неизменным условием успешного управления водораспределением. Задача системы автоматического управления — создание оптимальных режимов и их стабилизация в условиях аккумуляирования и использования резервных емкостей для бесперебойного снабжения потребителей. При сравнительной оценке предпочтительнее те системы автоматического управления, которые выполняют водораспределение с меньшими резервными объемами при прочих равных условиях — сравнимых надежности, капитальных затрат и других технико-экономических показателей.

§ 5.2. Схемы автоматического регулирования режимов каналов

Рассмотрим отличительные особенности основных схем автоматического регулирования режимов каналов.

Схема автоматического регулирования по верхнему бьефу (ВБ). При регулировании по верхнему бьефу режим работы канала обеспечивают стабилизацией уровней ВБ перегораживающих сооружений, затворы которых являются исполнительными органами систем автоматического регулирования.

Обычно канал разбивают на отсеки, ограниченные перегораживающими сооружениями, которые принято называть бьефами канала.

Расположение кривых свободной поверхности в бьефе при различных расходах показано на рисунке 5.1. Кривая 4, параллельная дну канала, соответствует максимальному расходу канала Q_{\max} , горизонтальная кривая 2 — свободной поверхности при нулевом расходе $Q = 0$. Кривые свободной поверхности пересекаются в ВБ перегораживающего сооружения в точке $H = \text{const}$, образуя фигуру, называемую граничным треугольником, который определяет границы колебания уровней в бьефе при расходах в нем в пределах $0 \leq Q \leq Q_{\max}$.

Водовыпуски располагают по возможности ближе к ВБ перегораживающего сооружения, где колебания уровня минимальные, или в худшем случае, на таких расстояниях от ВБ, при которых обеспечивается нормальная работа водовыпускных сооружений.

При увеличении водозабора в одном из бьефов все вышерасположенные от него бьефы и их системы автоматического регулирования на это изменение не реагируют. Нижерасположенные перегораживающие сооружения, стремясь поддержать $H = \text{const}$, последовательно прикрываются, уменьшая этим поступающий ниже расход. Возникший в результате этого дефицит воды весь приходится на водозаборные сооружения, расположенные книзу от бьефа, в котором возникло возмущение. При уменьшении водозабора в одном из бьефов нижерасположенные перегораживающие сооружения последовательно открываются для пропуска неиспользованного расхода. Образовавшиеся излишки воды транспортируются последовательно через все бьефы до конечного сброса.

Таким образом, характерной особенностью системы регулирования по ВБ является отсутствие обратной гидравлической связи между бьефами, вследствие чего вышерасположенные бьефы не реагируют на изменения в нижерасположенных.

Образующиеся излишки воды в периоды водозабора менее планируемого в канале не накапливаются, а транспортируются до конца канала и сбрасываются.

Основная причина образования холостых сбросов воды — несогласованность водоподачи с труднопрогнозируемым водопотреблением. Один из способов согласования — создание на системе аккумулирующих емкостей, способных сглаживать расхождения между водоподачей и водопотреблением.

Рассмотренные режимы регулирования по ВБ относятся к

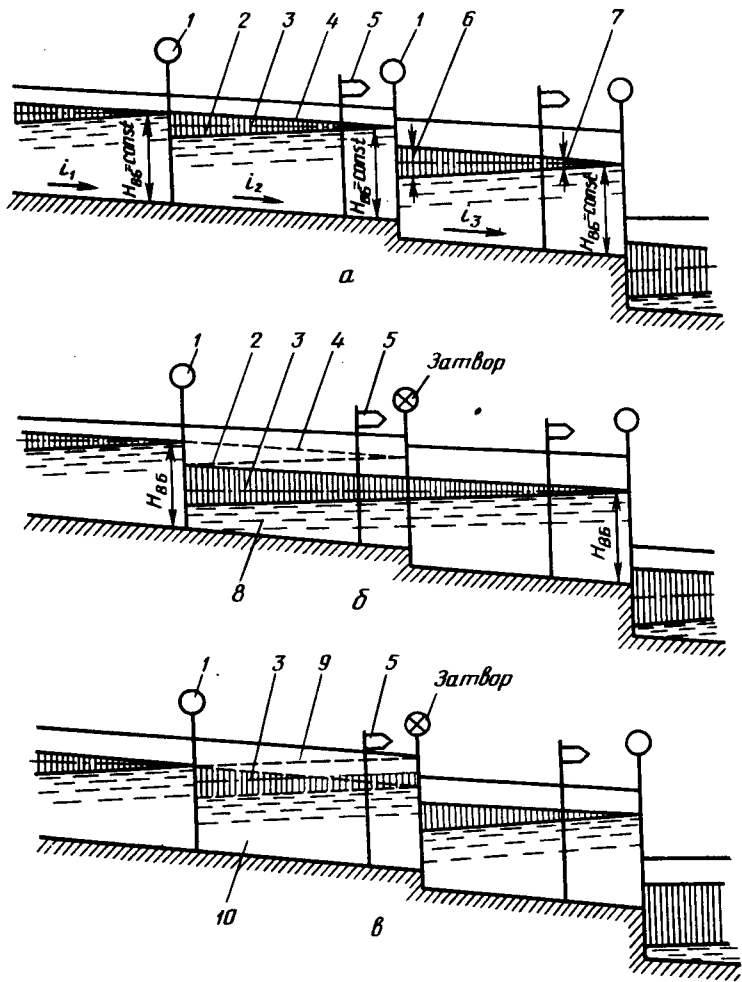


Рис. 5.1. Схема расположения кривых свободной поверхности в канале, регулируемом по ВБ при нормальной работе системы (а) и при аварийных режимах — затвор заклинен в открытом (б) и закрытом (в) положениях:

1 — перегородивающее сооружение; 2 — кривая свободной поверхности при $Q=0$; 3 — то же, для промежуточных расходов; 4 — то же, для $Q=Q_{\max}$; 5 — водовыпуск; 6 — максимальное колебание уровня; 7 — колебание уровня в створе водовыпуска; 8 — бьеф с потерей командования уровня воды над водовыпусками; 9 — уровень в канале при отсутствии сброса из бьефа; 10 — бьеф переполнения водой

условиям нормальной работы. Возникающие аварийные режимы показаны на рисунке 5.1, б и в.

Если из строя выходит перегородивающее сооружение, заклинивается в открытом положении затвор (см. рис. 5.1, б), нормальный уровень в этом бьефе не поддерживается, как пра-

вило, нарушается командование и потребители этого отсека не получают воды. Обычно забираемый ими расход транспортируется до конечного сооружения на сброс. Более опасна авария, когда затвор заклинивается в закрытом положении (см. рис. 5.1, в), когда бьеф канала переполняется, что может привести к разрушениям сооружений и дамб канала. Поэтому предусматривают специальные устройства, исключающие возможность переполнения бьефа.

Схема автоматического регулирования каналов по ВБ проста, достаточно надежна и ее широко применяют. Основные недостатки ее: неизбежность холостых сбросов при уменьшении водопотребления и в аварийных ситуациях, а также удовлетворение незапланированного расхода вышерасположенных потребителей за счет нижерасположенных.

Схема автоматического регулирования по нижнему бьефу (НБ). Такая схема обеспечивает работу канала посредством стабилизации уровней нижних бьефов перегораживающих сооружений. Расположение кривых свободной поверхности в бьефах (кривая 4, параллельная уклону дна бьефа, соответствует максимальному расходу Q_{\max} , кривая 2 — нулевому расходу $Q=0$) приведено на рисунке 5.2, а. Граничные кривые пересекаются в НБ перегораживающего сооружения, а образуемый ими треугольник определяет границы колебания уровней в бьефе при расходах $0 \leq Q \leq Q_{\max}$.

Отличительная особенность схемы регулирования по нижнему бьефу — накапливание в бьефах резервных емкостей в периоды малого потребления и расходование их при увеличенных водозаборах.

Объем воды треугольника, ограниченный свободной поверхностью при данном расходе и поверхностью при Q_{\max} , как видно из рисунка 5.2, а, представляет собой резервный объем бьефа, называемый объемом регулирования. Схема регулирования по НБ реализуется благодаря наличию обратной связи: гидравлической — через подпоры между сооружениями или организованной электрической.

Благодаря этому любое изменение установившегося режима работы потребителей в одном из бьефов системы вызывает последовательную перестройку работы всех вышерасположенных бьефов до головного водозаборного сооружения включительно. При увеличении водозабора каким-либо потребителем перегораживающее сооружение, расположенное выше по течению, автоматически открывается, чтобы не дать понизиться уровню воды НБ. Возмущение, возникшее в этом бьефе, приводит к последовательной перестройке всех вышерасположенных сооружений, которые последовательно будут открываться.

Процесс регулирования распространяется до водозаборного сооружения и завершается подачей в систему дополнительного расхода.

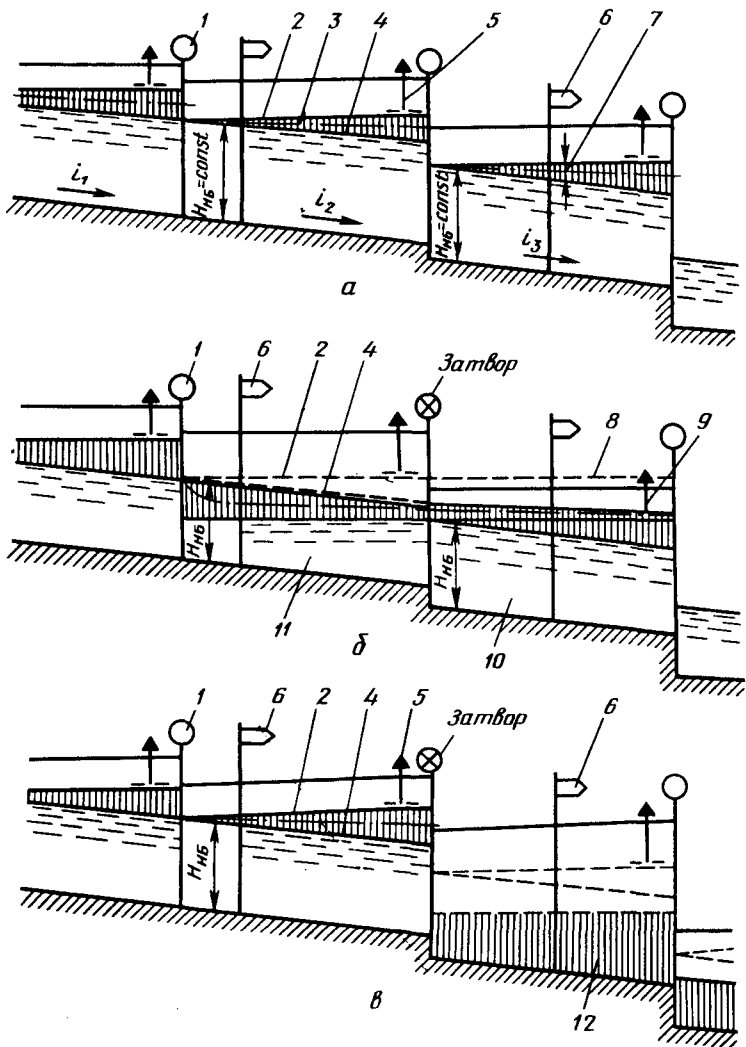


Рис. 5.2. Схема расположения кривых свободной поверхности в оросительном канале, регулируемом по НБ при нормальной работе системы (а) и при аварийных режимах — затвор заклинен в открытом (б) и закрытом (в) положениях: 1 — перегораживающее сооружение; 2 — кривая свободной поверхности при $Q=0$; 3 — то же, для промежуточных расходов; 4 — то же, для $Q=Q_{max}$; 5 — автоматический сброс; 6 — водовыпуск; 7 — колебания уровня в створе водовыпуска; 8 — кривая свободной поверхности при отсутствии сброса; 9 — автомат сброса (включен); 10 — бьеф переполнен водой; 11 — бьеф с потерей командования уровня воды над водовыпусками; 12 — бьеф опорожнения воды

При снижении потребления в каком-нибудь бьефе происходит обратная перестройка системы, при которой все вышерасположенные перегораживающие сооружения прикрываются. Перестройка заканчивается тем, что через головное сооружение в систему начинает поступать уменьшенный расход.

Систему регулирования по НБ применяют для снабжения водой по потребности. Режим изменяется за счет срабатывания или накопления резервной емкости. При регулировании по НБ в каждом бьефе сооружают водосбросы, предотвращающие перелив воды через борта данного бьефа, ибо в случае поступления в бьеф излишней воды она не транспортируется вниз по каналу и должна быть отведена через специально сооружаемый сброс. Переполнение бьефа имеет место в аварийных ситуациях — при поступлении ливневых вод и т. п.

Работа системы при аварийных режимах показана на рисунке 5.2, б и в. При отказе в работе перегораживающего сооружения с открытыми затворами (см. рис. 5.2, б) нижерасположенный бьеф переполняется и вода идет на сброс, потребители данного бьефа вследствие понижения в нем уровня могут лишиться командования. Вышерасположенные бьефы (до головного сооружения включительно) настраиваются на пропуск расхода Q_{\max} и питают сброс аварийного бьефа.

В случае аварии с закрытыми затворами перегораживающего сооружения в нижерасположенные бьефы вода не поступает, а ВБ продолжают работать нормально.

Преимущество системы регулирования по НБ — способность снабжать водопользователей по потребности без переборов, удовлетворяя возросшие требования, а в периоды уменьшенных расходов работать без холостых сбросов, накапливая в бьефах излишки воды.

Недостатки: необходимость строительства более глубоких каналов, опасность выпадения наносов при малых и нулевых скоростях в бьефах, необходимость сооружения в каждом бьефе аварийных сбросов; в лучших условиях по водообеспеченности находятся потребители, расположенные ниже по каналу (они получают воду в первую очередь).

Схема автоматического смешанного регулирования. Она обеспечивается посредством стабилизации уровней воды НБ и автоматического ограничения заданных максимальных и минимальных уровней в ВБ перегораживающих сооружений. Таким образом эта схема в определенной степени сочетает достоинства обеих рассмотренных схем и исключает их недостатки. Как показано на рисунке 5.3, кривые свободной поверхности при нормальных условиях работы располагаются, как в системах, управляемых по НБ. При $Q = Q_{\max}$ кривая 3 параллельна дну канала, при $Q = 0$ кривая 4 горизонтальна, при $0 < Q < Q_{\max}$ свободная поверхность занимает промежуточное положение б.

Как отмечалось, одним из недостатков схем регулирования

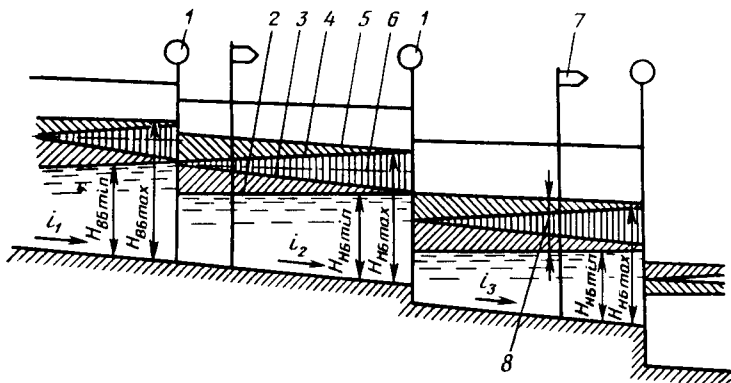


Рис. 5.3. Схема расположения кривых свободной поверхности в канале, регулируемом по способу смешанного регулирования:
 1 — перегораживающее сооружение; 2 и 5 — кривые свободной поверхности соответственно для $Q=0$ и $Q=Q$ катастроф при работе автомата по минимальному и максимальному уровням воды в ВБ; 3 и 4 — то же, для $Q=Q_{\text{max}}$ и $Q=0$ при работе автомата по НБ; 6 — то же, для промежуточных расходов; 7 — водовыпуск; 8 — колебание уровня в створе водовыпуска

по НБ является опасность переполнения бьефов и необходимость создания сбросных сооружений в каждом из них. В схеме смешанного регулирования при избыточном поступлении воды в бьеф система переключается на работу по принципу регулирования по ВБ, не допуская переполнения. В этом случае ниже-расположенный затвор перегораживающего сооружения открывается независимо от команды, получаемой с НБ, и стабилизирует заданный максимальный уровень ВБ. Избыточный расход сбрасывается последовательно из бьефа в бьеф вниз по каналу до конечного сброса. Необходимость в сбросных сооружениях в каждом бьефе, как и при схеме регулирования по ВБ, отпадает.

При поступлении воды в систему меньше суммарного потребления и уровнях в ВБ ниже минимальных затворы этих перегораживающих сооружений закрываются, стабилизируя минимальный уровень ВБ, несмотря на команду «Открыть», получаемую от НБ. Такому положению соответствует кривая свободной поверхности 2. Поддержанием минимальных уровней ВБ исключается их опорожнение и обеспечивается более равномерное распределение воды между бьефами.

Таким образом, эта схема приобретает дополнительные положительные качества по сравнению с регулированием по НБ. Очевидно, однако, что при этом система автоматического регулирования усложняется. Свойственные системе регулирования по НБ такие недостатки, как выпадение насосов, увеличение объемов строительных работ, повышение уровня воды при малых расходах, сохраняются и для схемы смешанного регулирования.

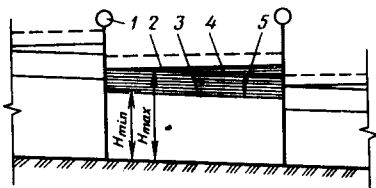


Рис. 5.4. Схема регулирования постоянными перепадами:

1 — перегородивающее сооружение с регулятором постоянных перепадов; 2 — свободная поверхность при $Q=0$; 3 — свободная поверхность при $Q_{расч}$; 4 — объем регулирования; 5 — дополнительный объем регулирования

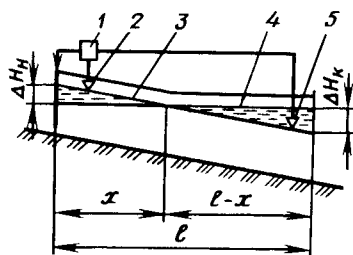


Рис. 5.5. Схема регулирования с переменными перепадами:

1 — регулятор соотношения уровней; 2 — датчик уровня в начале бьефа; 3 — свободная поверхность при $Q=Q_{расч}$; 4 — свободная поверхность при $Q=0$; 5 — датчик уровня в конце бьефа

В зависимости от конкретных условий применяют схему смешанного регулирования со стабилизацией только максимальных уровней.

Схема регулирования с постоянными перепадами. Эта схема обеспечивает режим работы канала посредством стабилизации постоянных гидравлических перепадов между уровнями верхнего и нижнего бьефов каждого из перегородивающих сооружений, а также участие в регулировании резервных объемов бьефов, расположенных по обе стороны от бьефа, в котором возникло возмущение. При этом схема сочетается с любым из рассматриваемых способов регулирования бьефа с обратной связью.

Кривые свободной поверхности, по которым видно, что для данной схемы регулирования уровни воды в бьефах каналов колеблются от минимума до максимума, а между ними образуется объем регулирования, приведены на рисунке 5.4. Поскольку автоматические регуляторы перегородивающих сооружений сохраняют при этом постоянные гидравлические перепады между нижними и верхними бьефами сооружений, происходит соответственно равномерное накопление или сработка резервных объемов воды во всех бьефах канала в периоды, когда водозабор меньше или больше расчетного. На рисунке показано сочетание регулирования постоянных перепадов с автоматическим переходом на стабилизацию уровня НБ при достижении им максимального значения и автоматическим переходом на стабилизацию уровня ВБ при достижении им максимального или минимального значений.

Для выполнения вышеприведенной программы на каждом перегородивающем сооружении устанавливают многофункциональный регулятор. Когда уровень воды в НБ перегородивающего сооружения снизится до минимального H_{min} , регулятор автоматически переключается на регулирование по НБ с возможностью

накопления резервного объема 5. Когда же уровень в ВБ перегораживающего сооружения достигнет максимального значения, регулятор автоматически переключается на стабилизацию этого уровня, не допуская переполнения бьефа. При этом затворы перегораживающего сооружения открываются, не реагируя на команду, получаемую со стороны НБ.

Если уровень в ВБ перегораживающего сооружения опустится ниже минимального, то регулятор также переключается на регулирование по ВБ и стабилизирует минимальный уровень, прикрывая затворы и не выполняя получаемую с НБ команду на открытие затворов.

Достоинства системы регулирования с постоянными перепадами: возможность создания увеличенных объемов регулирования в бьефах, а также участие всех бьефов в процессе регулирования. Кроме того, данная схема обладает всеми достоинствами системы смешанного регулирования. Однако перечисленные преимущества рассматриваемой схемы получают за счет увеличения объемов строительных работ и усложнения схемы регулирования. Поэтому применение этой схемы требует технико-экономического обоснования. Отметим, что, поскольку система предусматривает защиту от переполнения каналов, устройства автоматических сбросов из бьефов не выполняется, обязательно лишь устройство концевого сброса.

Схема регулирования с перетекающими объемами. При такой схеме регулирования обеспечивается автоматическое регулирование заданного соотношения уровней в начале и конце бьефа. Расположение кривых свободной поверхности в бьефе при этой схеме регулирования показано на рисунке 5.5. Кривая 3 свободной поверхности соответствует максимальному расходу Q_{\max} , кривая 4 — горизонтальной поверхности на заданной отметке при $Q = 0$. Этими поверхностями ограничиваются максимальное увеличение ΔH_k (м) и уменьшение ΔH_n (м) уровня в конце и начале бьефа. Сечение, в котором обе поверхности пересекаются, называют сечением стабилизированного уровня. Оно находится на расстоянии X (м) от вышерасположенного перегораживающего сооружения:

$$X = l \Delta H_n / (\Delta H_n + \Delta H_k),$$

где l — длина бьефа, м.

В первой части бьефа максимальная глубина устанавливается при наибольших, а во второй части бьефа, наоборот, при наименьших (нулевых) расходах (см. рис. 5.5). Потребителей, как правило, размещают во второй части бьефа, где накапливается резервный объем. Регулирование при этом осуществляют следующим образом.

С увеличением водозабора свободная поверхность во второй части бьефа понижается. Датчик уровня конца бьефа выдает соответствующий сигнал регулятору, и при нарушении заданного

соотношения $\Delta H_k / \Delta H_n$ формируется команда на открытие затвора перегораживающего сооружения начала бьефа. Затвор открывается, и подача увеличивается до восстановления заданного соотношения. При уменьшении водозабора свободная поверхность во второй части бьефа повышается, в регулятор поступает соответствующий сигнал, и в нем формируется команда на закрытие затвора. Затвор закрывается, уменьшая подачу расхода до восстановления заданного соотношения $\Delta H_k / \Delta H_n$. То же происходит последовательно во всех вышерасположенных бьефах. Рассматриваемую схему называют схемой с протекающими объемами потому, что процесс регулирования характеризуется перетеканием объема, заключенного между поверхностями при данном и нулевом расходах. Если перетекающий объем первой части бьефа вместе с объемом, поступающим в бьеф в процессе регулирования, больше объема регулирования при полном сокращении водозабора, то неизбежно возникает необходимость сброса излишнего количества воды. Следовательно, в каждом из бьефов нужно сооружать аварийные сбросы.

Существенное преимущество схемы с перетекающими объемами — сокращение регулируемых объемов и соответственно строительной глубины каналов. Увеличение строительной глубины бьефа в связи с размещением в нем резервного объема при $X=1/2$ в два раза меньше, чем в схеме регулирования по НБ. Поэтому схему регулирования с перетекающими объемами целесообразно применять на реконструируемых неавтоматизированных системах. За счет уменьшения сухой части бровки канала на реконструируемых системах часто создают регулирование с перетекающими объемами без производства больших объемов строительных работ.

Техническая реализация системы регулирования с перетекающими объемами и электрической обратной связью по радиоканалу осуществлена в УкрНИИГиМе.

Схема автоматического регулирования по постоянному объему. Во всех рассмотренных схемах автоматического регулирования режимов канала регулируемым параметром является уровень воды в бьефе. Отклонение его от заданного приводит в действие систему автоматического регулирования, чтобы ликвидировать отклонение.

Такой принцип регулирования, как было показано в § 2.2, называют регулированием по отклонению, для которого характерно начало работы регулятора после того, как накопление ошибки достигнет определенной величины. В системах автоматического регу-

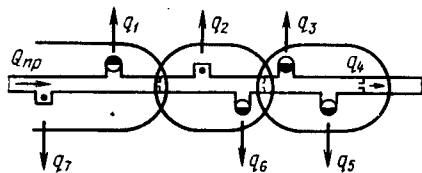


Рис. 5.6. Схема автоматического регулирования бьефа канала по возмущающему воздействию;

$Q_{пр}$ — расход притока; q_1, \dots, q_7 — расходы оттока (водовыпусков и насосных станций)

лирования по возмущению, при котором влияние возмущения ликвидируется непосредственно реакцией системы во возмущающее воздействие, этот недостаток отсутствует. Схема автоматического регулирования бьефа канала по возмущающему воздействию показана на рисунке 5.6. В данном случае алгебраически суммируют приток воды в бьеф, расходы воды, забираемые водопользователями, и переток в НБ:

$$Q_{пр} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7.$$

Положение затворов вышележащего перегораживающего сооружения зависит от возникшей разницы в расходах притока и суммы оттоков. Когда приток больше расхода, затвор прикрывается, и, наоборот, при отрицательном балансе затворы открываются. Такая система действует в направлении поддержания баланса между расходами, поступающими и забираемыми из бьефа. Объем воды в бьефе остается неизменным, и, следовательно, уровни в нем изменяться не должны. Регулирование, если счи-

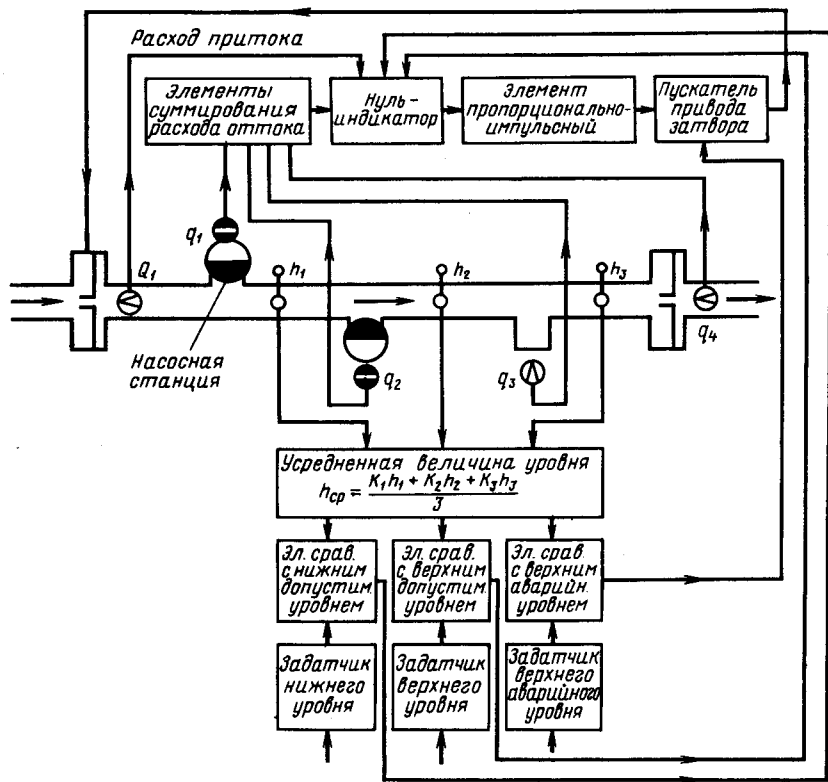


Рис. 5.7. Схема автоматического регулирования режима канала по расходу и уровню

тать, что используются электрические средства автоматического регулирования, начинается практически без всякого запаздывания по отношению к моменту возникновения возмущения (разбаланс расходов), то есть еще до того, как успеет измениться уровень — регулируемая величина в системе, действующей по отклонению. Однако практически схема регулирования по учетному возмущению не может считаться полной схемой регулирования по постоянному объему, так как изменение его может произойти по неучтенным возмущающим воздействиям, из-за возможных нарушений в системе регулирования по возмущению, а также накопленной со временем ошибки в регулировании. Чтобы нейтрализовать возможные ошибки, создают комбинированную систему, в которой воздействие на регулирующий орган (затворы) формируется как по возмущению (баланс расходов), так и по отклонению (уровню). Схема такой комбинированной системы регулирования (рис. 5.7) обеспечивает стабилизацию постоянного объема бьефа и поэтому ее называют схемой регулирования по постоянному объему. Если, несмотря на регулирование по возмущению, произойдет отклонение уровня от заданных предельных значений, то затворы перегораживающего сооружения ликвидируют это несоответствие.

Режим работы канала со схемой регулирования по постоянному объему в определенной степени приближается к режиму трубопровода, в котором сумма притока равна сумме оттоков.

Сводная характеристика рассмотренных схем автоматического регулирования режимов канала приведена в таблице 5.1. Как видно, наиболее перспективным направлением совершенствования схем водораспределения в открытых каналах является комбинированное регулирование по возмущению и отклонению. Однако эти схемы сложнее и дороже.

§ 5.3. Схемы автоматического регулирования режимов закрытых водоводов

В большинстве случаев водоводами оросительных систем служат открытые каналы. При больших расходах особенно транспортирующую часть системы по технико-экономическим соображениям сооружают открытой. Капитальные затраты на сооружение открытых каналов меньше затрат на строительство трубопроводной сети. Учитывается также дефицитность трубопроводов, особенно больших диаметров.

Для оросительных систем ручного управления это положение почти всегда справедливо. Однако капитальные затраты на сооружение каналов с автоматическим управлением существенно возрастают. Автоматическое управление водораспределением в открытых каналах сопряжено с увеличением строительной глубины каналов, использованием большого числа автоматизированных сооружений, системы управления ими и контроля их работы. Дополнительные затраты связаны также с расходами на электро-

5.1. Характеристика схем автоматического регулирования режимов каналов

Схема регулирования	Регулируемый параметр	Характерные особенности схемы
По ВБ	Уровень ВБ перегораживающего сооружения	Отсутствует обратная связь между бьефами. На возникающие в каком-либо бьефе возмущения реагируют только нижележащие бьефы
По НБ	Уровень НБ перегораживающего сооружения	Существует обратная связь между бьефами. При возникновении возмущения в каком-либо бьефе реагируют все вышележащие бьефы
Смешанного	Уровень НБ перегораживающего сооружения. Ограничение максимальных и минимальных уровней ВБ перегораживающего сооружения	При нормальном режиме регулирования осуществляется по НБ, при аварийных — по ВБ
С постоянными перепадами	Перепад уровней между бьефами перегораживающего сооружения в сочетании с регулированием по второй или третьей схеме	Действуют прямая и обратная связи между бьефами. На возмущение в каком-либо бьефе реагируют все бьефы, расположенные по обе стороны от него
С перетекающими объемами	Соотношение уровней в начале и конце бьефа	Действует обратная связь между бьефами
По постоянно-му объему	Баланс расходов (притока и оттока). Уровень НБ	Быстродействие системы регулирования

снабжение регулируемых объектов. Большое значение имеет надежность системы управления водораспределением. Закрытые водоводы по сравнению с открытыми имеют следующие преимущества: отсутствуют потери воды на испарение и фильтрацию, исключаются загрязнения, развитие водной растительности, гораздо меньше заиливание, транспортирующая сеть в ряде случаев значительно короче, просты и надежны водовыпускные устройства и системы управления водораспределением в целом.

Технико-экономическая оценка с учетом всех перечисленных факторов показывает, что в ряде случаев целесообразно применять вместо открытой сети целиком закрытую либо смешанную систему водоводов, особенно при водораспределении по потребности, с большим числом точек выдачи воды и при сравнительно небольших общих расходах.

Поэтому в ряде случаев предпочитают сооружать полностью закрытые или смешанные оросительные системы, а по мере развития производства труб закрытые системы будут получать все более широкое распространение.

Рассмотрим простейшую схему автоматического управления водораспределением в закрытых водоводах.

Схема регулирования по НБ на закрытых самонапорных во-

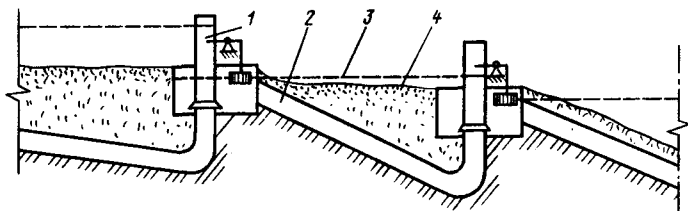


Рис. 5.8. Схема регулирования по НБ на закрытых самонапорных трубопроводах:

1 — регулятор уровня воды в бассейне; 2 — трубопровод; 3 — линия статического напора; 4 — поверхность земли

доходах показана на рисунке 5.8. Схема построена на принципе гидравлической подачи по НБ и осуществлена путем создания промежуточных бассейнов и установкой в них регуляторов НБ. Бассейны, имея свободную поверхность воды, соприкасающуюся с атмосферой, являются прерывателями напора и позволяют применять низконапорные трубы. Одновременно бассейны служат местом отвода воды из довода и регулирующей емкостью при выдаче ее потребителям.

Бассейны оборудуют устройствами — регуляторами НБ — в конце каждого участка трубопровода для сброса воды при их переполнении. Обратная связь осуществляется за счет свободных статических напоров в трубопроводах. На рисунке в качестве примера показан регулятор прямого действия, принцип работы которого основан на уравнивании цилиндрического затвора и поплавка-противовеса. При повышении уровня воды в НБ поплавок всплывает, при этом нарушается равновесие системы и цилиндр перекрывает выходное отверстие. Уровень воды стабилизируется.

Преимуществами приведенной схемы регулирования по НБ, помимо всех достоинств закрытых напорных трубопроводов, являются возможность применения низконапорных труб при больших уклонах местности, небольшие объемы регулирования в бассейнах (вследствие практически мгновенной обратной связи между бассейнами), использование чисто гидравлического принципа регулирования.

Широкое применение трубопроводная сеть находит на системах с поливом дождеванием и на внутрихозяйственной сети с поверхностным поливом (см. гл. 9).

§ 5.4. Выбор системы автоматизации водораспределения

Водораспределение — основной оперативный режим, который выполняется при эксплуатации оросительной системы. Процесс водораспределения должен быть планируемым, управляемым, контролируемым и документально фиксируемым (водоучет). Должны

быть категорически исключены неконтролируемые и несанкционированные водозаборы и непроизводительные сбросы.

Автоматизация водораспределения должна стать преградой расточительному, неэкономному использованию водных ресурсов. При составлении проектов оросительных систем составной частью проекта является схема регулирования режима канала и система ее автоматизации. Если схема оросительной системы составлена без учета автоматизации водораспределения, то последующее внедрение ее, как правило, требует дорогостоящей капитальной реконструкции. Объясняется это тем, что, как было установлено, каждая схема определяет необходимую для ее осуществления строительную глубину каналов, размещение перегораживающих и иных гидротехнических сооружений, а также их типы, включая устройства автоматического управления.

С другой стороны, природные условия — рельеф местности, уклоны по трассе каналов — определяют возможность и целесообразность осуществления той или иной схемы (в частности, сооружение водохранилищ, аварийных сбросов, повторное использование вод и т. д.). Большое значение при выборе схемы регулирования каналов имеет подача воды потребителям, которая, в свою очередь, связана с принятым способом и техникой полива. Принимая схему автоматизации, учитывают наличие всех необходимых для ее реализации технических средств, соответствующую надежность, а также возможность последующего совершенствования технологии полива и техники управления оросительной системой в целом.

Таким образом, оросительную систему, регулирование режимов каналов и систему автоматизации водораспределения нужно проектировать одновременно, комплексно, как единое целое. При выборе способа регулирования режима канала, помимо учета индивидуальных особенностей каждой конкретной оросительной системы, руководствуются следующими общими соображениями.

Системы автоматического управления водораспределением с регулированием по верхнему бьефу находят широкое применение как надежный и традиционный способ управления водораспределением. Его недостаток при ручном управлении — неизбежность холостых сбросов, достигающих 15...20 % общего стока. Поэтому необходимо максимально уменьшить эти сбросы и организовать их последующее использование. Наибольшее применение схема регулирования по ВБ находит при нормированном способе обеспечения потребителей водой.

В нашей стране на орошаемых землях с поверхностным способом полива осуществляется преимущественно плановое водопользование с нормированной водоподачей. Применяя в этом случае нормированное водораспределение, руководствуются стремлением соблюдать установленные поливные нормы, экономить воду и сохранять хорошее состояние орошаемых земель. Наиболее правильный режим нормированного водораспределения — выде-

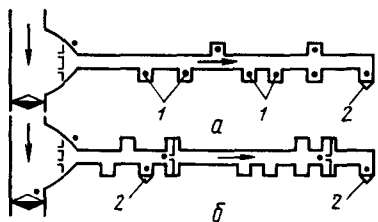


Рис. 5.9. Схемы автоматизации водораспределения при регулировании по ВБ:

а — с затворами-автоматами постоянного расхода; б — с затворами-автоматами ВБ и тарированными водовыпусками; 1 — сооружения, работающие в автоматическом режиме; 2 — сбросы

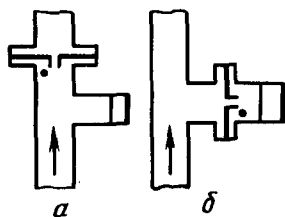


Рис. 5.10. Варианты размещения тарированного водовыпуска:

а, б — соответственно с перегородивающими сооружениями-автоматами уровня ВБ и НБ

ление хозяйству или его части постоянного непрерывного тока воды. Потребитель при этом в пределах отпущенного ему лимита поддерживает водооборот (подача воды по очереди) сосредоточенным поливом. Через сутки поливной ток переключают на следующий участок, а на политой площади спустя 24...48 ч проводят междурядную обработку.

Таким образом, нормированная водоподача, как правило, автоматизируется до водовыпусков потребителей включительно. В звеньях системы потребитель распределяет воду по своему усмотрению.

Применение схем регулирования по ВБ целесообразно сочетать с созданием на системе регулирующих емкостей. При наличии таких емкостей сбросные воды аккумулируются и используются для орошения нижележащей части системы. Кроме того, за счет создания промежуточной емкости в конце транзитной части системы расход воды в ней может быть принят меньше максимального, задаваемого суммарным графиком водопотребления. Соответствующее расположение регулирующих емкостей позволяет применять схему регулирования по ВБ не только при нормированном способе водораспределения, но и для водоснабжения по потребности. Варианты схем оросительной сети с автоматизацией водораспределения по ВБ приведены на рисунке 5.9. Здесь головное сооружение оборудуют автоматическим регулятором, который обеспечивает подачу в систему заданного расхода воды независимо от колебания уровня и расхода в источнике водозабора.

Поданное количество воды распределяется между водопользователями в соответствии с планом водопользования. Нормированное водораспределение в отводы при условии автоматического регулирования режима канала осуществляют различными способами.

1. Боковые водовыпуски оборудуют затворами-автоматами постоянного расхода (рис. 5.10, а), которые обеспечивают подачу

в отводы постоянных расходов независимо от возможных колебаний (в определенных пределах) уровня воды в верхнем и нижнем бьефах каналов. Расход в этом случае однозначно определяется положением (степенью открытия) затвора. При этом отпадает необходимость в специальных измерительных устройствах расхода на водовыпусках, что является достоинством этого варианта автоматизации, поскольку количество информации управления и потребное число приборов уменьшаются, и система автоматизации упрощается, становясь более надежной.

При установке затворов-автоматов постоянного расхода в некоторых случаях в целях ограничения колебания уровня ВБ может оказаться необходимой установка дополнительных перегородивающих сооружений. В этом случае сравнивают варианты создания дополнительного перегородивающего сооружения или устройства на канале младшего порядка перед регулятором расхода сооружения с автоматическим регулятором уровня НБ, заменяющего перегородивающее сооружение на канале старшего порядка (рис. 5.10, б). Последний вариант в ряде случаев, особенно когда расход канала младшего порядка много меньше расхода старшего, оказывается более целесообразным.

2. В качестве водовыпусков в младшие каналы устанавливают протарированные щитовые или трубчатые водовыпуски (см. рис. 5.10, б), перед которыми поддерживают уровни, необходимые для обеспечения командования и подачи в отводы установленных расходов с допустимой погрешностью до $\pm 5\%$.

Расчеты показывают, что расход щитового водовыпуска меняется вдвое медленнее напора. Действительно, формула расхода для щитовых водовыпусков имеет вид

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

где μ — коэффициент расхода; ω — площадь живого сечения водовыпуска; H — действующий напор.

Относительное изменение расхода $dQ/Q = dH/2H$.

Таким образом, для того чтобы погрешность Q расхода щитового водовыпуска не превышала $\pm 5\%$, колебания напора должны быть не более $\pm 10\%$ расчетного значения.

Водовыпуски могут работать в режиме свободного (незатопленного) и несвободного (затопленного) истечения в НБ.

В первом случае действующий напор H равен напору над порогом водовыпуска и определяется лишь уровнем воды в канале старшего порядка перед водовыпуском. Во втором случае действующий напор H определяется разностью уровней в верхнем и нижнем бьефах водовыпуска, то есть зависит от уровней воды в канале как старшего порядка, так и младшего. Если на всем диапазоне расходов обеспечено свободное истечение в НБ и уровень воды перед водовыпуском поддерживается перегородивающим сооружением с точностью не менее $\pm 10\%$, то, как следует из приведенной формулы, расход водовыпуска определяется лишь

степенью открытия затвора. При этом, так же как и в первом варианте автоматизации, отпадает необходимость в специальных измерительных приборах расхода. Незатопленное истечение из водовыпуска обеспечивают соответствующим конструктивным исполнением сооружения, в частности устройством специального криволинейного порога (см. § 6.3).

Специальные приборы для измерения расхода можно не устанавливать, если водовыпуск, перед которым уровень ВБ поддерживается с погрешностью не более $\pm 10\%$, при всех расчетных расходах работает в режиме постоянного затопленного истечения, а уровень в его НБ не подвержен влиянию переменного подпора и спада от нижерасположенных сооружений и зависит лишь от расхода водовыпуска. Установив для такого водовыпуска тарировочную зависимость $Q = f(h_{\text{из}})$, необходимые расходы обеспечат и измеряют степенью открытия щита. Лишь в тех случаях, когда водовыпуски работают с затопленным истечением и переменным режимом НБ, они должны быть оборудованы специальными измерительными приборами расхода. Избежать установку специальных измерителей расхода можно, если отказаться от этого режима работы.

Число и расположение перегораживающих сооружений на канале старшего порядка зависят от многих факторов. Обычно их определяют при проектировании оросительной системы. При этом может оказаться экономически целесообразным сочетание обоих вариантов рассмотренных схем автоматизации водораспределения. На участке канала в зоне влияния перегораживающего сооружения, где уровни поддерживаются с точностью не менее $\pm 10\%$, устанавливают тарированные щитовые водовыпуски, где уровни поддерживаются с меньшей точностью, — затворы-автоматы постоянного расхода.

Системы автоматизации водораспределения с регулированием по нижнему бьефу используют, когда необходимо создать режим водораспределения с более гибкой системой обеспечения потребителей водой, чем нормированное водораспределение. Как правило, система регулирования по НБ по сравнению с системой регулирования по ВБ усложняет и повышает стоимость строительства, поэтому ее применение основано на технико-экономическом анализе.

Такую схему регулирования наиболее часто используют на оросительных системах при поливе дождеванием, по агрометеопараметрам и в других случаях, когда требуется водораспределение по потребности. В районах Поволжья, на Украине, Северном Кавказе, в Молдавии и некоторых других орошение базируется преимущественно на поливе дождеванием из закрытой групповой сети, регулирование которой осуществляют по НБ.

Водораспределение по НБ применяют и при поверхностном способе полива, стремясь полностью исключить холостые сбросы, особенно при наличии в системе дефицита воды или высокой ее

стоимости, характерной для оросительных систем с машинным водоподъемом на большую высоту. Более гибкое водораспределение при поверхностном поливе, чем при жестком нормированном водораспределении, оправдано при совершенствовании технологии поверхностного полива, разработке водосберегающих технологий полива по гидрометеопараметрам.

Регулирование водораспределения по НБ обычно организуют таким образом. На перегораживающих сооружениях и на головном водозаборном узле устанавливают аппаратуру и оборудование для автоматического регулирования их по НБ. Водовыпуски из канала более старшего порядка в каналы младшего порядка оборудуют системами автоматической стабилизации уровня НБ или автоматическими регуляторами расхода (в зависимости от назначения канала низшего порядка — для подачи воды по потребности или для регулирования по ВБ). Типы сбросных сооружений из бьефов каналов должны обеспечивать сброс воды без потребности в посторонних источниках энергии.

Системы автоматизации водораспределения при смешанном регулировании режима канала применяют, когда местные условия не позволяют устраивать сбросы в каждом из бьефов или когда устройство сбросов в бьефах возможно, но по технико-экономическим соображениям целесообразнее обеспечить перепуск аварийных расходов последовательно по бьефам до конечного сброса. Обычно на регулирование по ВБ переходят, когда максимальный уровень воды в нем превышает 5 см, а также при понижении минимального уровня воды на 5 см.

Регуляторы смешанного типа сложнее регуляторов по НБ, поэтому область их применения ограничивают, как правило, каналом старшего порядка, а водовыпуски в младшие каналы оборудуют регуляторами НБ, обеспечивая пропуск аварийных расходов через конечной сброс канала старшего порядка. Однако не исключается установка на некоторых водовыпусках младших каналов также регуляторов смешанного типа с использованием их для пропуски части аварийных сбросов.

Системы автоматизации водораспределения при регулировании с перетекающими объемами целесообразно применять на реконструируемых объектах, поскольку требуемая строительная глубина бьефов по этой схеме меньше, чем по схеме регулирования по НБ. Общий объем работ по сооружению каналов существенно уменьшается. Водовыпуски в каналы низшего порядка применяют в соответствии с принятой на них схемой регулирования: при нормированном водоснабжении — с автоматическими регуляторами расхода; при водоснабжении по потребности — с автоматическими регуляторами уровня НБ.

Система автоматизации водораспределения на канале с регулированием перетекающими объемами требует оборудования всех перегораживающих сооружений автоматическими регуляторами соотношения уровней с электрической обратной связью. Головное

сооружение регулируется по НБ. Так как в этой системе бьефы не имеют защитных устройств от переполнения их, то, как правило, предусматривают аварийные сбросы из каждого бьефа.

Системы регулирования с постоянными перепадами и комбинированного регулирования по возмущению и отклонению применяют в случаях частых колебаний потребности в воде при больших расходах. Примером может служить оросительная сеть водоподачи к дождевальным машинам «Кубань» (см. § 9.23). Одновременно отметим, что эти системы пока не находят широкого применения, так как отсутствуют необходимые комплекты технических устройств для этих систем.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие процессы называют водораспределением в оросительных системах?
2. Для какой цели создают системы автоматического регулирования и какие задачи они выполняют?
3. Перечислите известные Вам схемы автоматического регулирования режимов каналов и чем они отличаются?
4. Охарактеризуйте оросительный канал как объект регулирования.
5. Какую роль играет автоматизация водораспределения в экономии оросительной воды?
6. Расскажите об известных Вам отличительных особенностях регулирования по верхнему и нижнему бьефам.
7. Что характерно для схемы регулирования с постоянными перепадами и в каких случаях ее применяют?
8. Какую схему регулирования называют схемой с перетекающими объемами и в каких случаях ее применяют?
9. Нарисуйте схему автоматического регулирования режима канала по отклонению и возмущению.
10. В чем преимущество автоматизации водораспределения в закрытых водоводах перед открытыми?
11. Что характерно для схем автоматизации водораспределения с постоянными перепадами?
12. Какая связь между способом выдачи воды потребителям и схемой автоматизации водораспределения?

Глава 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

§ 6.1. Основные требования к гидротехническим сооружениям системы автоматизации водораспределения

Регулирующие гидротехнические сооружения водораспределения предназначены для создания необходимых режимов в каналах гидромелиоративных систем и регулирования расходов воды, подаваемой потребителям. По назначению их делят на головные водозаборные, водовыпускные, вододелительные, перегораживающие и водосбросные сооружения.

Головные водозаборные сооружения предназначены для забора воды из источников орошения и подачи ее в магистральные каналы. *Перегораживающие сооружения* призваны поддерживать

в отсеках канала необходимые уровни, требующиеся для обеспечения командования и выдачи воды в нижележащие каналы с заданной точностью. *Вододелительные сооружения* делят подведенную к ним воду в определенных пропорциях и направляют ее в несколько каналов. *Водосбросные сооружения* предотвращают аварийное переполнение каналов, сбрасывая излишки воды; их используют также для полного опорожнения оросительной сети.

Ниже рассмотрена автоматизация гидротехнических сооружений на открытых каналах. На закрытой трубопроводной сети водораспределение обеспечивается при помощи соответствующей трубопроводной арматуры, принцип действия которой, конструктивные особенности и схемы управления ее изложены в § 9.8.

Гидротехнические сооружения с плоскими затворами применяют с давних времен, и они наиболее распространены. Наряду с этим увеличивается использование вододействующих затворов различных типов и конструкций. Затворы выбирают с учетом их основных характеристик (пропускная способность, гидравлические режимы работы, условия пропуска наносов и плавающих тел, тип уплотнения и фильтрации через них, стоимость затвора, его материалы и технологичность изготовления). Затворы автоматизированных систем должны удовлетворять ряду специальных требований, связанных с их регулировочными свойствами и эксплуатацией без наличия на них постоянного персонала. Зачастую при выборе автоматизированных затворов дополнительные требования становятся определяющими. Прежде всего автоматизированный затвор должен обладать несравнимо более высокой надежностью. При маневрировании затвором с места его установки персонал может ликвидировать возникающие неполадки, при автоматизации обслуживающий персонал на месте отсутствует. Для целей автоматизации затворы должны быть снабжены дистанционно управляемыми подъемными механизмами, системой телемеханизации для обеспечения телеуправления, телеконтроля и телеизмерения. Должны быть установлены датчики и контрольно-измерительные приборы, в том числе для водоучета. При технико-экономической оценке автоматизированного затвора стоимость собственно гидротехнического сооружения с его затворами ручного управления по сравнению с другими составляющими стоимости автоматизированного затвора уже не является определяющей. Поэтому применение автоматизированных затворов требует тщательного технико-экономического обоснования выбранного типа затвора.

В гидромелиоративных системах наибольшее распространение получили плоские затворы с пропускной способностью до $2 \text{ м}^3/\text{с}$ (в дальнейшем будем называть их небольшими затворами), свойства которых во многом определяют качество системы автоматизации линейного водораспределения в целом. Опыт установки таких затворов с электрифицированными подъемными механизмами в условиях диспетчерского управления показывает недостаточную их надежность. Объясняется это в первую очередь недостаточно

тщательным выполнением на этих массовых сооружениях строительно-монтажных работ, из-за чего возникают перекосы в пазах. Кроме того, в пазы набиваются различные плавающие предметы и мусор, что также способствует их заклиниванию. Таким образом, ввиду относительно тяжелых условий маневрирования скользящие затворы оказываются недостаточно надежными. Имеется опыт использования на небольших затворах взамен скользящих — колесных затворов. Они более долговечны и надежны, в них коэффициент трения покоя мало чем отличается от коэффициента трения движения. При их конструировании решают задачу получения равномерного распределения нагрузки между опорно-ходовыми колесами и уменьшения подъемно-посадочных усилий. При этом должна быть обеспечена защита втулок колес от загрязнения, чтобы избежать их заклинивания. Однако стоимость колесных затворов больше стоимости скользящих, и они сложнее в изготовлении.

Крупных гидротехнических сооружений на гидромелиоративных системах значительно меньше. Как правило, они концентрируются в немногих местах. Хотя степень ответственности крупных сооружений велика, при их автоматизации возникает меньше технических трудностей, чем при автоматизации небольших затворов. Объясняется это главным образом более совершенной конструкцией крупных затворов, а также наличием на больших гидроузлах источников электроэнергии. Для крупных затворов наряду с электрическими применяют также масляный гидропривод.

Конкурентоспособными плоским затворам в автоматизированных системах являются затворы гидравлического действия, рассматриваемые в § 6.3.

§ 6.2. Подъемные механизмы плоских затворов

Плоские затворы снабжают ручными или электрифицированными подъемными механизмами. Усилие, необходимое для подъема плоского затвора: $F = G + T$, где G — вес затвора; T — сила трения в пазах. Как правило, $T > G$, вследствие чего скользящие затворы требуют значительных усилий не только при подъеме, но и при опускании и поэтому их оборудуют винтовыми подъемными механизмами. Здесь тяговым органом служит поступательно движущийся грузовой винт с трапецеидальной резьбой, нижний конец которого соединен с затвором, а верхний — ввинчен в грузовую гайку (рис. 6.1), приводимую во вращение электродвигателем 4 (или ручную) через редуктор 5. На кожухе грузового винта размещен датчик 2 положения затвора для местного отсчета и для измерения положения подъемника с диспетчерского пункта. Для защиты грузовых винтов от продольного изгиба при перегрузке механизм оснащен электромеханическим грузовым реле. Конструкция винтового подъемника предусматривает возможность ручного подъема (опускания) затвора при помощи рукоятки 6.

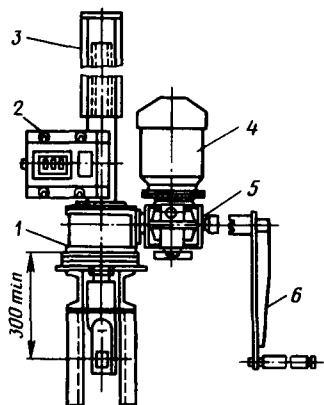


Рис. 6.1. Винтовой подъемник ЭВ 2,5:

1 — узел грузовой части; 2 — датчик положения затвора; 3 — кожух грузового винта; 4 — электродвигатель; 5 — редуктор; 6 — ручной аварийный привод

Марка подъемника модели В-83 расширяется следующим образом: цифры впереди — тяговое усилие подъемника (кН), буквы «В» и «ВД» — одновинтовой с ручным приводом или двухвинтовой с ручным приводом; буквы «ЭВ» или «ЭВД» — одновинтовой или двухвинтовой соответственно (оба с электроприводом). Основные технические данные электрифицированных подъемников серии В-83 с тяговым усилием до 20 кН приведены в таблице 6.1.

Для электропривода винтовых подъемных механизмов применяют асинхронные короткозамкнутые двигатели с повышенным скольжением.

Мощности электродвигателей подъемных механизмов в зависимости от их тягового усилия приведены в таблице 6.1. (Подробно расчет мощности электропривода смотри в книге М. З. Ганкина «Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем. —

М.: Колос, 1965.) Следует иметь в виду, что расчет мощности электропривода подъемного механизма, несмотря на его сравнительную простоту, приблизителен. При расчете трудно точно определить силу трения, отличающуюся непостоянством, учесть дополнительное сопротивление действию подъемных механизмов от попадающих в пазы плавающих в воде растительности и других посторонних предметов. Кроме того, при недоста-

6.1. Основные технические данные электрифицированных подъемников В-83

Марка подъемника	Усилие, кН			Напор H , м
	тяговое Т	посадочное П	дожимное Д	
1ЭВ	10	10	12	2,93
2,5ЭВ	25	25	30	3,65
5ЭВ	50	50	60	4,2
5ЭВ	2×25	2×25	2×30	3,65
10ЭВ	100	100	120	4,9
10ЭВД	2×50	2×50	2×60	4,2
20ЭВД	200	200	220	5,5
20ЭВД	2×100	2×100	2×120	4,9

точно тщательном выполнении строительно-монтажных работ на сооружениях возникают перекосы пазов. Поэтому, исходя из реальных условий, в целях компенсации возможных погрешностей мощность электропривода по сравнению с расчетной увеличивают.

При автоматизации следует предъявлять повышенные требования к качеству строительства гидротехнических сооружений. Необходимо обеспечить строгую параллельность направляющих пазов, правильно установить закладные части и подъемные механизмы. Надежность функционирования системы автоматизации в большой степени зависит от качества выполнения строительно-монтажных работ на всех автоматизируемых сооружениях, включая как крупные, так и более мелкие.

При выборе электродвигателя выдерживают определенное соотношение между его максимальным моментом и расчетной нагрузкой. Выбор двигателя с моментом, значительно бóльшим, чем обусловлено нагрузкой, может вызвать необходимость повышения прочности механизма. Обычно прочность проверяют по нагрузке, соответствующей максимальному моменту двигателя. Если отношение между максимальным моментом и номинальной нагрузкой не превышает 1:2,5, то это соответствует обычным запасам прочности, принятым для конструирования подъемных механизмов. Двигатель с заниженным моментом может не обеспечить надежную работу затвора. Соотношение между максимальным моментом двигателя и расчетной нагрузкой определяют по формуле

$$M_{\max} = M_{\text{ст}} 1,4 (1/0,85)^2 \cong 1,95 M_{\text{ст}},$$

где $M_{\text{ст}}$ — максимальный статический момент нагрузки.

Формула получена на основании следующих соображений:

Электропривод				Продолжительность подъема на 1 м, мин	
марка двигателя	мощность, кВт	кратность пускового тока	частота вращения, мин	с помощью электропривода	вручную
4AC71A6VI	0,4	4	920	8	3
4AC71B6VI	0,63	4	920	8	7
4AC80B6VI	1,2	4	860	8	15
4AC80B6VI	1,2	4	860	5	9
4AC906VI	1,7	6	900	5	20
4AC906VI	1,7	6	900	5	19
4AC1006VI	2,6	6	920	6	33
4AC1006VI	2,6	6	920	6	40

при пуске электродвигателя допускается снижение напряжения до 85 % номинального. При этом максимальный момент, пропорциональный квадрату напряжения, снижается до 72 %. Поэтому, чтобы обеспечить уверенный разгон механизма, максимальный момент принимают выше максимального момента статической нагрузки на 40 %. Для двигателей, в которых пусковой момент ниже максимального, полученное соотношение относят не к максимальному, а к пусковому моменту. Особенно это необходимо учитывать для короткозамкнутых электродвигателей, пусковой момент которых зачастую ниже максимального.

Скорости маневрирования затворами, оснащенными подъемниками модели В-83, приняты от 0,125 до 0,2 м/мин, что удовлетворяет условиям, при которых обеспечиваются устойчивость и качество автоматического регулирования. Более высокие скорости усложняют автоматическое регулирование и снижают точность отработки задания. Увеличение скорости до 1 м/мин и более допускают лишь для затворов аварийного сброса, а также установленных в местах, где возможны быстрые изменения режима. Минимальная мощность электропривода подъемника с тяговым усилием 10 кН составляет 0,4 кВт (см. табл. 6.1). Уже при такой мощности электродвигателя централизованное электроснабжение их, как правило, осуществляют напряжением 6...10 кВ. Для этого вдоль оросительного канала прокладывают высоковольтную линию электропередачи и у каждого гидротехнического сооружения устанавливают понижающую трансформаторную подстанцию. Такая система электроснабжения существенна в общей стоимости автоматизированного сооружения.

Плоские затворы на большие тяговые усилия, применяемые на крупных гидротехнических узлах, выполняют колесными. В них, как указывалось ранее, сила трения по сравнению со скользящими уменьшается в несколько раз, меньше вероятность заклинивания и соответственно выше надежность работы. Применяют также конструкции плоских затворов с клапанами, укрепленными на основном затворе, вращаемых вокруг горизонтальной оси. Клапаны служат для пропуска льда, шуги и мусора и более точного регулирования, снабжены индивидуальным приводом и управляют ими независимо от основного затвора. Ими регулируют сбросы и поддерживают заданный уровень ВБ при нормальных расходах. Основными затворами маневрируют реже, в случае паводковых и других форсированных расходов открывают перекрытые или водосливные отверстия. Часто применяют сдвоенные затворы. Они состоят из верхнего и нижнего щитов, управляемых независимо. Верхний щит опускается ниже уровня ВБ. Ими регулируют уровень ВБ и сбрасывают мусор, шугу и лед. Нижний щит перемещается вверх и служит для пропуска воды из-под него.

Для затворов с тяговым усилием более 200 кН подъемные механизмы с электромеханическим приводом используют редко, чаще применяют гидравлические масляные приводы. Одна из схем уп-

равления масляным гидравлическим приводом приведена на рисунке 6.2. Плоский затвор 1 связан с подвижным цилиндром 2, внутри которого находится неподвижный шток 3, жестко закрепленный на опорной конструкции 4. Нижняя часть штока является поршнем, разделяющим цилиндр на две части. Внутри штока имеются две концентрические изолированные одна от другой полости. Центральная полость сообщается с пространством под поршнем, а внешняя кольцевая через окно *a* соединена с пространством над поршнем. Для управления приводом (группой приводов) применяют маслonaпорную установку (МНУ), в которой масло находится под давлением. Для поднятия затвора включают соленоид *CB*, масло под напором подается в золотник 5 и поступает через окно *б* в кольцевую полость штока привода. Через окно *в* золотника 5 центральная полость штока соединяется со сливным баком. Масло давит на верхнее днище цилиндра и поднимает его. Цилиндр и вместе с ним затвор движется до тех пор, пока конечный выключатель *KB1* не разомкнет цепь соленоида *CB*, удерживающего золотник 5 в верхнем положении. Контакт конечного выключателя *KB2* при этом замыкается и подает сигнал о том, что затвор открыт полностью. После этого насос прекращает работу, а золотник 5, переместившись под давлением пружины 6 вниз, отключает полости гидропривода от напорной магистрали и от сливного бака. Чтобы предотвратить самопроизвольное опускание затвора из-за утечек масла через зазоры в золотниках и гидроприводе, необходимо периодически подкачивать масло в верхнюю полость цилиндра. Соленоид *CB* и двигатель насоса включаются на подкачку масла при размыкании контакта *KB2* и замыкании контакта *KB1*. Чтобы опустить затвор, подают питание на соленоид отключения *CO*. В этом случае обе полости штока через золотник 8 соединяются со сливным баком. Под воздействием силы тяжести затвор перемещается вниз, выжимая масло на верхней части цилиндра, а скорость выжимания масла и соответственно скорость перемещения затвора регулируются специальным дросселирующим устройством 7. При достижении затвором нижнего положения его концевой контакт *KB3* разрывает цепь соленоида золотника 8, который перемещается

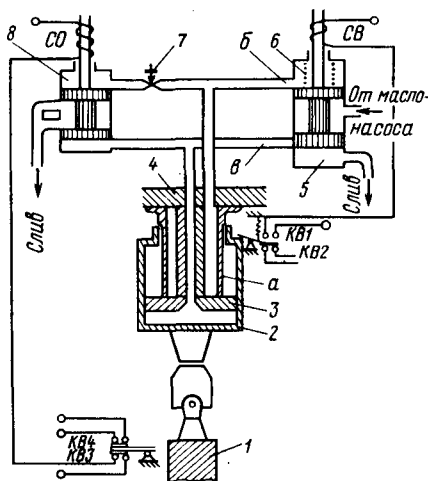


Рис. 6.2. Схема управления масляным приводом плоского затвора: 1 — плоский затвор; 2 — цилиндр; 3 — шток; 4 — опорная конструкция; 5, 8 — золотники; 6 — пружина; 7 — дросселирующее устройство; а, б, в — окна

вниз и отключает полости цилиндра от сливного бака, вследствие чего схема управления приводом оказывается подготовленной к подъему затвора. Таким образом, управление затвором сводится к управлению золотниками 5 и 8 и насосом. Гидравлический привод отличается надежностью в работе, плавностью хода, несложной регулировкой скорости движения.

§ 6.3. Затворы гидравлического действия

Затворами гидравлического действия называют затворы, использующие энергию воды в качестве силовой энергии, а также организующие гидравлический поток для стабилизации и автоматического регулирования водораспределением. Существует большое число затворов различных типов. Мы рассмотрим устройство и работу затворов-автоматов гидравлического действия нескольких типов, каждый из которых характеризует определенное направление в конструировании подобных затворов и представляет практический интерес для автоматизации водораспределения оросительных систем.

Затворы-автоматы различают на затворы, у которых на исполнительный орган воздействует непосредственно датчик, — прямого действия и у которых для перестановки исполнительного органа используют промежуточные усилители, — непрямого действия. Следовательно, в первом случае усилие, возникающее в результате отклонения регулируемой величины, должно быть достаточным для того, чтобы привести в движение регулирующий орган. Вследствие этого точность регулирования автоматов прямого действия, как правило, меньше, чем у автоматов второго типа, где сигнал, получаемый от датчика, подвергается дополнительному усилению. И все же благодаря простоте конструкции и высокой надежности регуляторы прямого действия применяют широко.

Затворы-автоматы расхода различают на расходы $Q = 0,2...0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ с наклонной стенкой и на расходы $Q = 0,2...2,6 \text{ м}^3/\text{с}$ с двойной наклонной стенкой, разработанные Средазгипроводхлопком, допускают колебания воды в ВБ соответственно до $H_{\text{max}} = 24$ и 68 см; при этом погрешность забора воды меньше или равна 5 %, и она тем меньше, чем меньше колебания уровня ВБ. Схемы автоматов расхода воды приведены на рисунке 6.3, а и б. Типовые гидротехнические сооружения, выполненные из сборного железобетона, имеют на входе ныряющие стенки 2 (см. рис. 6.3, а), уступы для порога водослива 1 и плоский скользящий затвор 5 с одиночными или двойными наклонными козырьками 3, предназначенными для изменения гидравлических сопротивлений по требуемому закону. Расход регулируют, изменяя степень открытия затвора $Q = f(a)$ при помощи винтового подъемного механизма 4. Типовые проекты этих автоматов разработаны с ручными подъемными механизмами, но их можно выполнять и с электрифицированными механизмами, когда это требуется для автоматизированных

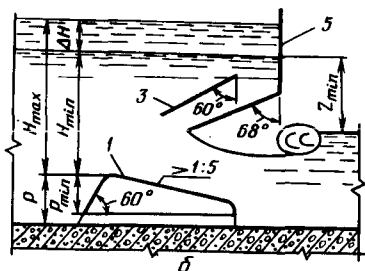
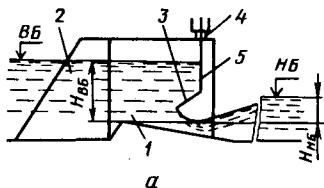


Рис. 6.3. Схема автомата расхода воды с наклонными козырьками:

а — с одиночным; б — с двойным; 1 — водослив; 2 — ныряющие стенки; 3 — двойные наклонные козырьки; 4 — подъемный механизм; 5 — скользящий затвор

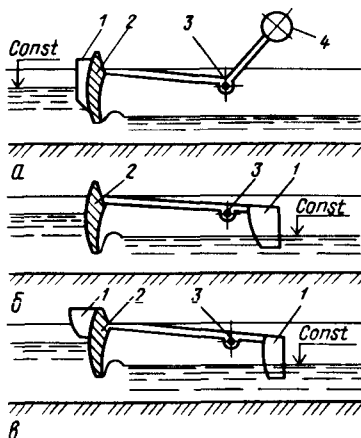


Рис. 6.4. Схемы вододействующих затворов «Нейрпик», поддерживающих уровень воды:

а — верхнего бьефа; б — нижнего бьефа; в — смешанного действия; 1 — поплавок; 2 — затвор; 3 — ось вращения; 4 — противовес

систем водораспределения. Известна формула расхода при истечении воды из-под шита

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g} \sqrt{h_0} = M \omega \sqrt{h_0},$$

где μ — коэффициент расхода отверстия; ω — площадь отверстия; h_0 — напор в ВБ с учетом скорости подхода.

Как следует из этой формулы, постоянство расхода с допустимой погрешностью обеспечивается, если создавать условия движения воды, при которых сумма сопротивлений изменяется пропорционально напору в ВБ. Как правило, рассматриваемые затворы-автоматы устанавливают в местах, где колебания уровня ВБ находятся в допустимых пределах. В этом случае расход однозначно определяется степенью открытия затвора, измеряемой датчиком его положения.

Затворы-автоматы типа «Нейрпик» относятся к гидравлическим затворам-регуляторам прямого действия с одним установленным состоянием, которое соответствует положению стабилизируемого уровня на отметке оси вращения затвора. У автоматического затвора, который поддерживает постоянным уровень ВБ (рис. 6.4, а), поплавок 1, очерченный по дуге окружности из того же центра, что и полотнище 2 затвора, расположен с напорной стороны и не доходит до нижней кромки полотнища, образуя уступ. Ось 3 затвора устанавливается на отметке стабилизируемого уров-

ня ВБ. При расчетном уровне затвор находится в равновесии под действием противоположных, но равных моментов, момента от веса затвора и противовеса 4, с одной стороны, и момента от сил гидростатического давления на поплавок — с другой. Если уровень перед затвором начинает повышаться или понижаться, равновесие нарушается, и затвор открывается или приоткрывается настолько, чтобы установился заданный уровень. Для стабилизации работы и гашения возможных в процессе регулирования колебаний затвор оборудуют масляным амортизатором. Затвор для стабилизации уровня НБ действует в целом так же, как рассмотренный выше, но его поплавок располагается со стороны НБ (рис. 6.4, б). Затвор-автомат смешанного регулирования в нормальном режиме работы поддерживает заданный уровень воды в НБ, а в случае чрезмерного повышения его в ВБ или, наоборот, при опасности опорожнения канала вследствие недостатка воды автоматически переключается на регулирование уровня ВБ. Такие затворы (рис. 6.4, в) оборудованы двумя поплавками, которые размещены в специальных камерах: одна соединена с верхним, другая — с нижним бьефом. Поплавок в камере ВБ открывает затвор, только когда превышен допустимый уровень перед ним, а также закрывает его при снижении уровня до минимального; в то же время поплавок в камере НБ обеспечивает его заданный уровень.

Автоматы уровня работают в сочетании с устройствами для поддержания заданного расхода воды, получившими название «модуль-маска». Они представляют собой открытые щитовые водовыпуски с порогом 1 (рис. 6.5) криволинейного очертания и калиброванными отверстиями, перекрываемыми скользящими щитами 3; каждое из них рассчитано на пропуск одного определенного расхода. Обычно водовыпуски изготовляют тарированными на 5, 10, 15 и 30 л/с. При различных сочетаниях режима работы отверстий обеспечивается подача в отвод расходов от 5 до 60 л/с с интервалом 5 л/с. Тарированные водовыпуски проектируют такими, чтобы при нормальном и максимальном уровнях воды происходило незатопленное истечение из-под козырька 4 в НБ, а при минимальном уровне — свободное истечение через порог (рис. 6.6). В первом случае отверстие выпуска работает в режиме свободного истечения из-под щита и расчетная формула расхода $Q_1 = \mu ab \sqrt{2gH}^{1/2}$, а во втором $Q_{11} = mb \sqrt{2gH}^{3/2}$ (где m — коэффициент пропорциональности; a , b — размеры щита). С повышением уровня перед сооружением от H_{\min} до H_{\max} происходит переход от режима истечения через водослив к режиму истечения из-под щита. При этом вследствие придания козырьку соответствующей формы и выбора необходимых размеров отверстия расход тарированного отверстия в определенных ограниченных пределах колебаний (обычно 5...15 см) уровня H отклоняется от расчетного на $\pm 5\%$. Колебание уровня воды в ВБ тарированных выпусков ограничено посредством затворов-автоматов гидравлического

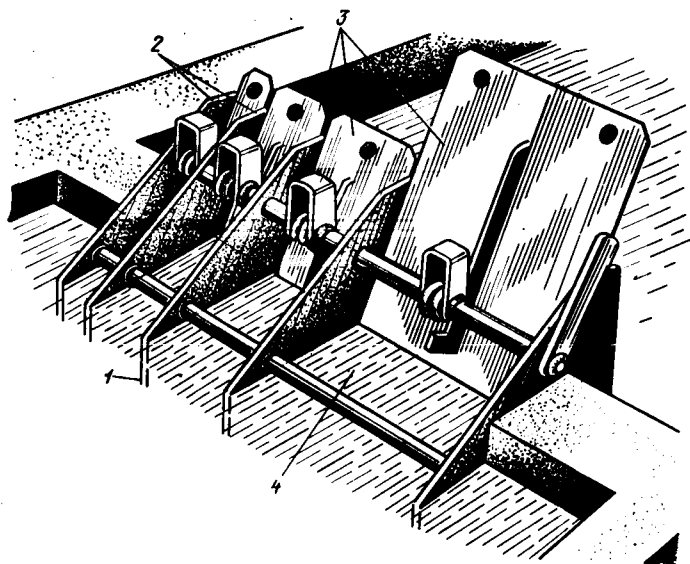


Рис. 6.5. Тарированные выпуски «Нейрпик» (модуль-маска):
 1 — порог; 2 — разделительные стенки; 3 — скользящие щиты; 4 — козырек

действия. Потери напора в тарированных выпусках «модуль-маска» в зависимости от расхода составляют 6,5...30 см.

При помощи затворов-автоматов уровня автоматизируют управление по верхнему или нижнему бьефу. Однако в отличие от систем комплексной автоматизации такие системы могут быть названы полуавтоматическими, так как работу затворов контролируют на местах, а централизованный контроль не предусмотрен.

Недостаток затворов-автоматов типа «Нейрпик» — отсутствие возможности изменять отметки стабилизируемых уровней. Действительно, ось вращения регулятора устанавливается на отметке регулируемого уровня, соответствующего максимальному пропускному расходу. При расходах воды меньше максимального затвора ВБ не допускает изменения его резервной емкости, а затворы НБ не позволяют лимитировать расход воды, если он не больше максимального. Следовательно, в случае недостаточной водообеспеченности сказывается отсутствие возможности изменять уставки регулируемых уровней, но, с другой стороны, благодаря этому достигнута простота устройств и высокая надежность работы таких затворов.

Затворы цилиндрические, автоматические, прямого действия на расход до 5 м³/с конструкции Укргипроводхоза предназначены для стабилизации уровней воды в НБ перегораживающих и водопропускных сооружений на оросительных каналах с одновре-

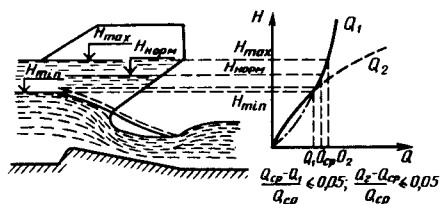


Рис. 6.6. Кривая расхода тарированного выпуска «Нейрпик»

менной защитой ВБ от переполнения (рис. 6.7). Цилиндрический затвор представляет собой гидроавтомат прямого действия и состоит из цилиндра 1, коромысла 13, поплавка-противовеса 11, коромысла, установленного на подшипниковых опорах 12, шарнирно соединенного с цилиндром и цепными подвесками 10, с поплавком-проти-

вовесом. Затвор с водоподводящей трубой сопряжен с помощью отвода 8, в котором на центральной стойке 7 установлен отражатель 3, служащий направляющей для цилиндра и для направления выходящего потока воды. Для увеличения жесткости стойки в отводе установлено ребро 4. Для гашения колебаний цилиндра в его нижней части имеется жесткая диафрагма 2 с центральным отверстием. В закрытом положении цилиндр опирается на опорный фланец 6. Уплотнение 5 выполнено из резины и крепится к цилиндру специальными хомутами. На поплавке-противовесе имеется пригрузочная камера 9. Установку для обеспечения поддержания определенного уровня меняют, изменяя длину подвески поплавка-противовеса. Принцип действия затвора заключается в следующем: при понижении уровня воды в НБ ниже расчетного поплавок опускается, вследствие чего цилиндр поднимается и пропускает расход воды; при повышении уровня воды в НБ происходит обратный процесс — цилиндр опускается и перекрывает водовыпускное отверстие. Затвор снабжен устройством защиты от превышения уровня ВБ. При повышении уровня воды в ВБ выше заданной отметки вода по трубопроводу поступает в пригрузочную камеру поплавка, что приводит к его опусканию независимо от уровня воды в НБ за счет увеличения его массы. Цилиндр поднимается и сбрасывает излишек воды. Затвор остается открытым до тех пор, пока уровень воды в ВБ не понизится до допустимой отметки, после чего поступление воды в пригрузочную камеру прекращается, вода из нее через сливные отверстия сливается и затвор закрывается. Точность поддержания уровня σ зависит от степени открытия a :

a , м	$0,2 D_B$	$0,25 D_B$	$0,3 D_B$
σ , мм	50	65	75

Максимально допустимое открытие затвора $a = 0,3 D_B$.

Гидравлические автоматы для регулирования расхода по закрытому водоводу применяют в самонапорных системах с промежуточными бассейнами (резервуарами). Рассмотрим в качестве примера устройство разгрузочных резервуаров с автоматическим регулированием НБ, которые сооружены на водоводе длиной около 130 км, выполненном из предварительно напряжен-

ных железобетонных труб диаметром 1,25 м. Расчетная пропускная способность водовода 1,4 м³/с. По пути водовода установлено пять разгрузочных бассейнов, которые предназначены для снижения давления в нем и для автоматического регулирования подачи воды в соответствии с запросами потребителей. Резервуар (рис. 6.8) разделен на два одинаковых отделения, а водовод, состоящий из одной нитки труб, при подходе к резервуару разветвляется на две линии, каждая из которых входит в свое отделение, оборудованное автоматическим устройством, регулирующим расход воды в зависимости от спроса. Принцип действия автоматического устройства сводится к следующему. Когда расход воды увеличивается, ее уровень в ближайшем к потребителю разгрузочном резервуаре начинает понижаться, и поплавки 1 опускаются. Каждый поплавок связан с валом 2, вращение которого передается устройству, открывающему и закрывающему клапан 9 на выходных концах труб, по которым вода подается в резервуар. В данном случае при опускании поплавка увеличивается степень открытия клапана 9, и вода в резервуар поступает до тех пор, пока не наступит равновесие — приток станет равным отбору.

Таким образом, команда от потребителя передается снизу вверх по водоводу от одного резервуара к следующему, пока соответственно не увеличится подача из источника водоснабжения. Разгрузочные резервуары оборудуют предохранительными устройствами 8, ограничивающими ударные давления, которые могут возникнуть в подводящем участке водовода при быстром закрытии клапана 9. На обоих вводах расположены запорные клапаны 7, также оснащенные противоударным приспособлением. Затворы 3 служат для осмотра или ремонта соответствующего отделения резервуара и установленной в нем аппаратуры. На время осмотра (ремонта) затвор закрывается. На выходных водоводах устанавливают затворы 4, автоматически прекращающие поступление воды из резервуара в водовод, если скорость в нем превысит допустимый верхний предел, что может случиться при аварии на водоводе. В резервуаре предусмотрен аварийный сброс, который расположен на наивысшем допустимом уровне и действует при неисправности автоматического оборудова-

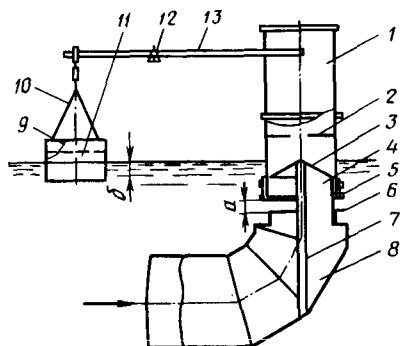


Рис. 6.7. Затвор цилиндрический, автоматический:

- 1 — цилиндр; 2 — диафрагма; 3 — отражатель; 4 — ребро; 5 — уплотнение; 6 — опорный фланец; 7 — стойка; 8 — отвод; 9 — пригрузочная камера; 10 — цепная подвеска; 11 — поплавок-противовес; 12 — опора подшипника; 13 — коромысло

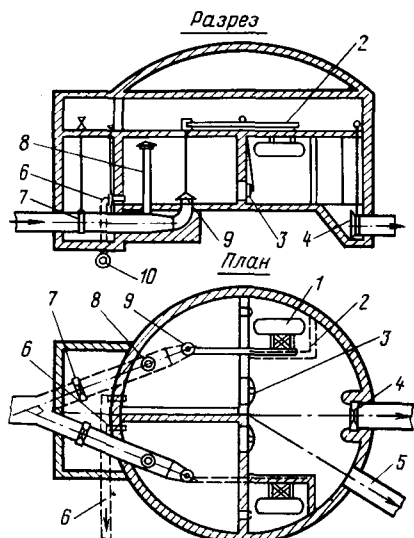


Рис. 6.8. Разгрузочный резервуар с автоматическим регулированием:

1 — поплавки; 2 — вал; 3, 4 — затворы; 5 — аварийный сброс; 6 — выпуски; 7 — запорные клапаны; 8 — предохранительное устройство; 9 — закрывающийся клапан; 10 — общая труба

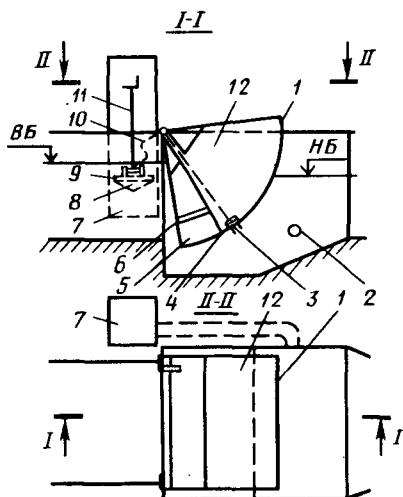


Рис. 6.9. Схема затвора-автомата Маковского для стабилизации уровня воды НБ:

1 — секторный затвор; 2 — труба; 3, 6 — отверстия; 4 — эластичная мембрана; 5 — герметичная камера; 7 — камера регулятора; 8 — поплавок; 9 — мембрана; 10 — трубопровод; 11 — установочный винт; 12 — рабочая камера

ния. Для опорожнения отделений резервуаров служат отводящие воду в общую трубу 10 выпуски 6, оборудованные затворами. Вместимость описанного резервуара 400 м³. В каждом конкретном случае она зависит от эксплуатационных условий, принятой системы регулирования подачи воды и длин участков водовода.

В оросительных системах при наличии промежуточных отборов вдоль водовода места отбора стремятся совместить с местоположением разгрузочных резервуаров, служащих источниками промежуточного водозабора.

Секторный затвор-автомат Маковского для стабилизации уровня воды принадлежит к гидравлическим регуляторам непрямого действия. Схема затвора-автомата этого типа для стабилизации уровней воды НБ приведена на рисунке 6.9. Секторный затвор 1 прислонного типа перекрывает со стороны НБ отверстие в поперечной стенке сооружения. Емкость затвора является камерой гидравлического усилителя. При наличии малого перепада уровней затвор снабжают противовесом в виде герметичной камеры 5, расположенной в нижней части затвора. С ВБ рабочая камера 12 сообщается через отверстие 6, а с НБ — посредством отверстия

3, которое больше отверстия 6, и перекрывается клапаном. Эластичная мембрана 4 клапана может перемещаться на 0,02... 0,03 м. Гидравлическая система датчика уровня состоит из трубопровода 10 малого сечения, связывающего между собой мембраны 4 и 9. Мембрана 9 сочленена с поплавком 8, выполняющим роль чувствительного элемента регулятора. Емкость, образованная трубопроводом 10 и мембранами 4 и 9, заполняется жидкостью. Чтобы изменить настройку регулятора, поплавок 8 перемещают установочным винтом 11. Процесс стабилизации уровня протекает следующим образом. Если уровень воды НБ опускается за заданную отметку, поплавок 8 перемещается вниз и увлекает за собой мембрану 9. В результате этого мембрана 4 втягивается, увеличивается степень открытия отверстия 3, возрастает расход воды из камеры 12, и затвор поднимается. Если же уровень воды превысит заданную отметку, то поплавок переместится вверх вместе с мембраной 9, расход воды из рабочей камеры 12 через отверстие 3 уменьшится, она заполнится водой и затвор опустится.

В регуляторе стабилизации уровня ВБ в случае превышения уровня заданной отметки мембрана 4 открывается, и затвор 1 поднимается; когда же уровень опускается ниже допустимого, мембрана 4 закрывается, и затвор опускается. Разработан также затвор-автомат смешанного типа, который служит для стабилизации уровня в НБ перегораживающего сооружения и для защиты от переполнения канала в случае чрезмерного повышения уровня воды в ВБ. Затвор снабжен устройством для изменения установочной величины стабилизируемого уровня.

Регуляторы непрямого действия Маковского применяют в системах каскадного регулирования, которые в связи с развитием орошения дождеванием и водоснабжения по потребности получают все большее распространение.

§ 6.4. Основы автоматического управления гидротехническими сооружениями

В предыдущих параграфах рассмотрены два типа гидротехнических сооружений — с плоскими затворами и электрифицированными подъемными механизмами и с затворами гидравлического действия, использующие для управления исполнительными механизмами энергию воды в каналах. Кроме того, многие затворы гидравлического действия снабжены устройствами стабилизации или регулирования контролируемого параметра и вследствие этого являются затворами-автоматами. При осуществлении централизованного диспетчерского управления системой водораспределения первый тип сооружений требует осуществления их электрообеспечения, а второй, используя гидравлическую энергию воды, в посторонней силовой энергии не нуждается. Управление плоскими затворами осуществляют оснащением их автоматическими регу-

А 7 П (1)

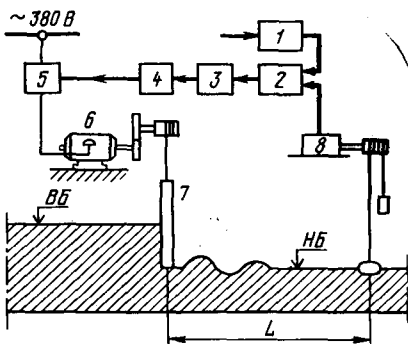


Рис. 6.10. Структурная схема стабилизации уровня воды в НБ:

1 — задатчик; 2 — элемент сравнения; 3 — нуль-орган; 4 — элемент пропорционально-импульсного регулирования; 5 — пускатель; 6 — электропривод; 7 — затвор; 8 — датчик уровня

ляторами, устанавливаемыми на сооружениях, и передачей установок регуляторам с диспетчерского пункта.

Затворы-автоматы гидравлического действия в своем составе имеют регуляторы, и для централизованного диспетчерского управления ими должна осуществляться лишь передача установок регуляторам.

Объем автоматизации определяется для каждого гидроузла индивидуально, применительно к его типу и конструктивному исполнению. Определяющую роль играет степень автоматизации гидромелиоративной системы в целом. Тем не менее существует ряд общих

положений и принципов, которыми руководствуются при автоматизации гидротехнических сооружений. Рассмотрим эти положения применительно к двум названным типам гидромеханических сооружений.

Структурная схема регулятора для стабилизации уровня воды с помощью плоского затвора в НБ канала приведена на рисунке 6.10. Требуемый уровень воды задается задатчиком 1 и сравнивается в элементе 2 с фактическим. В случае отклонения от заданного элемент сравнения 2 при помощи нуль-органа 3 посылает команду на включение пускателем 5 электропривода 6, который в зависимости от знака несовпадения значений уровней поднимает или опускает затвор 7 до тех пор, пока не будет ликвидировано рассогласование и не установится заданный уровень. Как видно из схемы, в состав замкнутой системы регулирования входит участок канала L между измерительным и регулирующим элементами — датчиком уровня 8 и затвором 7. На этом участке, длина которого зависит от многих факторов и измеряется десятками и сотнями метров, возникает запаздывание начала изменения выходной величины уровня в точке его измерения датчиком 8 по отношению к началу изменения входной (уровня у затвора 7) на время, называемое временем чистого запаздывания. После возникновения разбаланса уровней и включения затвора на ликвидацию рассогласования он будет оставаться включенным, как минимум, время t , пока изменившийся уровень у затвора не достигнет датчика. Но такая схема работы регулятора неработоспособна. Действительно, за время t затвор изменит свое положение настолько, что новый уровень, установившийся у датчика 8, окажется много выше требуемого, то есть возникнет перерегулирование — рассогласование

противоположного знака. Процесс станет колебательным и часто неустойчивым.

Поэтому в схему регулятора вводят элемент пропорционально-импульсного регулирования 4, предназначенный для ликвидации влияния запаздывания в регулировании созданием пауз, процесс регулирования во время которых приостанавливается, и привод затвора выключается. Такой регулятор называют пропорционально-импульсным, так как в нем время импульса пропорционально значению рассогласования. Таким образом, применение в подобных системах управления водораспределением импульсных систем автоматического регулирования является характерным и обуславливается наличием чистого запаздывания в объекте регулирования. Оросительный канал как объект регулирования его параметров помимо чистого обладает инерционным запаздыванием и в первом приближении может быть представлен периодическим инерционным звеном с запаздыванием, определяемым постоянной времени T . В этом случае временные характеристики регулирования уровня канала выглядят подобно представленным на рисунке 6.11. Если входная величина h_1 изменяется скачком от нуля до единицы (а), то выходная величина h_2 при чистом запаздывании изменится также скачкообразно, только на время t позже (б). Общее же время регулирования от момента изменения входной величины до установления заданного значения выходной (в) равно сумме $t + (3...5)T$, где второе слагаемое представляет собой время инерционного запаздывания.

Телеуправление автоматическими регуляторами плоских затворов. При наличии на сооружениях автоматических регуляторов установленный режим поддерживается автоматически. При необходимости изменения режима возникает задача передачи с диспетчерского пункта команды управления. Управление затворами в общем случае может быть двухпозиционным и многопозиционным. В первом случае затвор занимает два положения (открыто — закрыто), во втором — любое промежуточное положение. Для объектов с двухпозиционным управлением задача сводится к передаче телемеханических команд: открыть — закрыть. После передачи такой команды в действие вступают средства местной автоматики, а линия телемеханики освобождается и может быть использована для выполнения любой другой из возложенных на нее функций. Для затворов многопозиционного управления применяют несколько способов передачи телемеханической команды: включением затвора на время, пропорциональное степени требу-

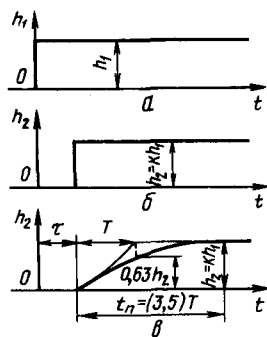


Рис. 6.11. Характеристика изменения регулируемого параметра во времени в канале оросительной системы

мого его открытия; посредством телеизмерения положения затвора; телерегулированием в форме телепередачи установки местной следящей системе.

Телеуправление включением исполнительного механизма затвора на время (с), необходимое для его открытия на заданную величину:

$$t = T\Delta H/100,$$

где T — полное время, необходимое для перевода затворов из одного крайнего положения в другое, с; ΔH — процентное изменение положения затвора.

При этом скорость изменения положения затвора принимают постоянной. Способ этот прост, однако имеет существенные недостатки: во-первых, линия телемеханики занимается на все время управления, которое может быть продолжительным (скорость подъема плоских затворов, как было показано, невелика); во-вторых, кроме сигнала управления переменной длительности, необходимо передавать сигнал, определяющий направление управления; в-третьих, одному и тому же перемещению может соответствовать разная продолжительность, так как скорости перемещения различных затворов могут быть неодинаковыми; в-четвертых, необходимо знать предыдущее положение, ибо длительность сигнала зависит от разности между требуемым и предыдущим положениями. Изложенные недостатки ограничивают применение этого способа телеуправления.

Телеуправление с одновременно включенным телеизмерением при достижении затвором требуемого положения, определяемого телеизмерением, диспетчер прекращает. Сигнал управления может быть снят автоматически нуль-органом, установленным на диспетчерском пункте и контролирующим разность между фактическим и заданным положением затвора. Этот способ выгодно отличается от предыдущего и применяется в практике довольно широко.

Телерегулирование в форме телепередачи уставки местной следящей системе — наиболее распространенный способ передачи телемеханической команды. Он отличается от описанных выше тем, что система телемеханики используется в этом случае только для передачи уставки, а отработка ее осуществляется местной автоматикой без участия системы телемеханики. Канал телемеханики занимается лишь на время (измеряется секундами), необходимое для передачи уставки.

Структурная схема телеуправления многопозиционным подъемным механизмом плоского затвора приведена на рисунке 6.12. При помощи специального задатчика положения 1, используя систему телемеханики 2, с диспетчерского пункта посылается сигнал уставки в линию связи 3, пропорциональной требуемой степени открытия затвора, который через устройство контролируемого пункта 4 поступает на специальный блок отработки задания (БОЗ) и подается на элемент 6 приема задания следящей системы. Здесь сигнал уставки преобразуется в величину, удобную для запоминания. После передачи уставки сигнала в работу включают-

ся элемент сравнения 7 и нуль-орган 8. Схема сравнения сопоставляет сигналы, поступающие от элемента 6 приема задания и от датчика фактического положения 12. В случае их несоответствия возникает сигнал, по которому магнитный пускатель 9 включает электропривод 10 подъемного механизма затвора 11. Последний занимает заданное положение, и несоответствие ликвидируется, а электропривод затвора выключается. Следящая система после отработки задания находится в состоянии равновесия до передачи диспетчером нового задания.

В затворах-автоматах гидравлического действия следящая система позволяет осуществить отработку телезадания — уставку затворам-автоматам. В частности, в затворах Маковского (см. рис. 6.9) предусмотрена возможность изменить уставку стабилизируемого уровня с диспетчерского пункта. Для изменения настройки регулятора (см. рис. 6.9) поплавков 8 перемещают электроприводом установочного винта 11.

Рассмотрим принцип автоматизации плотинных водозаборов и инженерных систем бесплотинных водозаборов главным образом в части, выполняющей функции регулирования стока и водоподачи в каналы оросительных систем, а также крупных гидроузлов на магистральных каналах (управление затворами с электрифицированными подъемными механизмами). На головных водозаборных узлах плотинного типа автоматизации подлежат затворы водосливной плотины, промывных сооружений и регулирующие подачу воды в магистральные каналы. Последнюю операцию можно осуществить с помощью затворов водосливных сооружений плотины, то есть изменения уровня ВБ. Однако такой способ приводит к излишним холостым сливам воды и поэтому на крупных гидроузлах и особенно на узлах, расположенных на маловодных источниках, его не применяют. Схемы автоматизации затворов промывных и сбросных сооружений увязывают, чтобы сброс излишков, как правило, использовался в первую очередь для промывки порогов водоприемных сооружений или отстойников. При незначительных наносах и редком маневрировании затворами промывных галерей эти затворы вообще не включаются в схему автоматизации, а периодический промыв осуществляется незави-

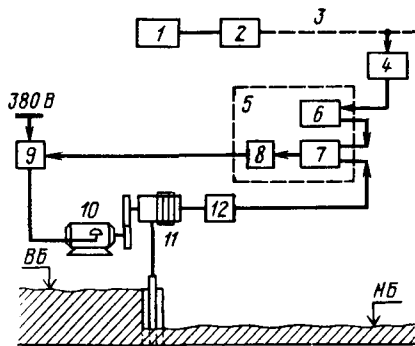


Рис. 6.12. Структурная схема телеуправления многопозиционным исполнительным механизмом при помощи следящей системы:

1 — задатчик положения; 2 — система телемеханики; 3 — линия связи; 4 — устройство контролируемого пункта; 5 — исполнительный пункт; 6 — элемент приема задания; 7 — элемент сравнения; 8 — нуль-орган; 9 — магнитный пускатель; 10 — электропривод; 11 — затвор; 12 — датчик

симо от автоматизации на местах по определенному графику.

Управление затворами водозаборных сооружений каналов оросительных систем осуществляется в соответствии с режимом или графиком водоподачи. При недостаточных источниках зачастую обращаются к пропорциональному водodelению между каналами.

Уровень ВБ перед плотиной и расход в отводящих каналах можно регулировать двумя способами: дистанционным или телемеханическим управлением затворами с одного пункта, посредством соответствующих систем автоматического регулирования — телерегулирования. При централизованном дистанционном или телемеханическом управлении положение каждого затвора диспетчер устанавливает отдельно, и он же контролирует. Все возникающие отклонения режима могут быть ликвидированы лишь диспетчером после изменения им положения затворов. В этом случае при дистанционном управлении на диспетчерский пульт (щит) выносятся индивидуальные для каждого затвора кнопочные посты управления, указатели положения затворов, соответствующая сигнализация, измерительные приборы контролируемых параметров, а на местах монтируются индивидуальные датчики положения. При телемеханическом управлении на диспетчерском пункте и на местах устанавливают аппаратуру, позволяющую осуществлять те же функции управления и контроля. В результате диспетчер наблюдает за большим числом приборов и аппаратов, что затрудняет оперативное управление и является недостатком этого способа.

При применении системы автоматического регулирования процесс поддержания параметров в случае отклонения режима происходит автоматически, без вмешательства диспетчера. Общее число регуляторов определяется числом отводящих каналов. Как правило, на каждом магистральном канале действует свой регулятор расхода — при регулировании в оросительной системе водораспределения по ВБ или регулятор уровня — при регулировании по НБ; кроме того, в ВБ перед плотиной устанавливают автоматический регулятор уровня (за исключением случаев, когда аккумулирующая емкость перед плотиной обеспечивает достаточное постоянство уровня ВБ). Структурная схема автоматического управления затворами плотины гидроузла при помощи регулятора уровня приведена на рисунке 6.13. В ВБ головного узла устанавливают первичный датчик 2 для измерения и телеизмерения уровня, датчик 3 автоматического регулятора уровня, в непосредственной близости — собственно регулятор 6. На диспетчерский пункт 4 выносят измерительный прибор 8, задатчик 7 положения ВБ, а также световую 9 и звуковую 10 сигнализации неисправностей и аварийного уровня ВБ. Программа маневрирования затворами 1 осуществляется специальным блоком автоматики 5, получившим название блока выбора очередности (БВО) и представляющим собой программное устройство. В случае необходимости затворы плотины, как уже упоминалось, блокируются с

затворами донных галерей, режим работы которых зависит от конструктивных особенностей гидроузла и интенсивности наносов. При небольшом количестве воды в источнике сброс излишков, как правило, идет в первую очередь на промыв порогов водоприемных сооружений или отстойников. Схема управления строится таким образом, чтобы холостой сброс воды начинался лишь в том случае, если расход воды в источнике больше потребности водозаборных каналов, а вода для промывки порогов водозаборных сооружений и отстойников в это время не нужна. Практически обычно можно установить определенное соотношение между площадью открытия отверстий плотины и числом открытых затворов донных галерей. С этой целью в схеме автоматики применяют блокировку, чтобы одновременно с открытием (закрытием) каждого из затворов плотины открывались (закрывались) сблокированные с ними затворы донных галерей.

Для каждого водозаборного сооружения магистральных каналов существует своя схема регулирования и управления по принципу, описанному выше. В этом случае датчики автоматического регулятора уровня или расхода и соответственно измерения этих параметров размещают в магистральных каналах на некотором расстоянии от водозаборных сооружений, а система автоматического регулирования через блок выбора очередности управляет затворами.

Опыт эксплуатации головных водозаборных узлов оросительных систем показывает, что наиболее рациональные условия подачи воды в канал обеспечиваются при одновременном открытии всех затворов водозаборного сооружения на одинаковую величину. В этом случае отсутствуют сбой течения (подмыв берегов канала), достигается равномерная скорость воды в отстойниках, в результате чего улучшаются условия отстоя. При водозаборе с полным открытием всех затворов уменьшается подпор уровня воды в ВБ плотины, что положительно влияет на работу всего узла в целом. Однако при значительной разнице между максимальным и минимальным расходами канала и при большом числе затворов водозаборного сооружения задается другой график очередности их включения посредством программного устройства БВО.

Применение автоматических регуляторов существенно увеличивает оперативность управления при минимуме аппаратуры уп-

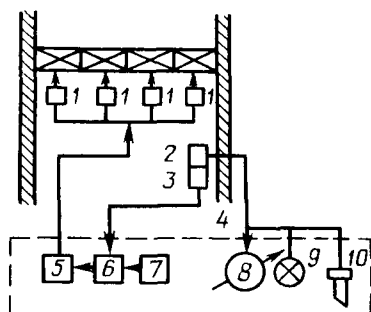


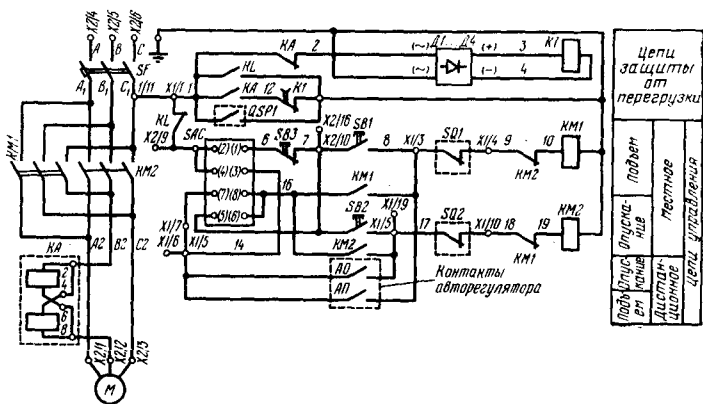
Рис. 6.13. Структурная схема автоматического управления затворами плотины гидроузла:

1 — затвор; 2, 3 — датчики; 4 — диспетчерский пункт; 5 — специальный блок автоматики выбора очередности; 6 — регулятор; 7 — задатчик положения верхнего уровня; 8 — измерительный прибор; 9, 10 — световая и звуковая сигнализация

равления на диспетчерском пункте. Способ автоматизации выбирают для каждого конкретного гидроузла на основе технико-экономического сравнения вариантов. На выбор схемы автоматизации головных водозаборных узлов решающее влияние оказывают режим водного источника и общая компоновка сооружения.

Из проведенного сравнения двух способов автоматизации следует, что для источников с быстро меняющимися режимами при расположении головных водозаборных сооружений на водохранилищах небольшой вместимости или на источниках, из которых питаются частотно-регулирующие гидростанции, нужно предусматривать автоматическое регулирование, а не дистанционное управление. Применение автоматических регуляторов обязательно в случае управления затворами гидротехнических сооружений, подпор от которых распространяется в пределах населенных пунктов, где повышение уровней сверх нормы грозит затоплением. Дистанционное управление возможно при источниках водозабора с медленно меняющимися режимами. Однако централизованное телеуправление каждым затвором в отдельности не имеет существенных преимуществ перед автоматическим регулированием ни по числу необходимой аппаратуры, ни по удобству эксплуатации. Поэтому дистанционное управление, как правило, применяют на сравнительно небольших гидроузлах; в качестве более рационального способа автоматизации головных водозаборных узлов рекомендуются автоматическое регулирование.

Станцию управления электроприводом подъемного механизма плоского затвора типа ЯАА5401-74VI применяют для автоматического управления подъемными механизмами типа В-83 (см. § 6.2). Станцию управления монтируют в ящике, предназначенном для наружной установки, при температуре воздуха от минус 40 до плюс 40 °С. и относительной влажности до 90 % при температуре 20 °С. Схема (рис. 6.14) обеспечивает: реверсивное управление электродвигателем исполнительного механизма затвора от местных кнопок управления, контактами регулятора или с диспетчерского пункта системой телемеханики; защиту электродвигателя и цепей управления от токов короткого замыкания и перегрузок; электрическую защиту винта исполнительного механизма затвора от аварийных перегрузок и недопустимой продолжительности (1,2...1,3) рабочего тока электродвигателя при времени перегрузки больше или равном времени разгона электродвигателя; отключение электродвигателя в крайних положениях затвора конечными выключателями; формирование сигнала о срабатывании аварийной защиты исполнительного механизма затвора. При включении автоматического выключателя *SF* подается напряжение на цепи магнитных пускателей *KM1* и *KM2* и цепи управления. Переключателем режима *SAC* выбирается вид управления — местное, автоматическое, телемеханическое. Местное управление осуществляется кнопками *SB1* (открыть), *SB2* (закрыть), *SB3* (стоп). В положении переключателя *SAC* в режиме «автоматическое» команды



Цепи защиты от перегрузки	
Подъем	Местное
Опускание	Местное
Дистанционное	Цепи управления

Диаграмма работы конечных выключателей

Обозначение по схеме	Положение затвора	
	полностью открыт	полностью закрыт
SD1		
SD2		

Диаграмма работы контактов грузового реле

Обозначение по схеме	Подъем и опускание	перезрузки при опускании	Питание
QSP1			Цепи защиты

Диаграмма замыкания контактов переключателя SAC типа ПН 93-4С 309253

Вид рукоятки (спереди) и схема пакетов (сзади) в положении „0“	A	В	М	1	10	4	5	10	8	9	10	12
				3	3	2	7	3	6	11	3	10
№ неподвижных контактов												
Положение рукоятки				1-3	2-1		8-7	3-6		12-11		9-10
Дистанционные „Д“		X				X				X		
Отключено „0“												
Местное „М“					X				X			X

Рис. 6.14. Схема управления электроприводом подъемного механизма

управления поступают от контактов автоматического регулятора АО и АП. Во всех режимах работы при достижении затвором крайних положений (верхнего или нижнего) электродвигатель отключается конечными выключателями SQ1 и SQ2. Исполнительный механизм затвора защищен реле тока КА. Для отстройки от пусковых токов предусмотрено реле времени КТ. От перегрузки винта при опускании затвора исполнительный механизм защищен грузовым реле QSP1.

§ 6.5. Методы и устройства для измерения уровней и расхода воды в открытых каналах

Первая функция автоматического управления -- контроль и учет. В гидромелиоративных системах это в первую очередь уровень и расход воды в каналах. Дополнительной актуальной зада-

чей является водоучет для определения стоимости воды, потребляемой водопользователями. В условиях внедряемого хозрасчета это мероприятие является необходимым. Учет и контроль, а также коммерческий водоучет взаимосвязаны и решают их совместно на стадии разработки проекта оросительной системы. Методы измерения уровней и расходов воды в каналах гидромелиоративных систем изучают в специальных курсах эксплуатационной гидрометрии, где приводят распространенные гидравлические элементы и устройства, которые в сочетании с водомерными приборами образуют системы измерения и телеизмерения.

Русловой метод заключается в определении расхода путем измерения уровня воды в специальном гидростворе, для которого измерениями устанавливают зависимость $Q = f(H)$. Фиксированные русла выбирают на устойчивых участках канала и там, где нет влияния подпора или спада. Используя этот метод, следует учитывать возможность деформации русла в процессе эксплуатации и сопутствующие ошибки измерения.

Метод тарирования сводится к установлению постоянной зависимости между расходом воды и основными параметрами потока и гидротехнического сооружения. Наиболее часто этот метод применяют при автоматизации уже существующих гидромелиоративных систем.

Метод специальных водомерных сооружений, как это следует из самого названия, сводится к использованию специальных сооружений, обеспечивающих достаточно точное измерение расхода воды.

Транзитные расходы воды измеряют водосливами с тонкой стенкой (трапециевидный, прямоугольный, треугольный), лотками различных типов, водомерным порогом САНИИРИ. Для измерения расходов в пунктах их регулирования используют трубчатые водомеры с насадками, кольцом, с сужением типа Вентури, с полуцилиндром, водомерные приставки к трубчатым и открытым водовыпускам, сопла Вентури. Особую группу составляют затворы-автоматы гидравлического действия, где расход преимущественно определяется положением затвора, в результате чего отпадает необходимость установки специальных измерителей расхода (см. § 6.3).

Автоматизация гидромелиоративных систем базируется на применении широкой номенклатуры датчиков и контрольно-измерительной аппаратуры. Сведения об этой аппаратуре приводятся в различных каталогах. Здесь будут рассмотрены только некоторые из них. Всю контрольно-измерительную и регулирующую аппаратуру делят на общепромышленные и специальные приборы, разработанные в соответствии с техническими требованиями для комплексной автоматизации оросительных систем (поплавковый уровнемер УПМ-2 и регулятор уровня воды «ПАРУС», см. § 6.7).

§ 6.6. Приборы для измерения, контроля и регулирования уровня воды

Электродные датчики просты, надежны и широко применяются для определения дискретных значений уровней. Вода сравнительно хорошо проводит электрический ток. Поэтому, когда она поднимается до данного электрода или опускается ниже его, возникает сигнал, по которому судят об уровне воды. Кроме того, при изменении уровня воды изменяется высота проводящего слоя, а значит, и его электрическое сопротивление, что также дает возможность определить уровень воды. Электродные датчики используют для фиксации дискретных уровней, для двухпозиционного регулирования, а в более сложных регуляторах — для определения скорости изменения уровня.

Поплавковые датчики — самый распространенный тип измерителей уровня в открытых каналах и закрытых резервуарах. Чувствительный элемент такого датчика — поплавок, перемещение которого при изменении контролируемого уровня передается стрелке измерительного прибора, сельсину-датчику, датчику телеизмерения, датчику автоматического регулятора и т. п. Форма поплавок может быть различной; при ее выборе стремятся к тому, чтобы поплавок действовал устойчиво и надежно, а чувствительность датчика была максимальной.

Схема широко применяемого тросового поплавоквого датчика изображена на рисунке 6.15. На одном конце гибкого троса 2, расположенного на свободно вращающемся шкиве или барабане 1, подвешен поплавок 7, а на другом — груз-противовес 5. Изменения уровня воды воспринимаются поплавком и передаются по тросу задатчику уровней 6, который в определенные моменты воздействует на контактную систему 3, 4, формирующую сигнал управления. В общем виде уравнение равновесия такой системы

$$F_{\text{выт}} + F_{\text{пр}} = F_{\text{п}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{к}} + F_{\text{т}} + F_{\text{отр}},$$

где $F_{\text{выт}}$ — выталкивающая сила среды, воздействующая на поплавок; $F_{\text{пр}}$ — вес противовеса; $F_{\text{п}}$ — вес поплавок; $F_{\text{тр}}$ — усилия трения в системе; $F_{\text{к}}$ — усилие, которое необходимо для переключения контактов и перемещения элементов, связанных с передачей показаний по назначению; $F_{\text{т}}$ — вес неуравновешенной части троса; $F_{\text{отр}}$ — усилие отрыва поплавок от жидкости.

Из уравнения видно, что равновесие системы при прочих равных условиях зависит от усилия трения и от суммарного веса всех ее подвижных элементов. Так как сюда входит и вес троса, то очевидно, что этим в большой степени определяется максимально возможная длина его для данной системы. Поэтому с целью расширения диапазона измерения все подвижные элементы системы стремятся сделать как можно легче. В выпускаемых промышленностью поплавоквых датчиках максимальный диапазон контролируемого уровня достигает 20 м.

Ниже рассмотрены основные модификации измерителей уров-

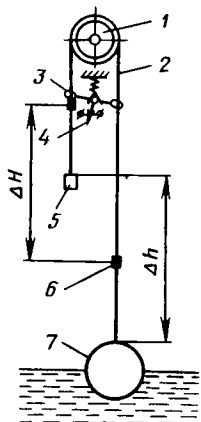


Рис. 6.15. Схема тросового поплавкового датчика:
 1 — барабан; 2 — гибкий трос; 3, 4 — контактная система;
 5 — груз-противовес; 6 — задатчик уровней; 7 — поплавок

ня поплавкового типа, применяемые в гидромелиоративных системах. Широкое распространение получили местные измерительные приборы уровня воды для визуального наблюдения и автоматической записи показаний на бумаге. Их часто называют лимниграфами, или самописцами уровня. В автоматизированных системах подобные приборы применяются, когда необходима непрерывная регистрация изменения уровня с целью изучения характера колебаний уровня и качества процесса его автоматического регулирования.

Самописец уровня «Валдай», кинематическая схема которого приведена на рисунке 6.16, имеет поплавок 2 с грузом 1 и противовес 3, подвешенные на одном из поплавковых колес 4 или 5 (длина их окружности соответственно 300 и 600 мм). Поплавковое колесо (передаточное отношение 1:5) через шестерни 6 и 17 вращает барабан 16, на котором укрепляется диаграммная бумага (длина окружности барабана 300 мм). Перо 15 находится на каретке 10, которая скользит по двум направляющим стержням 12 параллельно оси барабана. Через каретку 10 проходит гибкая стальная струна 11. К одному ее концу подвешен груз 14, перекинутый через ролик 13, а другой конец проходит через ролик 9 и намотан на барабан 8, смонтированный на оси часового механизма 7. Таким образом, при изменениях уровня происходит пропорциональное угловое перемещение барабана 16. Вместе с тем часовой механизм равномерно перемещает перо 15 параллельно оси барабана, в результате чего на диаграммной бумаге записывается график изменения уровня воды во времени. Максимальное колебание контролируемого уровня составляет 600 см. Благодаря поплавковым колесам 4 и 5, а также сменным шестерням 6 и 17 уровни могут быть записаны в четырех масштабах: 1:1, 1:2, 1:5 и 1:10. Часовой механизм снабжен сменными барабанами 8 для записи времени в масштабах 12 и 24 мм/ч. Время работы часового механизма ограничено ходом каретки и равно 24 ч для масштаба 12 мм/ч и 12 ч — 24 мм/ч. Погрешность записи уровня при масштабе 1:1 составляет ± 3 мм, а при масштабе 1:10 — увеличивается до ± 10 мм.

Самописец уровня ГР-38, кинематическая схема которого приведена на рисунке 6.17, в отличие от прибора «Валдай» имеет часовой механизм, приводящий в движение барабан с диаграммной бумагой, а линейное перемещение каретки с пером происходит при изменении уровня воды. Часовой механизм заводят через

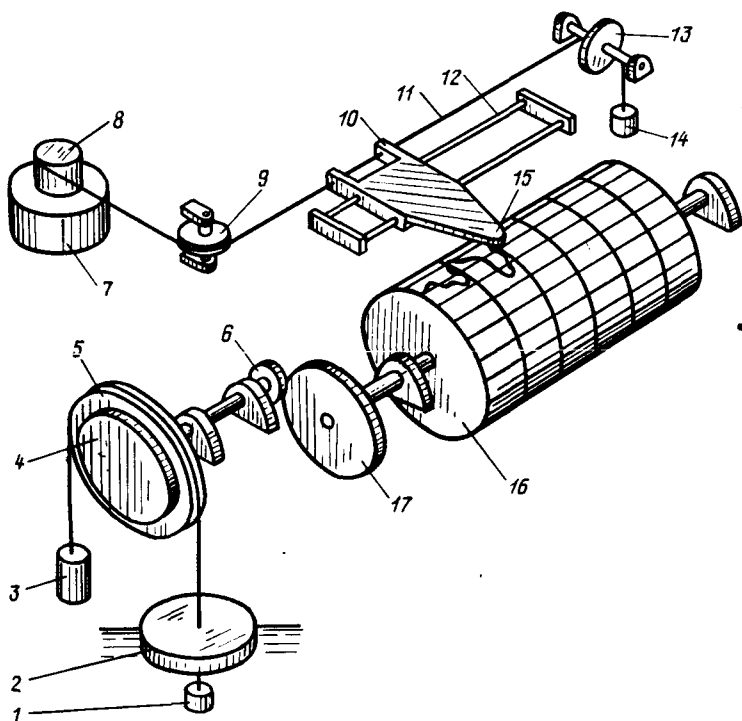


Рис. 6.16. Кинематическая схема самописца уровня «Валдай»:

1 — груз; 2 — поплавок; 3 — противовес; 4, 5 — поплавковые колеса; 6, 17 — шестерни; 7 — часовой механизм; 8, 16 — барабаны; 9, 13 — ролики; 10 — каретка; 11 — стальная струна; 12 — направляющий стержень; 14 — груз; 15 — перо

38 сут. Максимальное изменение уровня, регистрируемое прибором, составляет 600 см.

Устройство дистанционного измерения уровня УМ-2-30-ОНТБ-01, которое схематически изображено на рисунке 6.18, а, объединяет линией связи датчик ДСУ-1М и приемник УСП-1М. В датчике уровня ДСУ-1М (рис. 6.18, б) перемещение поплавка 1 передается при помощи троса 3 на барабан 4, один оборот которого соответствует изменению уровня воды на 0,5 м. Система уравнивается противовесом 2, связанным тросом с барабаном 5, который укреплен на одном валу с барабаном 4. Вращение вала через кинематическую схему передается на ротор сельсина-датчика, размещенного в корпусе 6, и на механизм счетчика-указателя 7 уровня. На лицевой стороне корпуса приемника УСП-1М (рис. 6.18, в) расположены подвижная шкала 1 и счетчик-указатель 2 уровня. Механизм счетчика и шкалы приводится от ротора сельсина-приемника, при этом показания счетчика бо-

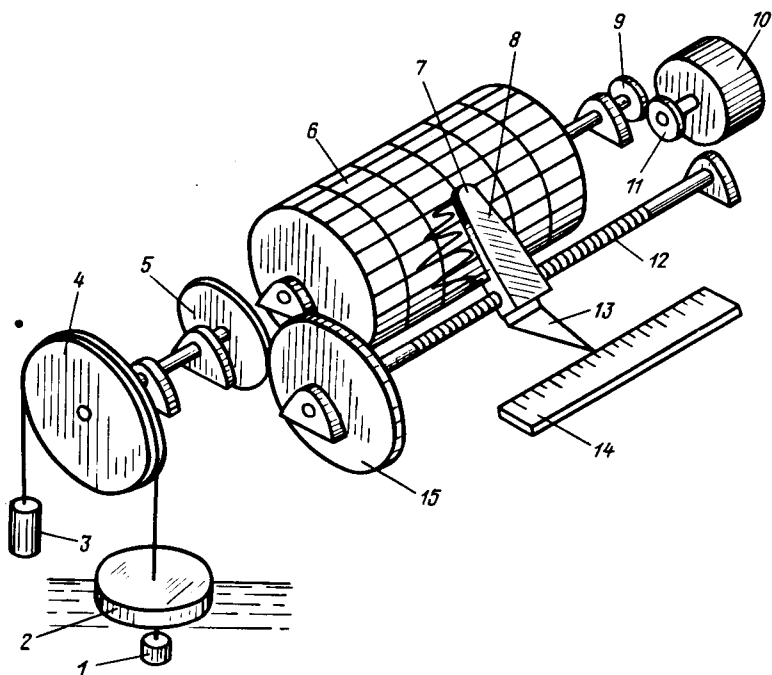


Рис. 6.17. Кинематическая схема самописца уровня ГР-38:

1 — груз; 2 — поплавок; 3 — противовес; 4 — поплавковое колесо; 5, 9, 11, 15 — шестерни; 6 — барабан; 7 — перо; 8 — каретка; 10 — часовой механизм; 12 — ходовой винт; 13 — указатель уровня; 14 — линейка

лее точны. В приемнике предусмотрены два электрических контакта для сигнализации дискретных значений уровня. Максимальное расстояние между датчиком и приемником определяется сопротивлением линии связи, которое не должно превышать 30 Ом. Для медных проводов сечением 4 мм² это расстояние достигает 10 км.

Принципиальная электрическая схема рассматриваемого устройства приведена на рисунке 6.18, г. Основные технические данные устройства таковы. Диапазон контролируемого уровня от 0 до 1,25; 2,5; 5; 10; 15; 20 м. Суммарная погрешность сельсинного устройства по счетчику 1% (от верхнего предела каждого диапазона измеряемых величин). Устройство предназначено для работы при температуре воздуха от минус 40 до плюс 40 °С и относительной влажности не более 90% при 20 °С и не более 50% при 40 °С. Гарантируется 2·10³ срабатываний контактов фиксируемых дискретных значений уровней. Контакты разрывают цепь напряжением 220 В постоянного и переменного тока при $\cos\phi = 0,6$ не более 0,1 А. Используя в данном устройстве

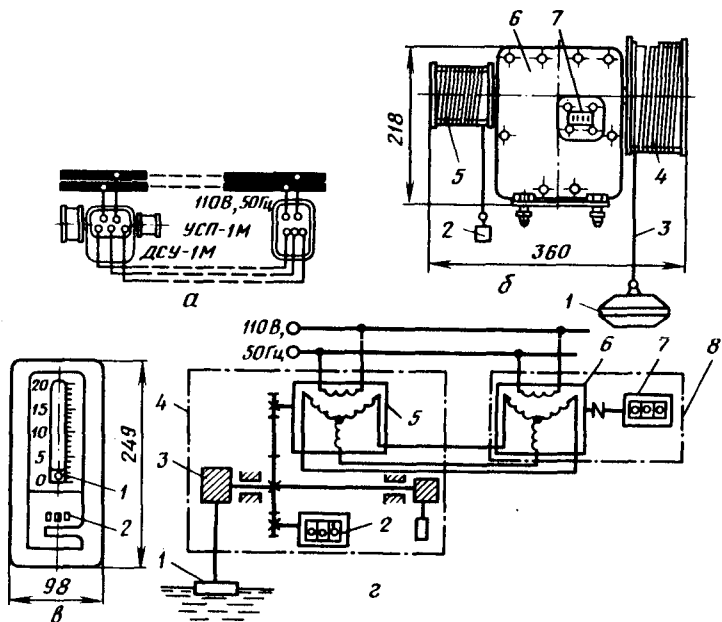


Рис. 6.18. Устройство дистанционного измерения уровня УМ-2-30-ОНТБ-01: а — общая схема; б — сельсин-датчик уровня ДСУ-1М; в — лицевая сторона сельсин-приемника уровня УСП-1М; г — принципиальная схема соединения ДСУ-1М и УСП-1М; 1 — поплавок; 2, 7 — указатели; 3 — измерительный барабан; 4 — прибор ДСУ-1М; 5 — сельсин-датчик; 6 — сельсин-приемник; 8 — прибор УСП-1М

приемник УСП-2М, в котором смонтирован дифференциальный сельсин можно измерять напор.

Поплавковый уровнемер многофункциональный УПМ-2 (уровнемер-перепадомер) предназначен для измерения уровня воды в открытых оросительных системах, для измерения положения затвора. Используют также в качестве индикатора для измерения перепада уровней воды.

Основные расчетные параметры и структура условного обозначения приведены на рисунке 6.19, согласно которой составляется условное обозначение уровнемера при его заказе. Например, УПМ-24-34-VI ТУ 33 означает: уровнемер с частотным выходным сигналом, выполняющий функцию измерения положения затвора, в диапазоне от 0 до 1,6 м, при изменении выходного телеизмерения от 2 до 4 кГц, климатического исполнения и категории размещения VI, выполняемого согласно ТУ 33. Пределы допускаемой основной погрешности $\pm 1\%$ диапазона изменения выходного параметра. Уровнемер предназначен для работы при температуре воздуха от минус 5 до плюс 50 °С и относительной влажности 95 % при температуре 35 °С и при более низких

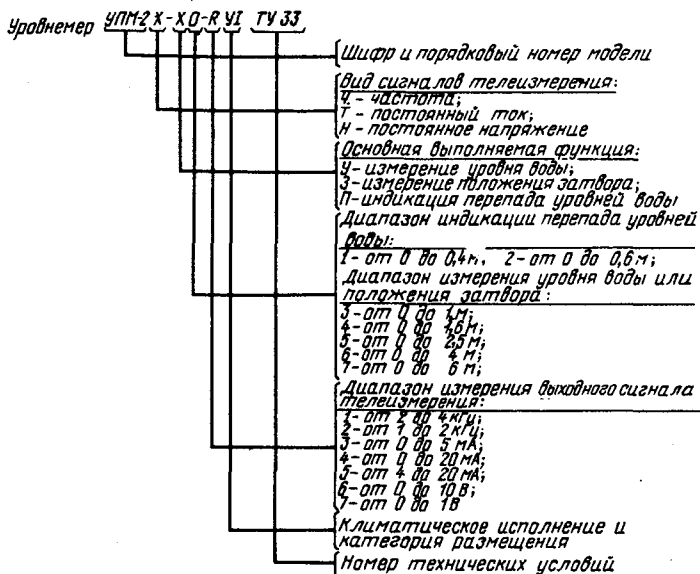


Рис. 6.19. Структура условного обозначения и расчетные параметры уровнемера УПМ-2

температурах без конденсации влаги. Устройство уровнемера показано на рисунке 6.20. Уровнемер имеет основной элемент 1, основание 6 и кожух 5. Основной элемент 1 состоит из редуктора 17, на выходном валу которого закреплен мерный шкив 16, а на ведомой шестерне 14 — шкала местного отсчета. На ведомом валу 7 закреплены кулачки 10 и 9 установки заданного значения уровня, настраивают которые вручную. К задней пластине редуктора крепится блок микропереключателей сигнализации крайних положений значения уровня 11 (контакт Н и контакт В). В верхней части установлена одна из плат преобразователя «напряжение — частота», «напряжение — ток» или «напряжение — напряжение» 12 (в зависимости от потребности). Передняя 13 и задняя 8 крышки обеспечивают необходимую пыле-влажностную защиту. Мерный шкив приводится в движение гибкими связями, соединенными с поплавком 18 и противовесом 19, а при транспортировке и в других случаях стопорится тормозным устройством 15. Электрические цепи подключены посредством кабеля 4 к клеммникам 3, 2.

Работа уровнемера основана на способе прямого слежения за уровнем системой «поплавок — противовес». Линейное перемещение поплавка преобразуется в угловое перемещение ведущего вала редуктора, приводящего в движение потенциометр, который совместно с электрической схемой (платой) преобразователя формирует сигнал телеизмерения. Кулачки, настроенные на необ-

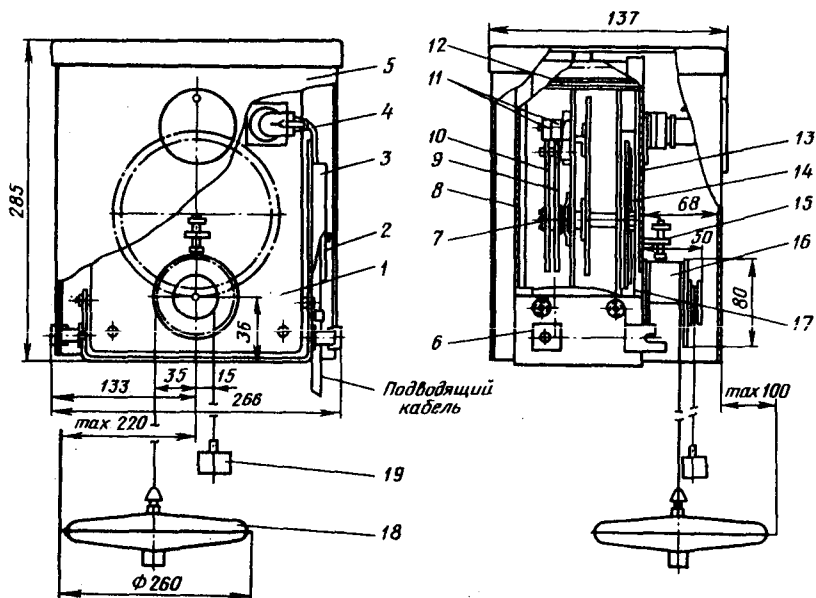


Рис. 6.20. Уровнемер поплавковый многофункциональный УПМ-2:

1 — основной элемент; 2, 3 — клеммники; 4 — кабель; 5 — кожух; 6 — основание; 7 — ведомый вал; 8, 13 — задняя и передняя крышки; 9, 10 — кулачки; 11 — уровень; 12 — платы преобразователя; 14 — ведомая шестерня; 15 — тормозное устройство; 16 — мерный шкив; 17 — редуктор; 18 — поплавок; 19 — противовес

ходимое значение уровня, включают-отключают в блоке микропереключателей контакт *В* (контакт *Н*) при повышении (понижении) уровня воды. Максимальный диапазон измерения уровня или положения затвора 0...6 м. На диапазон измерения более 6 м УПМ-2 изготавливают по специальному заказу.

§ 6.7. Автоматические регуляторы

Регулятор уровня воды «Парус» предназначен для автоматической стабилизации уровня воды в открытых каналах. Регулятор используется либо автономно, либо совместно с системой телемеханики для диспетчерского управления. Стабилизируя уровень в НБ, регулятор одновременно контролирует уровень ВБ и при достижении им предельного значения переключается на регулирование уровня ВБ для ликвидации аварийной ситуации путем сброса излишков воды из ВБ в НБ. Структурная схема управления при помощи регулятора приведена на рисунке 6.21.

На схеме показана работа модификации регулятора при установке трех пар электродных датчиков для стабилизации уровня НБ и трех датчиков стабилизации уровня ВБ. Регулятор поставляют в восьми модификациях (табл. 6.2).

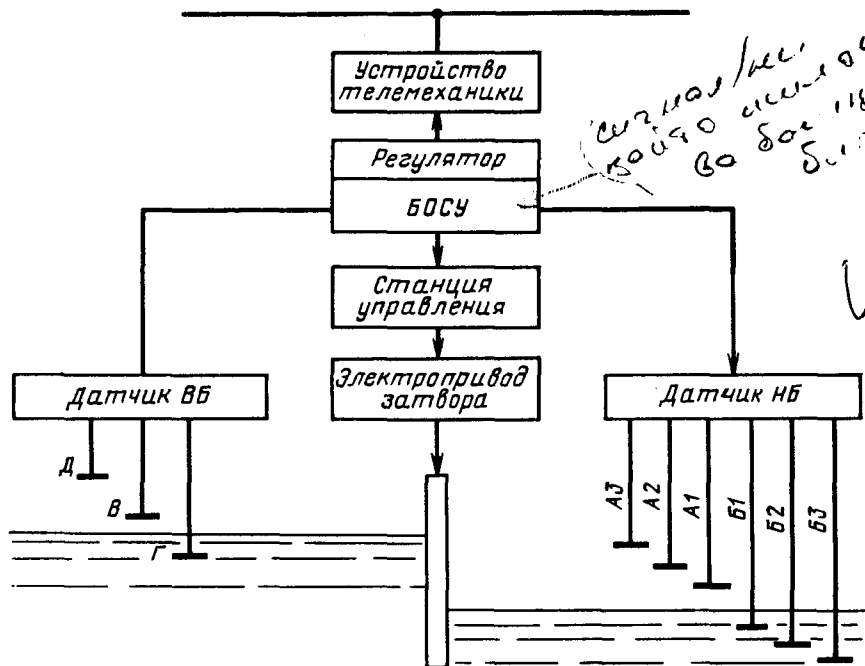


Рис. 6.21. Структурная схема автоматического регулятора уровня «Парус»

Цикл работы режима регулятора по НВ осуществляется в такой последовательности: ждущий режим при нахождении уровня воды в зоне нечувствительности; режим «Задержка» —

6.2. Модификации регулятора «Парус»

Тип регулятора	Режим регулирования	Тип дат
		ВВ
Парус I-1-00	Дискретное регулирование	Три электрода
Парус I-2-00	Дискретно-пропорциональное регулирование	То же
Парус I-3-14	Пропорциональное регулирование	»
Парус I-3-24	То же	»
Парус I-4-14	»	»
Парус I-4-24	»	»
Парус I-5-14	»	»
Парус I-5-24	»	»

такт проверки отклонения от задания; такт рабочего импульса; такт — пауза. Диапазон регулирования длительности такта задержки по НБ и ВБ от 2 до 60 с. Диапазон регулирования длительности рабочего импульса при дискретном и дискретно-пропорциональном регулировании от 4 до 32 см. При этом при дискретно-пропорциональном регулировании длительность регулируется раздельно для каждой пары электродных датчиков А1-Б1, А2-Б2, А3-Б3.

Диапазон изменения длительности рабочего импульса (с) по НБ при пропорциональном регулировании определяется выражением

$$T_n = (T_n + c\Delta h)KK_{ум}c,$$

где T_n — начальное время, регулируемое от 4 до 40 с; c — постоянная преобразования величины рассогласования в длительность, равная $1 \pm 0,1$ с/см; Δh — величина рассогласования от 0 до 50 см; K — коэффициент пропорциональности, регулируемый от 0,1 до 1; $K_{ум}$ — коэффициент умножения из ряда 1, 2, 4, 8, 16.

Диапазон регулирования длительности рабочего импульса по ВБ от 4 до 32 мин. Диапазон регулирования паузы по НБ и ВБ от 2 до 240 мин.

Выходные реле управления приводом затвора позволяют коммутировать переменный ток до 2 А при напряжении 220 В.

Общий вид составных частей регулятора приведен на рисунке 6.22. Регулятор состоит из следующих составных частей: блока отработки сигналов и управления (БОСУ), предназначенного для обработки входных сигналов, формирования алгоритма регулирования и сигналов коррекции положения затвора; блока отработки рассогласования (БОР), формирующего величину и знак рассогласования уровня воды от величины уставки; блока отработки задания (БОЗ), предназначенного для телемеханической

чика	Диапазон регулиро- вания уставки, м	Частота ТИ и ТРФ, кГц	Примечание
НБ			
Два электрода	$H_{уст}$	—	—
Три пары электродов	—	—	
Поплавковый датчик	—	1...2	—
То же	—	2...4	—
»	2,5	1...2	С телемехани- ческой переда- чей уставки
»	2,5	2...4	То же
»	1	1...2	»
»	1	2...4	»

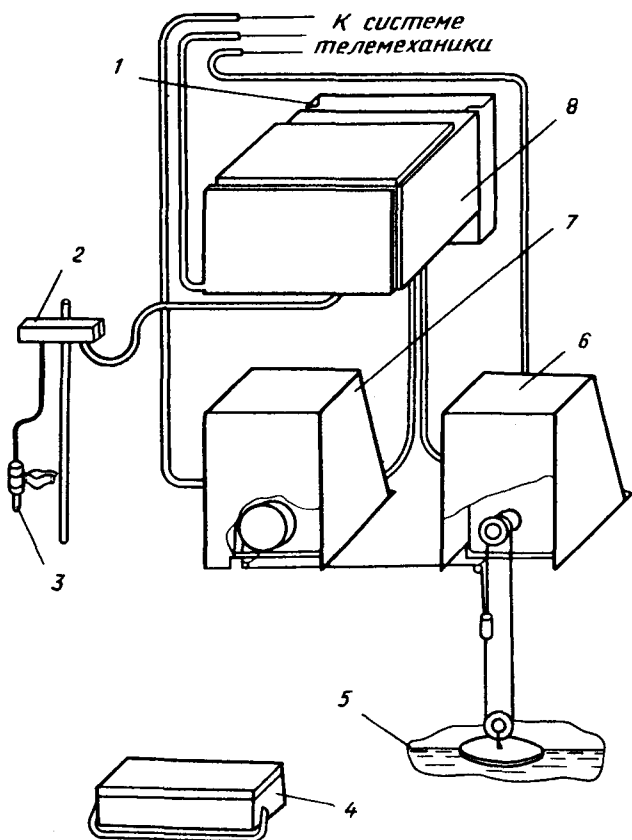


Рис. 6.22. Общий вид составных частей авторегулятора «Парус»:

1 — основание БОСУ; 2 — распределительная коробка; 3 — электродный датчик; 4 — БС; 5 — регулируемый уровень; 6 — БОР; 7 — БОЗ; 8 — БОСУ

кого изменения уставки; блока сервиса (БС) для проверки исправности регулятора и настройки временных параметров (поставляется по отдельному заказу обычно для обслуживания группы регуляторов); электродных датчиков, формирующих дискретные сигналы величин уровня воды. Задатчик уставки (ЗУ) осуществляет телемеханическое управление гидро- и пневмогидрорегуляторами уровня и расхода воды открытых оросительных систем. Например, для телеуправления затворами непрямого действия Маковского (см. рис. 6.10) и аналогичными им.

Все типы задатчиков уставки построены на базе единого комплекса блоков: задания уставки; сравнения заданной уставки с текущим значением регулируемого параметра; отклонения,

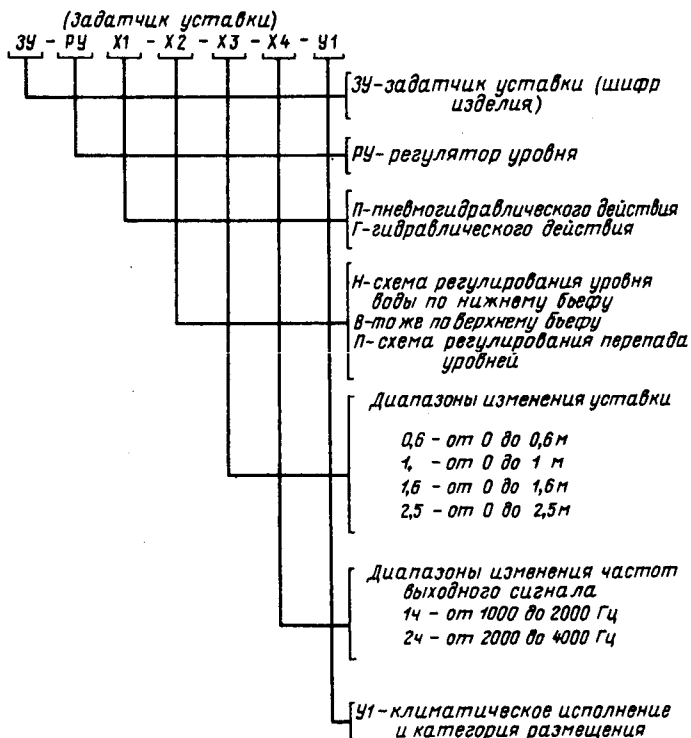


Рис. 6.23. Расшифровка условного обозначения задатчиков уставки регулятора «Парус»

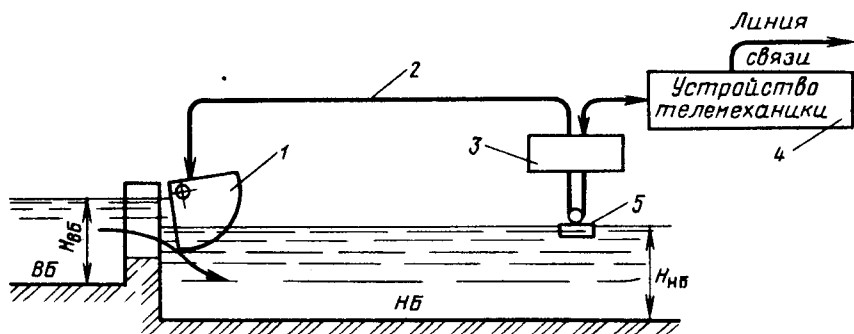


Рис. 6.24. Схема локального регулирования уровня воды в НБ: 1 - исполнительное устройство водоподачи гидравлического или пневматического устройства; 2 - магистраль обратной связи; 3 - датчик уставки; 4 - устройство контролируемого пункта; 5 - поплавок

формирующего механический сигнал управляющего воздействия на рабочий орган исполнительного устройства регулятора; сигнализации достижения предельных границ рабочего и автоматического отключения. Задатчики уставок разработаны в 22 исполнениях. На рисунке 6.23 приведены расшифровка условного обозначения задатчиков уставки и параметры, на которые они рассчитаны. Например, ЗУ-РУГ-Н-1,0-2ч-VI расшифровывается: задатчик уставки для регуляторов уровня воды гидравлического действия НБ с возможностью задания уставки по уровню от 0 до 1 м, контроль уставки будет производиться в диапазоне изменения частоты электрического тока от 2000 до 4000 Гц; изделие отвечает климатическому исполнению VI по ГОСТ 15150—69.

Схема локального регулирования по НБ с задатчиком уставки приведена на рисунке 6.24. Основная приведенная погрешность отработки заданного значения уставки — не более $\pm 1\%$ диапазона изменения уставки; номинальное напряжение питания от автономного источника питания либо по каналу телемеханики — 24 В постоянного тока; допустимые изменения напряжения питания по каналу телемеханики $24 \pm 2,4$ В.

§ 6.8. Расходомеры на напорных трубопроводах

Расходомеры, устанавливаемые на напорных трубопроводах преимущественно насосных станций, выполняют следующие функции: непрерывное измерение мгновенного расхода для оперативного контроля за работой системы; получение рабочих характеристик насосных агрегатов; настройка системы автоматического управления насосами; контроль утечек; измерение объема (интегрального расхода) подаваемой воды за определенный промежуток времени (ч, сут); непрерывная регистрация расхода, в частности, для фиксации переключений поливных машин и насосных агрегатов; получение сигналов для схем автоматического управления по расходу; выдача информации в центр учета экономической эффективности работы насосных станций; коммерческий расчет за поданный объем воды. Перечисленные функции в зависимости от конкретной поставленной задачи реализуются в различных сочетаниях.

На гидромелиоративных системах применяют четыре типа расходомера (табл. 6.3): индукционные электромагнитные типы ИР-61, индукция 51; ультразвуковые Акстрон модели УЗР-В; электромагнитные местной скорости ЭРИС; с сужающими устройствами — трубами Вентури, нормальными и укороченными сегментными диафрагмами.

Действие индукционных электромагнитных расходомеров типа ИР-61 (рис. 6.25) основано на явлении электромагнитной индукции. Датчик расходомера представляет собой участок трубы 2 из немагнитной нержавеющей стали, внутренняя поверхность

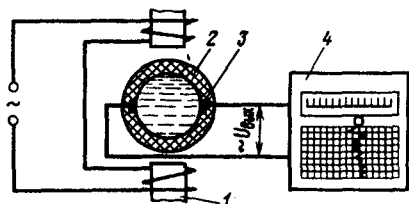


Рис. 6.25. Принципиальная схема индукционного расходомера:

1 — катушки электромагнита; 2 — участок трубы; 3 — электроды; 4 — измерительный прибор

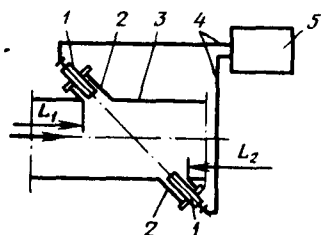


Рис. 6.26. Схема ультразвукового расходомера «Акустрон» модели УЗР-В:

1 — пьезометрический датчик; 2 — патрубок; 3 — трубопровод; 4 — сигнальный кабель; 5 — электронный блок

которой покрыта изоляционным материалом (резина, эпоксидная смола, кислотостойкая эмаль, фторопласт). С внешней стороны расположены катушки электромагнита 1, создающие в трубе магнитное поле. Жидкость, двигаясь по трубе, пересекает магнитные силовые линии. При этом в жидкости как в движущемся проводнике индуцируется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная средней скорости потока, а следовательно, и расходу. Индуцируемая ЭДС снимается двумя электродами 3, смонтированными перпендикулярно к внешнему магнитному полю. Возникающая на электродах разность потенциалов фиксируется вторичным прибором.

Расходомер УЗР-В относится к типу ультразвуковых, в нем измеряют разность частот следования импульсов ультразвуковых колебаний, направленных по потоку и против него. В состав УЗР-В (рис. 6.26) входят два пьезоэлектрических датчика 1, монтируемых на трубопроводе 3, электронный блок 5 с указателем расхода и счетчиком. Высокие качества, и в частности эксплуатационная надежность, делают расходомер УЗР-В одним из самых перспективных. В приборе УЗР-В встроен стрелочный индикатор мгновенного расхода, электромеханический счетчик суммарного расхода, индикатор системы встроенного контроля, обеспечивающего индикацию нарушения работы и опорожнения трубопровода. К недостаткам расходомера относится большая требуемая длина (L_1 , L_2) прямых участков перед и после датчика расходомера.

Расходомер ЭРИС относится к расходомерам местной скорости и основан на измерении расхода методом «скорость — площадь» в точке поперечного сечения трубопровода. Расходомер (рис. 6.27) состоит из датчика скорости 8, вводимого в трубопровод 1, блока подготовки сигнала 4 и электронного блока 6. Датчики расходомеров имеют малые габариты и массу. Однако точность расходомеров местной скорости ниже, чем у полнопроходных расходомеров, требуемая длина прямых участков больше.

Расходомеры с сужающими устройствами состоят из следую-

6.3. Расходомерные устройства напорных трубопроводов

Характеристика	Ультразвуковой типа Актрон модели УЗР-В	Электромагнитные		ЭРИС (местной скорости)	С сужающими устройствами с трубами Вен-тури типа А с сегментными диафрагмами
		индукция 51	ИР-61		
Выполняемые функции	Мгновенный расход, интегральный расход	Мгновенный расход, интегральный расход	Мгновенный расход	Мгновенный расход	Мгновенный расход, интегральный расход
Диапазон диаметров трубопроводов D_y , мм	400...1000	400...800	10...300	400...1000	200...1400
Максимальное давление, МПа	6	1	2,5	1	1,6
Диапазон измерений (при относительной погрешности $\leq 10\%$)	1:50 (по частотному выходу)	1:7 (для $D_y = 400...600$ мм), 1:4 (для $D_y = 800$ мм)	1:10	1:4	1:3 (1:5 с дифманометрами «Сапфир»)
Верхний предел измерений, м/с	1,25...10	2...10	1,6...10	1,25...4	Практически не ограничен
Предел основной погрешности, % от верхнего предела измерения	1...1,5	1,5 (для $D_y = 400...600$ мм), 2,5 (для $D_y = 800$ мм)	1	1,5 по средней скорости, 2,5 по расходу	1,8...2,9 1,6...2,7
Относительная длина участка трубопровода до прямого меря	20...70 (при установке датчиков по хорде)	5	5	30...80	0,5...3,8 5...8
Относительные потери давления		3	3	5	5...6,3 5...8
					50...12 50...90

Пренебрежимо малы

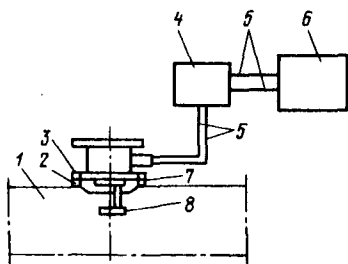


Рис. 6.27. Схема расходомера местной скорости ЭРИС:

1 — трубопровод; 2 — бобышка; 3 — фланец; 4 — блок подготовки сигнала; 5 — электрическая связь; 6 — электронный блок; 7 — прокладка; 8 — датчик местной скорости

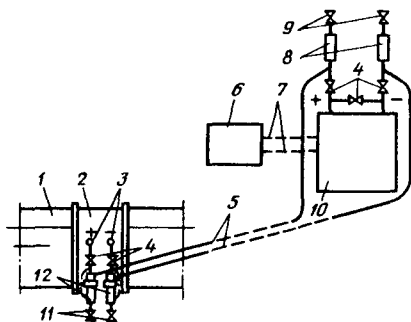


Рис. 6.28. Схема расходомера с сужающим устройством:

1 — трубопровод; 2 — преобразователь расхода (сужающее устройство); 3 — отверстие для отбора перепада давления; 4 — запорная арматура; 5 — соединительная линия; 6 — вторичный прибор; 7 — электрическая связь; 8 — газосборник; 9 — продуваемый вентиль газосборника; 10 — дифманометр; 11 — продувочный вентиль; 12 — отстойный сосуд

ших основных частей: сужающего устройства, монтируемого на трубопроводе; соединительных линий, передающих перепад давления от датчика к дифманометру-расходомеру; дифманометра, преобразующего перепад давления в унифицированный сигнал; измерительного прибора, воспринимающего унифицированный сигнал. Схема расходомера с сужающим устройством для случая, когда дифманометр 10 расположен выше преобразователя расхода 2, представлена на рисунке 6.28. Для защиты дифманометра от попадания в него загрязнений предусмотрены отстойные сосуды 12; для сбора воздуха, выделяющегося из воды, устанавливают газосборники 8.

Расходомеры с сужающими устройствами, несмотря на широкое их распространение в промышленных установках, в автоматизированных гидромелиоративных системах находят ограниченное применение вследствие малого диапазона измерений, сравнительно больших потерь напора и требуемой частоты продувки и промывки.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие требования предъявляются к затворам телеуправляемого, автоматизированного гидротехнического сооружения и чем они отличаются от затворов ручного управления?
2. Расскажите о плоских автоматизированных затворах. В чем их достоинства и недостатки?
3. Что представляет собой винтовой подъемный механизм с электроприводом?
5. Как устроены затворы с козырьками и для каких целей их применяют?

5. Что представляет собой масляный привод затвора и в каких случаях его применяют?
6. Расскажите об отличительных особенностях затворов гидравлического действия.
7. Как устроен затвор Маковского для стабилизации уровня воды и в чем его основное отличие от затвора «Нейпик»?
8. Что такое «модуль-маска», как он устроен?
9. Какие затворы гидравлического действия Вам известны, кроме описанных в настоящей главе?
10. Расскажите о методах измерения расхода в открытых каналах.
11. Расскажите о датчиках и приборах для измерения уровня в открытых каналах.
12. Что Вы знаете о пропорционально-импульсных регуляторах?
13. Как устроен автоматический регулятор «Парус»?
14. Какие приборы для измерения, контроля и регулирования уровня воды Вам известны?
15. Какие типы расходомеров для измерения расхода и стока в напорных трубопроводах Вам известны и в каких случаях каждый из типов применяют?

Глава 7. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

§ 7.1. Общие сведения

Земли, на которых возможно самотечное орошение, почти исчерпаны, и ввод новых орошаемых земель осуществляют в основном за счет машинного водоподъема.

Воду к орошаемым площадям, расположенным выше источников водоснабжения, подают насосными станциями.

Сооружают насосные станции: подкачки для создания необходимого напора в закрытых системах поверхностного полива и полива дождеванием; для заполнения водохранилищ и отвода сбросных вод из дренажно-коллекторной сети; для вертикального дренажа; в осушительных и осушительно-увлажнительных системах для отвода воды в периоды избыточного увлажнения и подачи ее на орошение в засушливый период.

Различные водоподъемные установки находят применение для обводнения пастбищ.

Подача гидромелиоративных насосных станций может быть от нескольких единиц до сотен кубических метров в секунду. Не менее широк диапазон требуемых напоров. В соответствии с этим мощность станций колеблется от десятков до сотен тысяч киловатт. Построены и эксплуатируются такие крупные оросительные насосные станции, как Каховская с подачей $530 \text{ м}^3/\text{с}$, мощностью 168 тыс. кВт, Аму-Бухарские станции — 60 и $150 \text{ м}^3/\text{с}$, общей мощностью 275 тыс. кВт, Шерабадская с подачей $120 \text{ м}^3/\text{с}$, мощностью 45 кВт, и ряд других. Предусмотрена насосная станция на канале Волго — Дон с общей установленной мощностью 288 МВт, подачей $224 \text{ м}^3/\text{с}$. На этой станции подлежат установке наиболее мощные в отрасли насосные агрегаты в 32 МВт. подача такого агрегата при напоре 86 м равна $29 \text{ м}^3/\text{с}$.

Большая высота подъема воды обуславливает сооружение каскадов насосных станций. Каскад обычно состоит из 2...6 станций зачастую без достаточных регулирующих емкостей между ними. Например, в Каршинской степи (Узбекская ССР) действует каскад из 6 насосных станций с 36 агрегатами подачи $175 \text{ м}^3/\text{с}$ и общей установленной мощностью 450 тыс. кВт. На Кизилинский массив орошения (Таджикская ССР) воду подают каскадом из 6 насосных станций на высоту 380 м с расходом в голове $16,45 \text{ м}^3/\text{с}$ и общей установленной мощностью 117,6 МВт. Каскады насосных станций предъявляют высокие требования к регулированию их подачи для обеспечения нормальных режимов работы расположенных между ними каналов.

Насосные станции, как правило, проектируют с расчетом их эксплуатации без постоянного дежурного персонала. На крупных станциях предусматривают малочисленный обслуживающий персонал, который преимущественно осуществляет контрольные функции. Устанавливают автоматический режим работы насосных агрегатов.

Промышленность поставляет станции управления насосными агрегатами, обеспечивающие от одного импульса всю последовательность операции при пуске и остановке агрегата, включая все его вспомогательные механизмы, защиту агрегата от возможных неполадок и его отключение при возникновении аварийных ситуаций, предупредительную и аварийную сигнализацию. Автоматизируют также общестанционные установки, например такие, как отопление, вентиляция, все вспомогательные системы — маслоподачи, смазки подшипников, охлаждающая вода и др.

Собственно насосная станция является частью узла сооружений машинного водоподъема, в состав которого в общем случае входят водозаборное, отстойное, приемное и водовыпускное сооружения, всасывающие трубы, насосная станция, напорные трубопроводы и т. д.

Все эти сооружения и устройства участвуют в процессе перекачки воды, и автоматизация их работы обычно входит как составная часть общего объема автоматизации насосной станции. Насосная станция в целом, помимо перечисленного, автоматизируется в зависимости от назначения и заданного режима работы. Зачастую осуществляется автоматический выбор включаемых агрегатов, ввод резерва, восстановление работы станций после кратковременных перебоев в подаче напряжения и др. И наконец, хотя станция является законченным узлом сооружений, при автоматизации гидромелиоративной системы в целом ее рассматривают как звено в единой цепи объектов системы, работа которых взаимоувязана и взаимообусловлена, что налагает дополнительные, особые требования к автоматизации насосной станции.

Из сказанного следует, что насосные станции являются весьма распространенными, необходимыми и ответственными объектами гидромелиоративных систем. Их автоматизация дает

большой экономический эффект, и во многих случаях без автоматизации невозможно обеспечить их эффективную работу.

§ 7.2. Рабочие характеристики насосов

Насосный агрегат — это насос, сочлененный с приводным электродвигателем, а насосная установка — это насосный агрегат с комплектом вспомогательного оборудования, смонтированного по определенной схеме и обеспечивающего работу насосного агрегата по данной схеме. При автоматизации насосной станции в первую очередь автоматизируют работу насосных установок (агрегатов). При этом среди исходных данных, определяющих автоматизацию, существенное место занимают рабочие характеристики и типы принятых насосов.

Рабочими характеристиками насоса называют следующие зависимости: расход — напор ($Q - H$); расход — мощность ($Q - N$); расход — КПД насоса ($Q - \eta$), при постоянной частоте вращения насоса.

Преимущественно применяют осевые и центробежные, горизонтальные и вертикальные насосы. Типовые рабочие характеристики центробежного насоса приведены на рисунке 7.1. Здесь H_0 — напор, создаваемый насосом при его работе с закрытой задвижкой на напорном трубопроводе, то есть при $Q = 0$. Этот напор, как правило, является максимальным и расчетным для всех элементов трубопроводной сети (не считая повышения напора при гидравлических ударах). Мощность N_0 , потребляемая насосом при $Q = 0$ и $H = H_0$, которая затрачивается на преодоление механических потерь в подшипниках, сальниках, а также на перелопачивание воды в корпусе насоса, обычно находится в пределах 30..40 % номинальной мощности насоса и возрастает с увеличением его быстроходности. Длительная работа центробежного насоса при закрытой напорной задвижке приводит к опасному перегреву воды в корпусе насоса, что может вызвать в нем деформации, перегрев подшипников и срыв работы. По этой причине при закрытой задвижке напорного трубопровода допускают работу насоса лишь в течение нескольких минут. Значение N_0 учитывают при выборе электропривода и схемы управления им. Точка A на характеристике $Q - \eta$ соответствует максимальному значению КПД, ее называют оптимальной, так как она соответствует оптимальному режиму работы насоса. При этом его подача равна Q_A . При выборе насоса стремятся, чтобы его рабочий режим соответствовал оптимальному, однако на практике работу насоса принимают в пределах определенной зоны характеристики $Q - H$, лежащей по обе стороны точки, в которой $\eta \geq 0,9\eta_{\max}$. Эту зону называют рабочей областью (на рисунке — область значений от Q_1 до Q_2).

Крутизна характеристики $Q - H$ (%) определяется отношением

$$K = (H_0 - H_A) 100 / H_A,$$

где H_0 — напор насоса при закрытой задвижке; H_A — напор при максимальном значении КПД.

Пологой считают характеристику с крутизной 8...12%. Особенность насосов с пологой характеристикой — сравнительно небольшие изменения напора при значительном колебании расхода. Крутыми называют характеристики с крутизной 25...30%. Насосы с крутыми характеристиками используют, когда значительным колебаниям напора должен соответствовать малый диапазон колебаний расхода.

На характеристиках $Q - H$ (см. рис. 7.1.) кривая 1, непрерывно снижающаяся, и 1' на участке $H_0 - H_c$ возрастают, достигая в точке H_c максимума. Работа насосов с непрерывно снижающимися характеристиками протекает устойчиво во всех точках кривой, работа насосов с возрастающими характеристиками, подобно кривой 1' на участке $H_0 - H_c$, носит неустойчивый характер. На этом участке одному и тому же напору соответствуют различные расходы насосов. Поэтому работу насосов с характеристикой, имеющей неустойчивый участок, допускают только с расходами, превышающими расход в неустойчивой зоне.

Рабочие характеристики осевого насоса приведены на рисунке 7.2. Из рисунка следует, что кривая напора H представляет собой крутую характеристику без наличия на ней

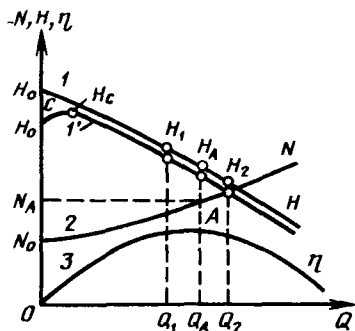


Рис. 7.1. Характеристики центробежного насоса:

1 и 1' — расход — напор ($Q - H$);
2 — расход мощности ($Q - N$); 3 — расход КПД ($Q - \eta$)

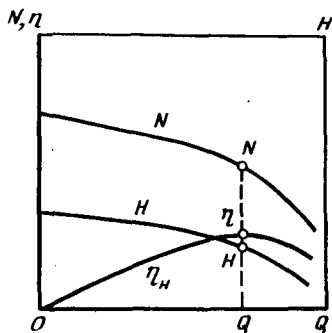


Рис. 7.2. Характеристики осевого насоса при $n = \text{const}$

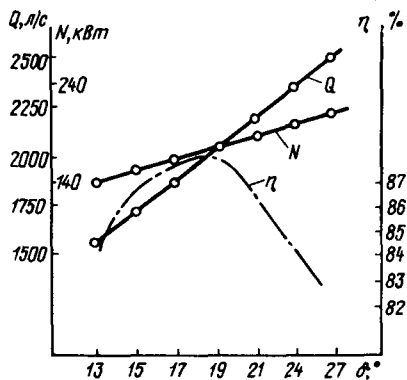


Рис. 7.3. Пример изменения Q , N и η при $H = \text{const}$ и $n = \text{const}$ для осевого насоса в зависимости от поворота лопастей и угла их установки δ

максимума. Кривая мощности N отличается от аналогичной кривой центробежного насоса тем, что по мере увеличения расхода мощность падает. Наибольшую мощность осевой насос потребляет при $Q = 0$. Учитывая это обстоятельство, его, как правило, включают при открытой задвижке на напорном трубопроводе. Ряд осевых насосов выпускают с механизмом поворота лопастей, что позволяет регулировать его расход. Кривые изменения Q , N и η при H и $n = \text{const}$ в зависимости от угла δ установки лопастей приведены на рисунке 7.3. Из рисунка видно, что при постоянном напоре H возможно в определенных пределах изменять Q при соответствующих изменениях N и η насоса. По создаваемому напору насосы делят на низконапорные (до 20 м), средненапорные (20..60 м) и высоконапорные (более 60 м). На гидромелиоративных насосных станциях используют насосы с напорами всех перечисленных групп.

§ 7.3. Автоматическое управление насосными установками

Насосная установка со всем входящим в ее состав вспомогательным гидромеханическим и электрическим оборудованием, датчиками управления и контроля — самостоятельный объект автоматизации. Чем сложнее насосный агрегат и технологическая схема, тем сложнее схема автоматизации и тем труднее обеспечить надежную его работу. Поэтому при выборе гидромеханической схемы стремятся обеспечить простоту и надежность вспомогательного оборудования и по возможности свести его к минимуму. Соответственно уменьшается число датчиков, реле и других устройств автоматики.

Технологические схемы установок с различными типами насосов — осевыми и центробежными (горизонтальными и вертикальными) — приведены на рисунке 7.4. В этих схемах отражены основные специфические особенности агрегатов и требования гидромеханических схем к устройствам автоматики.

Для задержания мелких плавающих предметов, содержащихся в воде, и предохранения насосов от засорения на входе во всасывающую камеру устанавливают сетку, которая в процессе эксплуатации засоряется и требует чистки. Степень засорения сеток определяют по потере в них напора. Для контроля степени засорения служит прибор ДРД1, измеряющий перепад уровней до и после сетки; однотипный прибор ДРД2 контролирует засорение рыбозаградителя, устанавливаемого на насосах независимо от их типа.

Запускают осевой насос на открытую задвижку, и соответственно в его гидромеханической схеме задвижка отсутствует.

В ряде случаев осевые насосы поставляют с механизмом поворота лопастей. В схеме управления появляется система привода этого механизма и указатель поворота лопастей в виде системы «сельсин-датчик — сельсин-приемник».

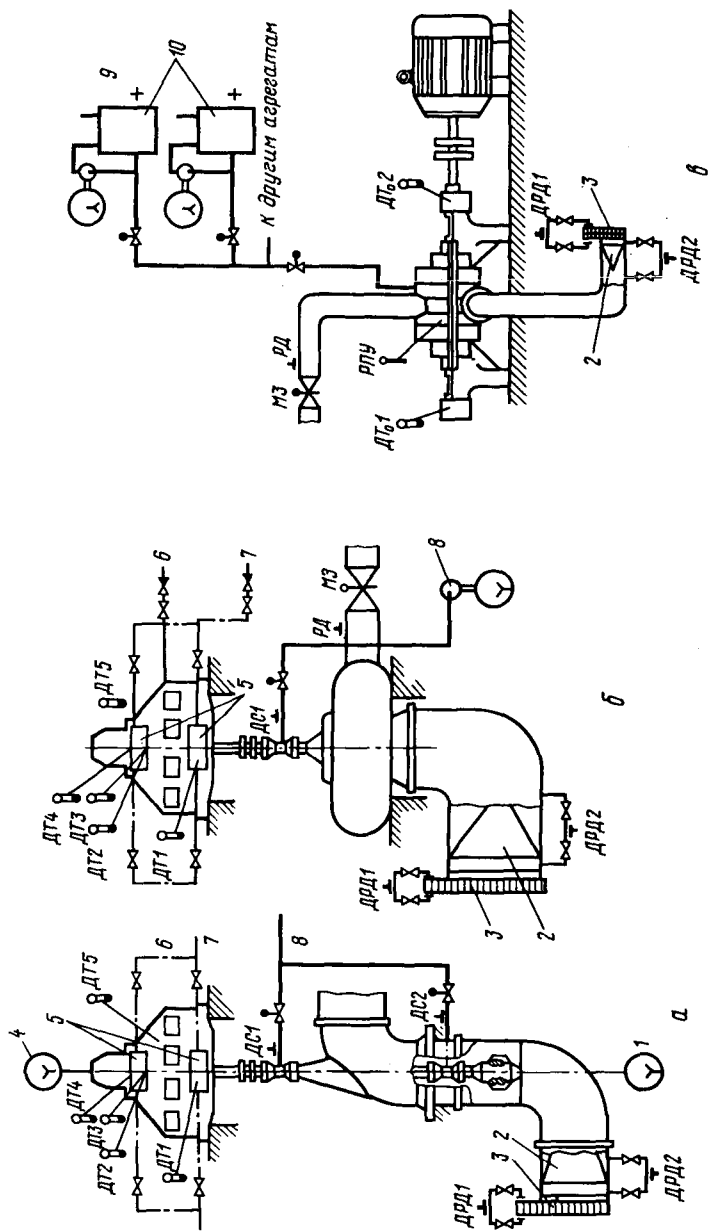


Рис. 7.4. Технологические схемы насосных установок: а — с осевым насосом; б — с центробежным вертикальным насосом; в — с центробежным горизонтальным насосом; 1 — электродвигатель; 2 — рыбозаградитель; 3 — сетка; 4 — сельсин-датчик системы поворота лопастей; 5 — масляная ванна; 6 — магистраль системы охлаждения электродвигателя; 7 — система масляной смазки; 8 — магистраль технической воды на смазку нагревающих подшипников; 9 — групповая вакуум-установка; 10 — циркуляционные баки

Для пуска центробежного насоса, если он не установлен под залив, предварительно заполняют водой внутреннюю полость корпуса насоса одним из способов, которые будут рассмотрены ниже. В большинстве случаев пуск центробежного насоса осуществляют на закрытую задвижку. Открытие задвижки на напорном трубопроводе является завершающей операцией пуска насосной установки. Датчик РД контролирует давление воды, а датчик ДТ01 и ДТ02 — температуру подшипников насоса. Отличительная конструктивная особенность вертикального центробежного насоса — его соединение с электродвигателем при помощи вертикального вала. Для фиксации вала через 1,5...2 м по его длине устанавливаются направляющие подшипники, воспринимающие радиальные усилия. Направляющие подшипники имеют водяную смазку и к ним подводят магистраль технической воды. Наличие струи технической воды контролируют датчиками ДС1, ДС2. Масса вращающихся частей насоса, а также остаточные осевые усилия воспринимаются пятой вертикального электродвигателя. К верхнему и нижнему направляющим подшипникам и подпятнику электродвигателя подводят масляную смазку. Обычно подпятник и подшипники расположены в масляных ваннах, охлаждаемых водой. Датчики ДТ1...ДТ4 контролируют температуру подшипников и подпятника, датчик ДТ5 — температуру охлаждающей воды.

По сложности гидромеханических схем и соответственно по числу применяемой аппаратуры в схеме управления насосные установки делят на четыре группы:

- насосные установки без управляемого вспомогательного оборудования. Управление такой установкой сводится к управлению насосным агрегатом;

- насосные установки с задвижками на напорном трубопроводе, но без вакуум-системы;

- насосные установки с индивидуальными вакуум-насосами и задвижками на напорном трубопроводе;

- насосные установки с индивидуальными задвижками на напорном трубопроводе и общей вакуум-установкой.

Во всех случаях, когда требуется составить схему автоматического управления установкой, подробно изучают гидромеханическую схему и требования, предъявляемые ею к системе управления.

§ 7.4. Управление насосной установкой без управляемого вспомогательного оборудования

Управление насосной установкой первой группы без вспомогательного оборудования по существу сводится к управлению электродвигателем насоса и контролю за работой агрегата. Благодаря этому схема автоматического управления получается простой, требует для своего выполнения минимального числа аппаратуры

и обеспечивает высокую надежность. Первую группу схем, как правило, легко осуществить для насосных установок с осевыми насосами. Работа центробежных горизонтальных насосов по этой схеме, то есть без использования вакуум-насоса и запорной арматуры на напорном трубопроводе, возможна лишь при специальном конструктивном решении насосной станции, применения специальных устройств для заливки насосов, индивидуальных напорных трубопроводов и обратных клапанов.

Рассмотрим основные гидромеханические схемы таких насосных станций и требования, предъявляемые ими к схемам автоматического управления. В гидромелиоративных насосных станциях с центробежными насосами необходимость в установке вакуум-насосов исключается различными способами и устройствами: установкой насосов в заглубленных камерах с отрицательной высотой всасывания (камерный тип насосной станции) или использованием для заливки специальных устройств — бака-аккумулятора или приподнятой всасывающей трубы.

Установка насосов в заглубленных камерах. В этом случае оси насосов располагают ниже уровня водозабора, и насосы всегда находятся под заливом. Сооружение насосных станций камерного типа связано с увеличением объема строительных работ и требует их особого качественного выполнения. Наряду с этим применение насосных установок с заглубленными камерами дает значительный технико-экономический эффект. Отрицательная высота всасывания позволяет использовать насосы с малой высотой всасывания, с более высокими КПД, благодаря чему повышается подача и снижается расход электроэнергии по сравнению с аналогичными условиями при положительной высоте всасывания. При технико-экономическом сравнении вариантов типов насосных станций следует принять во внимание, что при установке насосов под постоянный залив упрощается схема автоматического управления и уменьшается общее число аппаратуры. Повышается надежность сальниковых уплотнений за счет наличия избыточного давления.

Залив горизонтального центробежного насоса с помощью приподнятой всасывающей трубы или бака-аккумулятора. Схема залива насоса с помощью приподнятой всасывающей трубы приведена на рисунке 7.5. Всасывающую трубу выполняют с приподнятым коленом, что позволяет залить водой внутреннюю полость насоса и прилегающие части всасывающего и напорного трубопроводов до уровня нижней кромки приподнятого колена. При пуске насоса вода из всасывающей трубы перекачивается в напорный трубопровод, благодаря чему во всасывающей трубе создается разрежение. Вследствие разности атмосферного и создавшегося во всасывающей трубе пониженного давления вода из водозаборной камеры поступает во всасывающую трубу и насос, полностью их заполняет, и начинается нормальная работа насоса. Имеется в виду, что после остановки

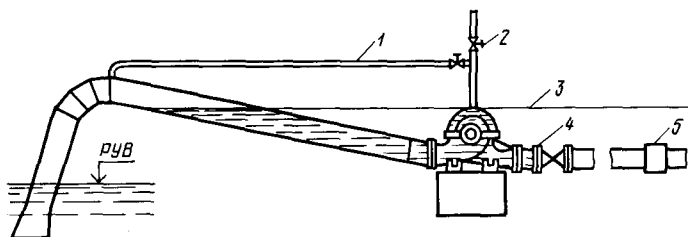


Рис. 7.5. Схема залива насоса при помощи приподнятой всасывающей трубы:

1 — воздухоотводящая трубка; 2 — вентиль для первоначального залива насоса всасывающей трубой и для выпуска воздуха; 3 — нижняя кромка приподнятого колена и верх корпуса насоса; 4 — задвижка; 5 — обратный клапан; РЧВ — расчетный уровень воды

насоса вода во всасывающей трубе остается на уровне нижней кромки приподнятого колена, и каждый последующий пуск происходит без дополнительной заливки. Однако при остановках насоса имеет место сифонное действие всасывающей трубы, и, несмотря на наличие приподнятого колена, в ней остается мало воды. Чтобы исключить это явление, остановку насосного агрегата сочетают с одновременным автоматическим срывом вакуума во всасывающей трубе. Следовательно, схема автоматического управления в этом случае должна обеспечить автоматическое сбрасывание клапана срыва вакуума. Пуск насосов с приподнятой всасывающей трубой рекомендуется для насосов с геометрической высотой всасывания не более 2...3 м. Для увеличения высоты всасывания применяют эжекторное устройство (рис. 7.6). Воздушную трубку присоединяют одним концом к колену всасывающей трубы, а другим — к корпусу насоса, куда вводят эжекторное сопло, соединенное с нагнетательной полостью насоса при помощи напорной трубки. Разрежение во всасывающей трубе при пуске насоса создается как действием эжектора, так и вследствие удаления из всасывающей трубы имевшейся в ней воды. Воздушная смесь из эжектора сбрасывается по сбросной трубке в водозаборную камеру. Использование приподнятой всасывающей трубы в комбинации с эжекторным устройством без наличия обратного клапана в напорном трубопроводе невозможно. Как показал опыт, приподнятая всасывающая труба требует тщательного изготовления и не допускает отступлений от расчетных данных. В противном случае надежная заливка насоса не гарантируется.

Для залива насосов небольшой подачи (до 40...50 л/с) можно применять баки-аккумуляторы — герметический сосуд, включаемый между всасывающей трубой и насосом (рис. 7.7). Объем бака-аккумулятора выбирают в 3...3,5 раза больше объема всасывающего трубопровода. При остановке насоса за счет повышенного давления воздуха в верхней части бака может произой-

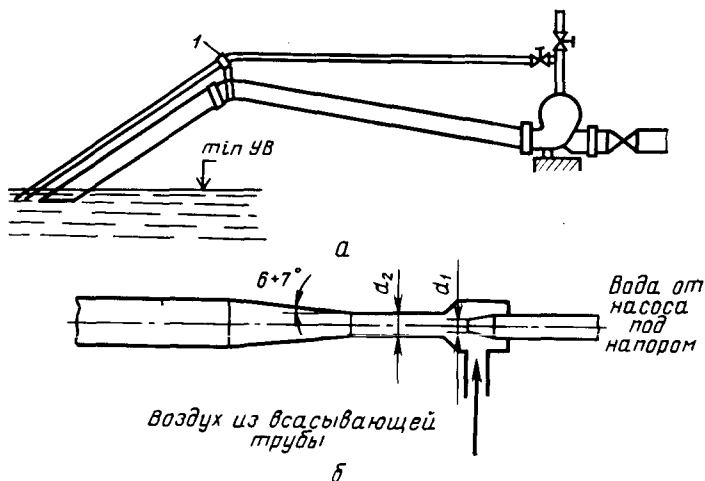


Рис. 7.6. Вариант приподнятой всасывающей трубы в комбинации с эжекторным устройством:

a — общий вид; *б* — схема эжектора; 1 — эжектор

ти его опорожнение. Чтобы устранить этот недостаток, предусматривают специальные устройства для удаления воздуха из бака. В схеме на рисунке 7.7 для этой цели служит уравнивательная трубка.

Пуск центробежного насоса с открытой задвижкой на напорном трубопроводе. В большинстве случаев имеется в виду, что в напорном трубопроводе установлен обратный клапан. При пуске насоса он открывается лишь тогда, когда насос достигает такой частоты вращения, при которой развиваемый им напор превышает противодавление столба воды в напорном трубопроводе. При достаточно больших противодавлениях и длине трубопровода условия пуска с открытой и закрытой задвижкой мало отличаются. Однако насос с постоянно открытой задвижкой может работать и при отсутствии обратного клапана. Условия пуска в этом случае принципиально меняются, и он не всегда возможен.

Условия пуска насоса с открытой задвижкой при отсутствии обратного клапана прослеживаются на рисунке 7.8. При подборе насоса полную высоту подъема воды определяют по формуле

$$H_n = H_r + \Sigma h,$$

где H_n — полная высота подъема воды; H_r — общая геометрическая высота подъема, равная сумме геометрических высот всасывания и нагнетания; Σh — сумма всех гидравлических потерь в трубопроводах, $\Sigma h = SQ^2$ (S — сопротивления в элементах трубопроводов заданных размеров и конфигурации; Q — расход насоса).

На рисунке прямая CD проведена параллельно оси Q на расстоянии H_r , равном геометрической высоте всасывания. Кри-

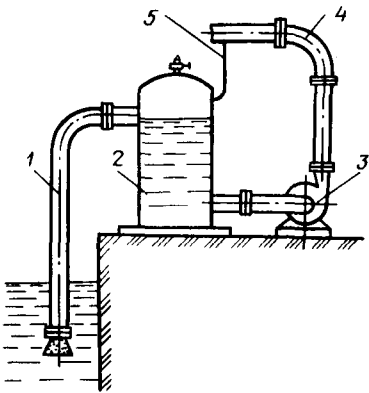


Рис. 7.7. Схема заливки насоса при помощи бака-аккумулятора:
 1 — всасывающий трубопровод; 2 — бак-аккумулятор; 3 — насос; 4 — напорный трубопровод; 5 — трубка для срыва вакуума

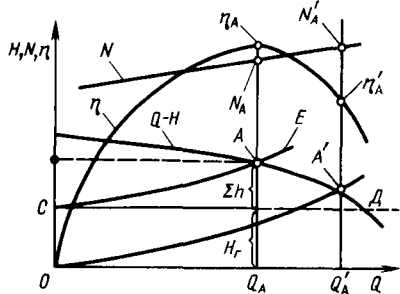


Рис. 7.8. Характеристика $Q - H$ насоса в рабочем и неустойчивых режимах (пуск с открытой задвижкой напорного трубопровода)

вая CE является кривой потерь в трубопроводе в функции расхода (характеристика трубопровода). Она пересекает рабочую кривую $Q - H$ насоса в точке A , называемой рабочей точкой насоса. Точкой A соответственно определяют параметры Q_A , H_A , N_A , η_A при установившемся режиме. Как известно, при подборе насоса стремятся к тому, чтобы значение η_A соответствовало наибольшему η , а высота всасывания насоса не превышала предела, установленного для данной конструкции насоса. При пуске насоса с открытой задвижкой и не заполненным водой трубопроводе, который при отсутствии обратного клапана после каждой остановки опорожняется, происходит постепенное заполнение водой нагнетательного трубопровода и возрастание геодезической высоты всасывания. Разгон насосного агрегата до номинальной частоты и его работа в неустойчивом режиме характеризуются кривой $OA'A'$. Кривая CE как бы перемещается по кривой $Q - H$ от точки A' момента разгона и начала заполнения трубопровода к точке A — установившейся нормальной работы. В точке A' подача насоса Q'_A может намного превышать нормальную. Работа насоса протекает в правой неустойчивой зоне кривой $Q - H$, насос здесь имеет наименьшую высоту всасывания и может кавитировать. Время неустойчивой работы определяется продолжительностью работы агрегата на участке кривой $A'A$, то есть зависит от характеристики насоса, конфигурации и размеров напорного трубопровода. Этот период устанавливают расчетом, при этом перегрузка электродвигателя насоса (кривая N) и ее продолжительность должны находиться в допустимых пределах. Кроме того, перегрузку учитывают при

построении схемы автоматического управления насосным агрегатом и его релейной защиты.

Остановка насосного агрегата с открытой задвижкой на напорном трубопроводе. В гидромелиоративных системах многие насосные станции подают воду в открытую сеть. Поэтому при напорном трубопроводе без задвижек и обратных клапанов обратный ток из канала возникает во всех случаях при нормальном отключении агрегата. Чтобы предотвратить обратный ток, в конце трубопровода устанавливают хлопушки, быстродействующие щиты или сифонные водовыпуски с различными устройствами для автоматического срыва вакуума. Преимущественное распространение получили сифонные водовыпуски как наиболее надежные и экономичные. Некоторые устройства для срыва вакуума в сифоне приведены на рисунке 7.9. Гидравлический клапан (рис. 7.9, а) состоит из трубки 1 и вертикального стакана 2. Трубку сечением, равным приблизительно 1,5 % живого сечения горловины сифона, вваривают открытым концом в сифон. Второй конец трубки помещают в металлический стакан диаметром, большим диаметра трубки на 100 мм. Стакан, соединенный трубкой с полостью сифона, заполняется одновременно с каналом. При прохождении воды через сифон уровень ее в стакане устанавливается выше нижней грани трубки на величину скоростного напора, которая может быть доведена до 50...60 см при скорости движения воды 3...3,5 м/с. Если ток воды в сифоне прекращается или вода движется в обратную сторону, то уровень ее в стакане понижается, обнажая нижний конец трубки. Воздух входит в полость сифона, вакуум срывается, и движение воды из отводящего канала в трубопровод прекращается.

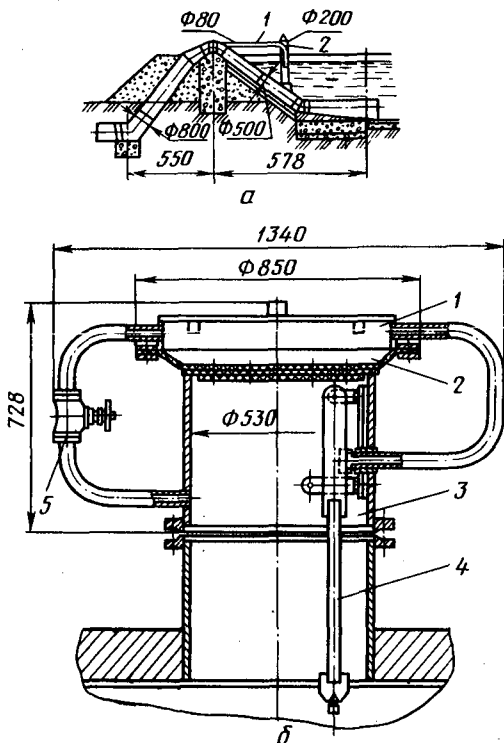


Рис. 7.9. Клапан срыва вакуума в сифоне: а — гидравлический; 1 — трубка; 2 — металлический стакан; б — типа КСВМ-500Г: 1 — крышка клапана; 2 — мембрана; 3 — каркас клапана; 4 — рычаг гидравлического датчика; 5 — кран ручного дублера

Гидравлический клапан (рис. 7.9, а) состоит из трубки 1 и вертикального стакана 2. Трубку сечением, равным приблизительно 1,5 % живого сечения горловины сифона, вваривают открытым концом в сифон. Второй конец трубки помещают в металлический стакан диаметром, большим диаметра трубки на 100 мм. Стакан, соединенный трубкой с полостью сифона, заполняется одновременно с каналом. При прохождении воды через сифон уровень ее в стакане устанавливается выше нижней грани трубки на величину скоростного напора, которая может быть доведена до 50...60 см при скорости движения воды 3...3,5 м/с. Если ток воды в сифоне прекращается или вода движется в обратную сторону, то уровень ее в стакане понижается, обнажая нижний конец трубки. Воздух входит в полость сифона, вакуум срывается, и движение воды из отводящего канала в трубопровод прекращается.

Другой конструкцией клапана срыва вакуума является клапан КСВМ-500Г (разработчик УкрНИИГиМ), приведенный на рисунке 7.9, б. Клапан используют для сифонов водовыпусков осевых и центробежных насосов. Монтируют его на сифоне водовыпускного сооружения. Управление работой клапана при срыве вакуума осуществляется гидравлическим датчиком, выполненным в виде затвора «сопло-заслонка» с приводом от троса, помещенного в поток воды в сифоне. Воздух из полости напорного трубопровода и сифона выпускается автоматически, предусмотрено ручное управление клапаном. Минимальная величина вакуума, при которой обеспечивается работа клапана для впуска воздуха, составляет 3 кПа, а минимальное давление, при котором открывается клапан для выпуска воздуха из трубопровода при его заполнении водой, — 2 кПа.

В качестве клапана срыва вакуума используют также электромагнитный или пружинный привод масляного выключателя. При отключении работающего насосного агрегата или пропаже напряжения привод срабатывает и клапан срывает вакуум.

В схемах автоматического управления насосными агрегатами работа клапана срыва вакуума должна отражаться сигнализацией его состояния и блокировкой, не допускающей включения насосного агрегата при неисправности клапана.

При любой остановке насосного агрегата вода из напорного трубопровода будет сливаться через насос, который в этом случае работает в турбинном режиме. Поэтому реверс агрегата согласуют с заводом-поставщиком. В случаях, когда реверс недопустим, на напорных трубопроводах устанавливают обратные клапаны, задвижки с гидроприводом или электрифицированные задвижки с независимым источником питания. Нельзя также повторно включать выключенный насосный агрегат во время его работы в турбинном режиме. Такой пуск может вызвать аварийное отключение электродвигателя вследствие его перегрузки, а также механические повреждения агрегата. Поэтому в схемах автоматического управления предусматривают блокировку, предотвращающую возможность такого пуска. Датчиком для блокировки может служить струйное реле, реле обратного вращения и др.

§ 7.5. Схемы автоматического управления заливкой насосов

Предварительную заливку насосов водой, если она не осуществляется с помощью приподнятого колена или бака-аккумулятора, выполняют различными вакуум-установками, в которых преимущественно используют водокольцевые вакуум-насосы. Гидромеханическая схема соединения вакуум-установки б с основным насосным агрегатом 1, подлежащим заливке, приведена на рисунке 7.10. Для нормальной работы вакуум-насоса требуется постоянная циркуляция воды, которая обеспечивается с по-

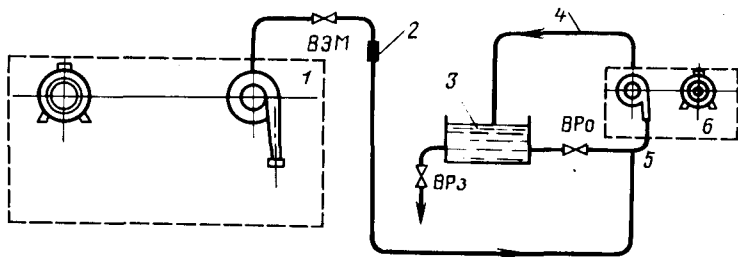


Рис. 7.10. Гидромеханическая схема соединения насосной вакуумной установки с основным насосом:

1 — насосный агрегат; 2 — устройство для контроля залива; 3 — циркуляционный бачок; 4 — нагнетательный трубопровод; 5 — всасывающий трубопровод; 6 — вакуум-установка; ВЭМ — вентиль электромагнитный; ВРО — ручной вентиль открытый; ВРЗ — ручной вентиль закрытый

мощью бачка 3, из которого вода поступает во всасывающий трубопровод 5 и вместе с воздухом попадает в корпус вакуум-насоса. Затем по мере вращения рабочего колеса воздух и избыточная вода через нагнетательный трубопровод 4 выбрасываются обратно в бачок. При автоматизации устанавливают реле (датчик) 2, контролирующее уровень или расход воды и сигнализирующее окончание процесса залива. При помощи электромагнитного вентиля (ВЭМ) или вентиля с электроприводом разъединяют вакуум-насос с основным заливаемым насосом. Привод вакуум-насоса осуществляют асинхронным короткозамкнутым двигателем мощностью 1,5...2,2 кВт.

Рассмотренный процесс залива относится к единичной насосной установке. На насосных станциях с несколькими насосными агрегатами применяют две схемы залива: схема (рис. 7.11, а), где каждый насосный агрегат снабжен индивидуальной вакуум-насосной установкой, и схема (рис. 7.11. б) с единой вакуум-установкой для всей станции в целом. По второй схеме вакуум-установку снабжают двумя вакуум-насосами — рабочим и резервным. При подаче команды на включение насосной установки сначала включается рабочий вакуум-насос. Если по истечении заданного времени вакуум не создается, то включается резервный вакуум-насос. Если и резервный за заданное время не создает вакуума, то насосный агрегат не включается и на пункт управления поступает аварийный сигнал. Вместо индивидуальных реле контроля залива в этом случае может быть установлено одно реле на всю установку. В предохранительном бачке контролируют уровень (реле уровня), и, когда вода в бачке достигнет уровня, обеспечивающего залив насоса, подается импульс на отключение вакуум-насоса. После остановки вакуум-насоса открывается соленоидный вентиль на сливе из предохранительного бачка, и он опорожняется. В результате сравнения двух приведенных схем принято на насосных станциях до трех агрегатов устанавливать

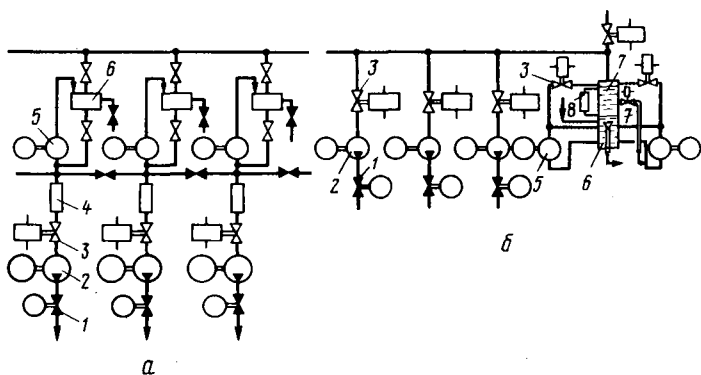


Рис. 7.11. Вакуум-система насосной станции:

а — с индивидуальными вакуум-насосами; *б* — с общей вакуум-установкой; 1 — электрифицированная задвижка; 2 — насосный агрегат; 3 — электромагнитный вентиль; 4 — реле контроля залива (индивидуальные); 5 — вакуум-насосная установка; 6 — циркуляционный бачок; 7 — предохранительный бачок; 8 — общее реле контроля залива

индивидуальные вакуумные насосы, а на станциях, где больше трех агрегатов, — применять общую вакуум-установку.

Вакуум-система с вакуум-котлом. Насосные станции, где насосы должны быть готовы к немедленному включению, предпочитают применять вакуум-систему с вакуум-котлом. Технологическая схема такой вакуум-установки приведена на рисунке 7.12. Преимущество этой установки в том, что все насосы постоянно находятся под заливом и всегда готовы к работе. Из рисунка видно, что общая вакуумная линия всех насосных агрегатов соединяется с вакуум-котлом, в котором вакуум-насосы автоматически поддерживают определенный уровень воды, соответствующий определенному вакууму, при котором все подготовительные к работе насосные агрегаты залиты. Насосные агрегаты присоединяют к общей вакуум-линии с помощью соленоидных вентилялей. У работающих насосов вентили закрыты, у неработающих — открыты. В вакуум-котле электродные датчики контролируют три уровня — верхний, нижний и аварийный. При появлении в вакуум-системе воздуха уровень воды в вакуум-котле снижается. При достижении водой нижнего уровня дается импульс на включение первого вакуум-насоса. При дальнейшем снижении уровня до отметки аварийного автоматически включается второй вакуум-насос. При достижении водой верхнего уровня вакуум-насосы автоматически отключаются. Электрическая схема автоматического управления двигателями вакуум-насосов показана на рисунке 7.13. В этой схеме задаваемые уровни воды в вакуум-котле устанавливают при помощи двух приборов ЭРСУ (электродный регулятор-сигнализатор уровня).

При помощи ключа *В1* выбирают последовательность работы вакуум-насосов, а при помощи электродных датчиков приборов

Рис. 7.12. Схема автоматического залива насосов с помощью вакуум-котла:
 1 — основной насосный агрегат; 2 — соленоидные вентили; 3 — вакуум-котел; 4 — вакуум-насос; 5 — циркуляционный бачок; 6 — сигнализация уровня; 7 — сигнальные лампы; 8 — электроконтактный вакуум-метр

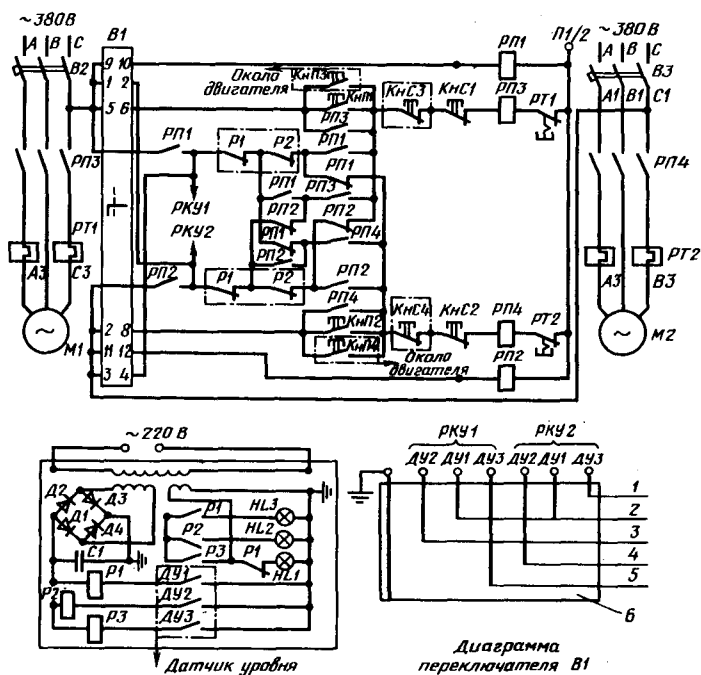
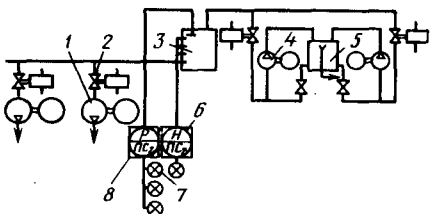


Диаграмма переключателя В1

Номер срабатывания	Номер контакта тле	Положение рукоятки					
		-45°			0	+45°	
		Л	П	Л	П	Л	П
I	1 2						×
II	3 4						×
III	5 6						×
IV	7 8						×
V	9 10						×
VI	11 12						×

Рис. 7.13. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателями вакуум-насосов с вакуум-котлом:

1 — аварийная сигнализация при повышении уровня; 2 — отключение вакуум-насосов; 3 — включение рабочего вакуум-насоса; 4 — включение резервного вакуум-насоса; 5 — аварийная сигнализация при понижении уровня; 6 — котел

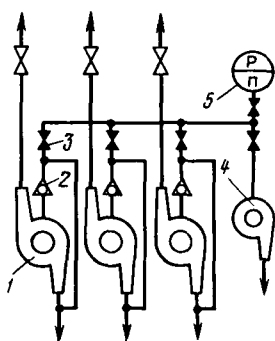


Рис. 7.14. Схема автоматического залива насосов с помощью автоподсоса:

1 — насос; 2 — вантузный клапан; 3 — вентиль запорный ручной; 4 — вакуум-насос; 5 — вакуумметр

потому что его можно применять в насосных установках, где всасывающие трубопроводы оборудованы обратными клапанами, а в напорном трубопроводе всегда имеется достаточное количество воды для залива. В гидромелиоративных насосных станциях всасывающие трубопроводы, как правило, обратными клапанами не оборудуют.

Залив с помощью автоподсоса заключается в том, что работающие насосы держат выключенные насосы под заливом. По этой схеме (рис. 7.14) верхние части всех всасывающих камер всех насосов связаны общей вакуумной магистралью. Перед пуском первого насоса его предварительно заливают. Для этого устанавливают один вакуум-насос с ручным управлением, после пуска которого все остальные будут находиться под заливом, так как в общей магистрали образуется вакуум. Метод автоподсоса, несмотря на его простоту и дешевизну, следует применять с большой осторожностью. При поддержании постоянного разрежения в выключенных насосах происходит постоянный подсос воздуха работающими насосами через неплотности в сальниках и соединениях трубопровода. Поэтому метод автоподсоса требует специальных мер по содержанию центробежных насосов. Несколько снижается КПД установки в целом.

§ 7.6. Автоматическое управление запорной арматурой

Общие сведения. На автоматизированных насосных станциях применяют дистанционно управляемую запорную трубопроводную арматуру. Она входит в состав гидромеханического оборудова-

ЭРСУ (РКУ1, РКУ2) задаются уровни вакуум-котла, при которых включаются и отключаются рабочий и резервный вакуум-насосы. Режим ручной работы устанавливают ключом В1. Этот режим предназначен для опробования вакуум-насосов при помощи индивидуальных кнопок управления $K_{нП1}$, $K_{нС1}$ и $K_{нП2}$, $K_{нС2}$, устанавливаемых на пункте управления и непосредственно у вакуум-насосов — $K_{нП3}$, $K_{нС3}$ и $K_{нП4}$, $K_{нС4}$.

Залив из напорного трубопровода с помощью автоподсоса. Помимо указанных систем залива при помощи вакуум-насосов, существуют и другие, но их в гидромелиоративных насосных станциях применяют редко. При автоматизации залива из напорного трубопровода устанавливают на отводе от напорной линии к насосу запорный орган и реле контроля залива. Этот способ практикуют редко,

ния насосной установки и участвует в процессе пуска и остановки агрегата. В этом случае арматуру называют агрегатной. Кроме того, устанавливают сетевую запорную арматуру, которая служит для переключения направления движения воды с одной нитки трубопроводной сети на другую и для включения и отключения отдельных ее участков. Запорную арматуру применяют также во всех вспомогательных системах насосной станции — в вакуум-системе, масляной системе, техническом водоснабжении и др. От надежности трубопроводной арматуры часто зависит надежность работы насосной станции в целом. Во многих случаях неполадки с арматурой являются источником аварийных ситуаций. Поэтому трубопроводная арматура требует повышенного внимания при ее выборе, монтаже и эксплуатации. Наиболее часто используют задвижки. Дроссельные затворы, как правило, применяют для трубопроводов больших диаметров. Арматурой управляют при помощи электрических исполнительных механизмов. Реже применяют электрогидравлические исполнительные механизмы преимущественно с масляным сервоприводом.

Электрический исполнительный механизм в общем случае состоит из электропривода, редуктора, механизма ограничения крутящего момента, датчиков указателей положения выходного элемента и конечных выключателей. В качестве электропривода используют асинхронный короткозамкнутый двигатель с редуктором для снижения скорости перемещения выходного элемента до величины, определяемой рабочим органом. С помощью конечных выключателей отключают электропривод исполнительного механизма при достижении рабочим органом конечных положений.

Промышленность выпускает ряд многооборотных электрических механизмов с постоянной скоростью выходного вала. Они имеют схемные и конструктивные различия, но все позволяют выполнять однотипные функции: дистанционный или автоматический пуск привода; остановку привода в конечных положениях и при необходимости в промежуточном положении; автоматическую остановку при чрезмерном возрастании крутящего момента, при заедании подвижных частей привода или рабочего органа, а также при отказе путевых выключателей; сигнализацию крайних положений рабочего органа; местное определение положения рабочего органа в данный момент с помощью стрелочного указателя; дистанционное указание любого промежуточного положения рабочего органа с помощью специального указателя положения; необходимые блокировки данного привода с другими механизмами; ручное управление при помощи маховика. Подобные функции также выполняют исполнительные механизмы с масляным гидроприводом. Учитывая, что на автоматизированных насосных станциях отсутствует постоянный эксплуатационный персонал, к устанавливаемым исполнительным механизмам и запор-

ным органам, а также к устройствам автоматического управления ими предъявляются высокие требования.

Унифицированные электрические исполнительные механизмы. Предназначены они для дистанционного управления многооборотной трубопроводной арматурой. Эти исполнительные механизмы, получившие наименование «электроприводы типов М, А, Б, В, Г, Д», более других приспособлены к работе в условиях автоматизированных насосных станций гидромелиоративных систем. Отличаясь друг от друга величиной развиваемого максимального крутящего момента, конструкцией редуктора, габаритными присоединительными размерами, а также некоторыми другими конструктивными элементами, все типы электроприводов максимально унифицированы, имеют идентичные устройства ограничения допустимого момента на приводном валу и схемы управления. Некоторые данные по допустимым условиям эксплуатации электроприводов приведены в таблице 7.1. Нормальным положением установки электроприводов считают вертикальное (приводной вал расположен вертикально); остальные положения допускаются. Рассмотрим конструкцию и принцип работы электроприводов типов Б, В, Г и Д.

Кинематическая схема электропривода приведена на рисунке 7.15. Электропривод состоит из следующих основных узлов и элементов: корпуса, червячного цилиндрического редуктора, узла ручного дублера, электродвигателя, коробки путевых и моментных выключателей.

К корпусу крепят коробку путевых и моментных выключателей, переходник и электродвигатель 1. В корпусе смонтирован шлицевой вал 45 с червяком 46 на подшипниках и приводной вал 44 с червячным колесом 42. На шлицевом валу установлена муфта ограничения крутящего момента. Узел ручного дублера с маховиком 6 смонтирован на продолжении шлицевого вала; здесь же свободно установлено цилиндрическое колесо 4 с

7.1. Условия эксплуатации электроприводов нормального исполнения

Тип электро- двигателя	Место установки	Интервал рабочих температур, °С	Относитель- ная влаж- ность окру- жающей сре- ды при 20 °С, %	Периодич- ность смазки
М	Стационарные установки в помещениях и на открытом воздухе	От минус 20 до плюс 35	До 80	Один раз в три месяца
А	То же	От минус 40 до плюс 40	До 95	То же
Б, В, Г, Д	»	То же	То же	Не реже одного раза в два года

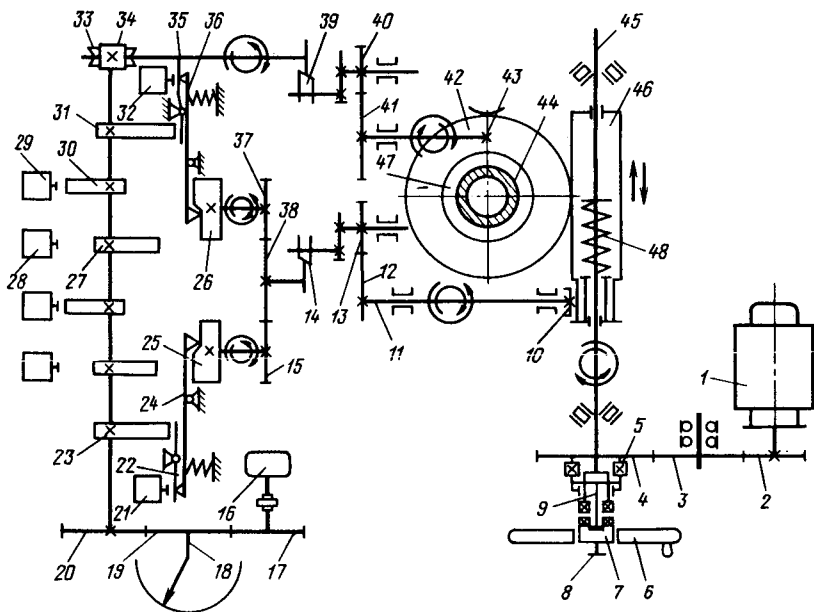


Рис. 7.15. Кинематическая схема унифицированных электроприводов задвижек: 1 — электродвигатель; 2, 3, 4 — колеса; 5 — муфта; 6 — маховик; 7 — кулачковая втулка; 8 — ручка; 9 — шток; 10, 24, 36 — рычаги; 11 — ось; 12 — зубчатый сектор; 13, 15, 37, 38 — цилиндрические колеса; 14, 39 — вилки; 16 — потенциометр; 17 — колесо; 18 — стрелка местного указателя; 19, 20 — шестерни; 21, 28, 29, 32 — микропереключатели; 22, 35, 48 — пружины; 23, 31 — блокировочные кулачки; 25, 26 — моментные кулачки; 27, 30 — кулачки; 33, 42, 43 — червячные колеса; 34 — червяк; 40, 41 — цилиндрические шестерни; 44 — приводной вал; 45 — шлицевой вал; 46, 47 — червяки; 48 — пружина

кулачками. К корпусу также присоединена плита с червячным колесом 43 и цилиндрическими шестернями 40 и 41, передающими вращение коробке путевых и моментных переключателей.

Коробка состоит из следующих основных элементов: узла путевых выключателей с червяком 34, червячным колесом 33, кулачками 27, 30 и микропереключателями 28 и 29; узла моментного переключателя с цилиндрическими шестернями 15, 37 и 38, моментными кулачками 25 и 26, рычагами 24 и 36, пружинами, 22 и 35, блокировочными кулачками 23, 31 и микропереключателями 21 и 32; узла местного указателя с шестернями 19, 20 и стрелкой 18; узла дистанционного указателя с шестерней 17 и потенциометром 16. При включении электродвигателя работа электропривода происходит следующим образом. Вращение от электродвигателя через цилиндрические колеса 2, 3, 4 и кулачковую муфту 5 передается шлицевому валу 45. Далее через червяк 46 и червячное колесо 42 крутящий момент передается приводному валу 44 рабочего органа (задвижки). Кроме того, через чер-

вяк 47, червячное колесо 43, цилиндрические шестерни 41 и 40 движение передается к вилке 39, червячной паре 33 и 34, шестерням 20, 19 и стрелке местного указателя 18 и через шестерню 17 — к валику потенциометра 16. При работе электродвигателя передача крутящего момента к маховику невозможна вследствие того, что кулачковая втулка 7 маховика расцеплена. В это время кулачки муфты 5 находятся в зацеплении с кулачками цилиндрического колеса 4, через которое, как уже указывалось, движение передается шлицевому валу 45. Для ручного управления электроприводом следует ручку 8 послать вперед до сцепления кулачков втулки 7 с кулачками шлицевого вала 45. При включении электродвигателя происходит сцепление кулачков муфты 6 с кулачками колеса 4, при этом муфта 5 через шток 9 выводит втулку 7 из зацепления с кулачками шлицевого вала 45. Такая механическая блокировка исключает одновременное сцепление шлицевого вала 45 с электродвигателем и маховиком ручного управления.

Электроприводы выпускают с двусторонней муфтой ограничения крутящего момента. Принцип работы следующий. При достижении запорным устройством арматуры предельного значения крутящего момента в случае заклинивания рабочего органа в его промежуточном положении либо в положениях «Открыто» или «Закрыто» приводной вал 44 с червячным колесом 42 останавливаются, а червяк 46, ввинчиваясь в венец червячного колеса 42 вследствие продолжающегося вращения электродвигателя 1, начинает перемещаться по шлицам в осевом направлении, сжимая пружину 48. Поступательное движение червяка 46 преобразуется с помощью рычага 10, оси 11, зубчатого сектора 12, вилок 14 и 39, цилиндрических колес 13, 15, 37, 38 во вращательное движение моментных кулачков 25 и 26. Последние поворачиваются, позволяя рычагам 24 и 36 освободить кнопки микропереключателей 21 и 32 и разомкнуть электрическую цепь электродвигателя. Электроприводы типов М и А конструктивно несколько отличаются от типов Б, В, Г и Д. Взамен червячного редуктора используется цилиндрический. Имеется также ряд других особенностей узлов кинематической связи. Однако принцип работы всех типов электроприводов унифицированной серии одинаков и соответствует описанному.

Электроприводы с реле максимального тока. Для защиты электродвигателей от перегрузок и для получения при необходимости уплотненного закрытия запорной арматуры электроприводы этого типа оснащают токовым реле, включенным в одну из фаз статора.

При увеличении момента сопротивления на валу электродвигателя рабочий ток возрастает примерно пропорционально квадрату крутящего момента. Следовательно, взамен муфты для ограничения крутящего момента может быть использовано токовое реле. Для этой цели применяют реле максимального тока

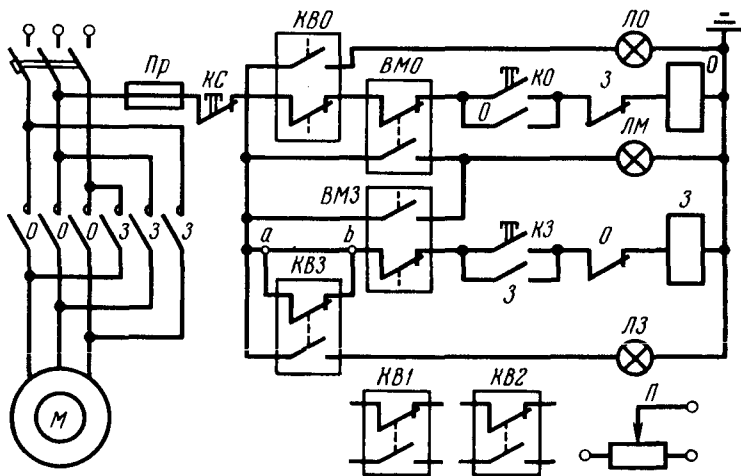


Рис. 7.16. Принципиальная электрическая схема управления электроприводами типов Б, В, Г и Д

мгновенного действия, катушка которого включается в одну из фаз силовой цепи питания электродвигателя, а размыкающий контакт — в цепь катушек реверсивного магнитного пускателя.

Использование реле максимального тока позволяет упростить конструкцию электропривода, уменьшить его массу и габаритные размеры; однако схема управления несколько усложняется. Электроприводы с реле максимального тока устанавливают только на задвижках. С помощью реле электродвигатель отключается при превышении крутящего момента на шпинделе арматуры только в сторону закрывания, а в сторону открывания — путевым выключателем.

Электрическая схема управления электроприводами унифицированного ряда. Для всего ряда унифицированных электроприводов принята единая схема, которая показана на рисунке 7.16. Она отвечает следующим требованиям.

1. Питание силовой цепи и цепи управления осуществляется от сети трехфазного тока напряжением 380/220 В.

2. Схема оснащена защитой от перегрузок и коротких замыканий — в силовой цепи, в цепи управления и сигнализации.

3. Катушки пускателя присоединены к нулевому проводу, а контакты аппаратов управления, блок-контакты магнитного пускателя включены со стороны фазы. Такое построение схем предотвращает их ложную работу при появлении «земли» в цепях управления.

4. Схема управления исключает возможность одновременной подачи питания на одну из катушек реверсивного магнитного

пускателя при обтекании током второй катушки. Для этого в цепи управления каждой из катушек включен открывающийся контакт другой катушки.

5. Схема управления позволяет остановить электропривод запорного устройства в любом промежуточном положении нажатием кнопки «Стоп», а также обеспечивает возможность последующей посылки команды как на открытие, так и на закрытие.

6. Схема позволяет проводить постепенное открытие или закрытие запорного устройства с непродолжительными остановками в промежуточных положениях (если это требуется по условиям технологического процесса).

7. Как при ручном, так и при автоматическом управлении рассматриваемая схема имеет нулевую защиту.

8. Схема обеспечивает работу электропривода в режиме трех видов уплотнения: арматура не требует принудительного уплотнения; арматура требует принудительного уплотнения только в положении «Закрыто»; арматура требует принудительного уплотнения в положениях «Открыто» и «Закрыто». Для этого используют контакты муфтового выключателя *ВМО*, *ВМЗ* и конечные выключатели *КВО* и *КВЗ*, настраивают которые при различных видах уплотнения по данным таблицы 7.2.

7.2. Электрическая схема управления при различных видах уплотнения арматуры

Вид принудительного уплотнения	Настройка путевых выключателей		Настройка муфтовых выключателей		Электрическая схема (см. рис. 7.16)
	на сигнализацию	на отключение	на отключение	на максимальный момент	
В положении «Закрыто»	В крайних положениях	В положении «Открыто»	В положении «Закрыто» и в сторону закрытия	В обе стороны	В цепях управления реле <i>З</i> закорачиваются контакты <i>З—0 КВЗ</i>
В положениях «Открыто» и «Закрыто»	То же	—	В положениях «Открыто» и «Закрыто»	По пути в обе стороны	В цепях управления реле <i>З—0</i> закорачиваются контакты выключателей <i>КВЗ</i> и <i>КВО</i>
Без принудительного уплотнения	»	В крайних положениях	В крайних положениях	По пути в обе стороны вращения	

Примечания: 1. Контакты *ВМО* и *ВМЗ* в момент пуска не срабатывают. 2. При движении электропривода в обратную сторону контакты *ВМО* и *ВМЗ* принимают первоначальное состояние. 3. При настройке муфтовых выключателей на отключение без принудительного уплотнения муфта выполняет роль автоматической блокировки электропривода на случай аварийного заедания затвора арматуры или на случай отказа путевых выключателей в крайних положениях.

7.3. Основные технические данные электродвигателей электроприводов унифицированной серии

Тип электропривода	Электродвигатель						
	марка	мощность, кВт	частота вращения, мин ⁻¹	ток статора, А	КПД, %	cos φ	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$
М	АВ-042-4	0,03	1300	0,17	43	0,64	3
А	АОЛ11-4Ф3	0,12	1400	0,45	58	0,72	4
	АОЛ12-4Ф3	0,18	1400	0,6	62	0,74	4
Б	АОЛС2-11-4Ф2	0,6	1300	1,8	66	0,76	7
	АОЛС2-21-4Ф2	1,3	1300	3,5	70	0,8	7
В	АОЛС2-31-4Ф2	3	1350	7,3	76	0,82	7
	АОЛС2-32-4Ф2	4	1350	9,4	78	0,83	7
Г	АОЛС2-32-4Ф2	4	1350	9,4	78	0,83	7
	АОС2-42-4Ф2	7,5	1300	15,8	80	0,9	7
Д	АОС2-42-4Ф2	7,5	1300	15,8	80	0,9	7

9. Сигнализацию состояния арматуры осуществляют по следующему принципу: появление одного сигнала «Муфта» ЛМ означает, что запорное устройство не дошло до одного из своих крайних положений; на арматуре без уплотнений сигнализация состояния «Открыто» и «Закрыто» осуществляется контактами путевых выключателей при помощи ламп сигнализации ЛО и ЛЗ; на арматуре с уплотнением в крайнем положении, при котором предусматривается уплотнение, появляются два сигнала — «Муфта» и «Открыто» или «Закрыто» соответственно, так как в этом случае двигатель отключается муфтой ограничения крутящего момента, путевой кулачок которой воздействует также на кнопку путевого выключателя сигнализации положения. Выключатели ВМО и ВМЗ после срабатывания возвращаются в первоначальное положение при движении привода в обратную сторону.

10. В момент пуска электропривода контакты выключателей ВМО и ВМЗ не срабатывают.

11. Дистанционное указание степени открытия прохода осуществляется при помощи датчика переменного сопротивления, поставляемого по особому заказу.

Аппаратуру управления выбирают в зависимости от технических характеристик электродвигателей приводов (табл. 7.3).

Электрическая схема управления электроприводом задвижки с реле максимального тока. Схема автоматического управления задвижкой, в котором используется реле максимального тока (РТ-40), показана на рисунке 7.17. В этой схеме наряду с односторонней муфтой предельного момента, действующей в сторону закрытия (ВМЗ), установлено реле максимального тока К1, контакты которого включены в цепь реле времени К6 для исключения срабатывания защиты от пусковых токов. При превышении

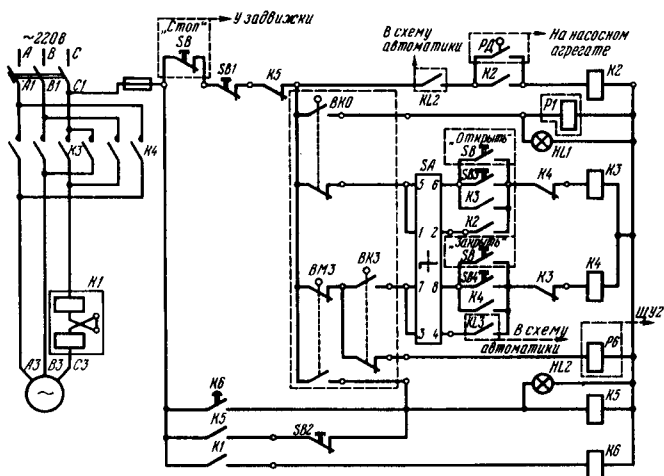


Диаграмма переключателя SA

номер сигналы	номер контакты		положение рукоятки						Назначение цели		
	л	п	ручн. -45°	л	п	0	л	п		авт. +45°	
I	1	2							Х	Х	10-15
II	3	4							Х	Х	11-17
III	5	6	Х	Х							10-14
IV	7	8	Х	Х							11-16

Диаграмма работы конечных выключателей задвижки

Коробка конечных выключателей						
номер сигналы	номер контакты групп	обозначение аппаратов по схеме	положение задвижки			назначение цели
			закрыто	промежу- точное	открыто	
I	1-2	ВК0	_____	_____	_____	Отключение при открытии
	1-3		_____	_____	_____	Сигнализация
II	1-2	ВК3	_____	_____	_____	Сигнализация
	1-3		_____	_____	_____	Отключение при закрытии
III	1-2	ВК1	_____	_____	_____	в схему автоматики
	1-3		_____	_____	_____	Резерв
IV	1-2	ВК2	_____	_____	_____	Резерв
	1-3		_____	_____	_____	в схему автоматики

Рис. 7.17. Принципиальная схема управления электродвигателем агрегатной задвижки с максимальной токовой защитой

током, протекающим через электродвигатель, номинального значения контактом реле *K5* размыкается цепь катушек пускателя. При протекании по обмоткам электродвигателя пусковых токов срабатывает реле максимального тока *K1*. Однако цепь питания катушек магнитного пускателя при этом не разорвется, так как в цепи реле *K5* последовательно включены замыкающие контакты

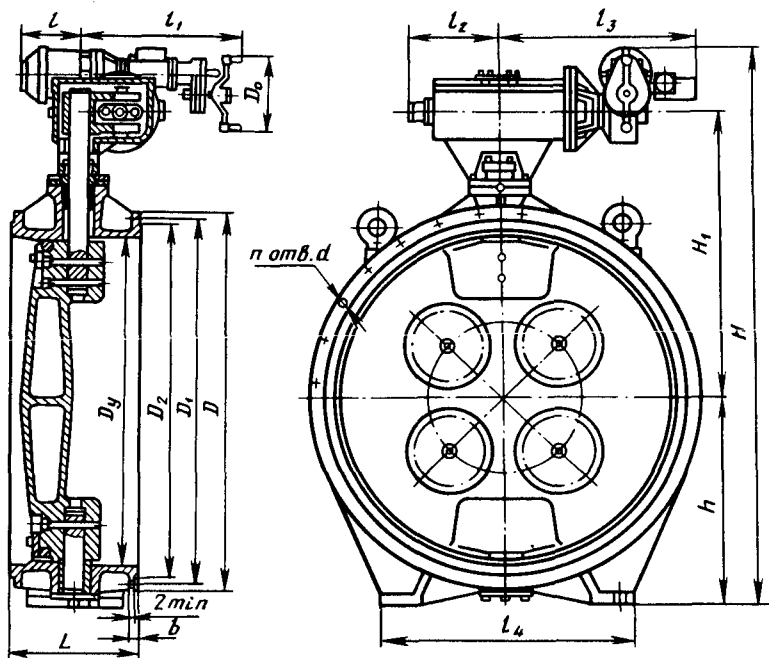


Рис. 7.18. Дроссельный затвор с электрогидроприводом

реле времени $K6$ с выдержкой, большей периода протекания пусковых токов. Если по каким-либо причинам процесс пуска затянется настолько, что реле $K6$ успеет замкнуть свой контакт в цепи реле $K5$, последнее обтекается током и размыкает свой контакт в цепи катушек магнитного пускателя. Повторного автоматического включения электропривода не произойдет, так как реле $K5$ остается замкнутым, самозаблокировавшись замыкающим контактом. При увеличении тока в цепи электродвигателя (при заедании затвора задвижки) реле $K1$ замыкает свой контакт, реле $K6$ и $K5$ обтекаются током, разрывается цепь питания катушек $K3$ и $K4$ магнитного пускателя, и электропривод останавливается. В исходное положение схему возвращают кнопкой деблокировки.

Дроссельные затворы с электроприводом. При большой подаче насосных агрегатов и диаметрах напорных трубопроводов 800 мм и более в качестве запорной арматуры применяют дроссельные затворы. Общий вид дроссельного затвора с электроприводом, схема управления которым принципиально не отличается от рассмотренных схем управления запорными задвижками, показан на рисунке 7.18. Однако использование дроссельных затворов с электроприводом возможно лишь в тех случаях, когда гарантируется бесперебойное электроснабжение их приво-

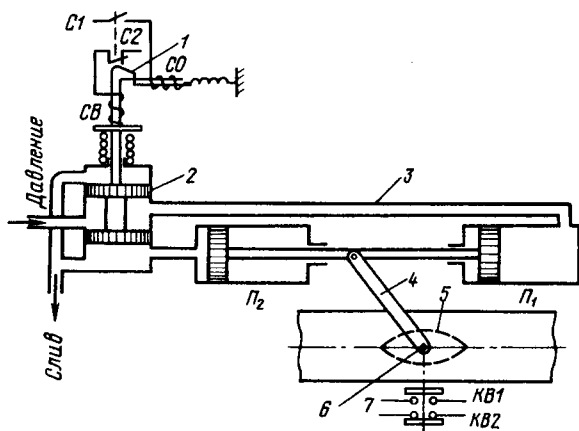


Рис. 7.19. Схема управления гидроприводом дискового затвора:

1 — защелка; 2 — золотник; 3 — гидравлический привод; 4 — рычажная передача; 5 — диск; 6 — ось; 7 — контактная система

да электроэнергией либо когда насосные агрегаты допускают реверс (обратное вращение ротора агрегата) при потере питания.

Управление гидравлическими исполнительными механизмами.

Гидравлический привод применяют на автоматизированных насосных станциях преимущественно для управления дроссельным (дисковым) затвором. Питание привода осуществляется от специальной маслonaпорной установки (МНУ), в состав которой входит бак-аккумулятор, где масло постоянно находится под давлением и в объеме, достаточном, чтобы обеспечить закрытие дроссельных затворов всех насосных агрегатов станции. Одна из схем управления гидроприводом дроссельного затвора приведена на рисунке 7.19. Гидравлический привод 3 выполнен в виде двух механических, связанных между собой поршневых серводвигателей Π_1 и Π_2 одностороннего действия. Положение затвора изменяется поворотом оси 6 диска 5, один конец которого пропущен через корпус наружу и соединен через рычажную передачу 4 с приводом. Управляющий элемент — золотник 2 с соленоидным приводом и защелкой 1. При включении соленоида включения СВ плунжер золотника подтягивается вверх и занимает положение, показанное на рисунке. Масло под давлением поступает в рабочую полость серводвигателя Π_1 , а полость Π_2 соединяется со сливом. Поршни двигателей перемещаются влево и поворачивают диск затвора против часовой стрелки (в положение открытия). Соленоид СВ отключается от сети размыкающим контактом С2 и удерживается в данном положении защелкой. При этом контакт С1 замыкается и подготавливает к включению

цепь соленоида отключения CO . Для закрытия затвора подают питание на соленоид CO , который освобождает защелку, и шток плунжера золотника перемещается вниз. Контакт $C1$ разрывает цепь соленоида CO ; контакт $C2$ подготавливает цепь соленоида CB .

Теперь масло под давлением поступает через золотник в рабочую полость серводвигателя $П_2$, а рабочая полость серводвигателя $П_1$ соединяется со сливом. Оба поршня перемещаются вправо, поворачивая диск затвора по часовой стрелке (в положение закрытия).

С осью затвора механически связаны конечные выключатели $KB1$ и $KB2$, сигнализирующие о крайних положениях затвора. Соленоидный привод с защелкой потребляет электроэнергию только в момент переключения. Питание катушек осуществляется от независимого источника постоянного тока, например аккумуляторной батареи, что гарантирует закрытие агрегатных затворов в случае прекращения подачи электроэнергии к насосной станции.

§ 7.7. Общие принципы построения схем автоматического управления насосными агрегатами и установками

Первый. Для привода насосных агрегатов, как правило, используют асинхронные короткозамкнутые и синхронные электродвигатели. Стремятся применить прямой пуск от полного напряжения сети. Схемы пуска от полного напряжения сети более надежны в эксплуатации, и при этом число потребной аппаратуры минимально. Прямой асинхронный пуск синхронных двигателей приближает по своей простоте эту схему к схеме пуска асинхронных короткозамкнутых двигателей.

Второй. Прямой пуск от полного напряжения сети редко приводит к увеличению мощности понизительных трансформаторов, устанавливаемых для электроснабжения насосной станции. Принимая допустимое падение напряжения на шинах в момент пуска одного двигателя при остальных работающих равным 15 %, как показывают расчеты, мощность понизительных трансформаторов 10-6/0,38 кВ для питания электродвигателей насосных агрегатов на насосной станции определяется установленной мощностью электродвигателей, а не условиями их пуска. Кривые, приведенные на рисунке 7.20, составлены по приближенной формуле

$$\Delta U = (KP_d + P_n) / P_k ,$$

где K — кратность пускового тока двигателя; P_d — номинальная мощность пускаемого электродвигателя, кВ·А; P_n — нагрузка на шинах от работающих двигателей в момент пуска, кВ·А; P_k — мощность короткого замыкания, определяемая реактивностью трансформатора (без учета реактивности сети), кВ·А.

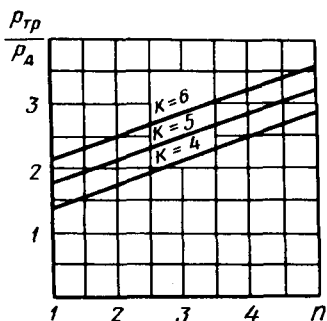


Рис. 7.20. Отношение $P_{тр}/P_{д}$ при $\Delta U = 15\%$ $U_{ном}$ при пуске одного двигателя и остальных работающих; ΔU — падение напряжения на шинах насосной станции, % от номинального; n — общее число насосных агрегатов; $P_{тр}$ — мощность питающего трансформатора с $e_k = 5,5\%$; $P_{д}$ — мощность одного двигателя; K — кратность пускового тока электродвигателя

Если учесть, что наиболее часто число агрегатов на насосной станции четыре и трансформатор выбирают с учетом ступенчатости шкалы его мощности, в подавляющем большинстве случаев пусковые условия с учетом реактивности питающей линии не приводят к увеличению установленной мощности трансформаторов. Даже для случаев, когда по пусковым условиям требуется некоторое завышение установленной мощности трансформатора, по технико-экономическим соображениям также целесообразно применять прямой пуск.

Третий. При пуске синхронного двигателя контур обмотки возбуждения должен быть присоединен к источнику питания сопротивлением, равным 4...10-кратному сопротивлению обмотки ротора постоянному току.

Основная зависимость механической характеристики двигателя от величины добавочного сопротивления, на которое замыкается цепь возбуждения при пуске, видна из рисунка 7.21. В отношении пуска трехфазный синхронный двигатель с обмоткой возбуждения, замкнутой накоротко, рассматривают как асинхронный двигатель с трехфазной первичной обмоткой и однофазной вторичной.

Вторичная обмотка создает однофазное пульсирующее поле, причем его вращающий момент при скольжении от $S = 1$ до $S = 0,5$ направлен в сторону вращающего момента, а при скольжении от $S = 0,5$ до $S = 0$ — против основного момента (см. рис. 7.21). Вследствие этого в кривой момента, развиваемого двигателем при асинхронном пуске, отмечается провал в области скоростей, близких к половине синхронной. При большом моменте сопротивления, приложенном к валу двигателя, он может затормозиться при скорости, равной примерно половине синхронной. С возрастанием добавочного сопротивления в цепи обмотки возбуждения влияние отрицательного дополнительного момента на отрезке $S = 0,5...0$ уменьшается.

Четвертый. Независимо от схемы подключения статора синхронного двигателя к сети осуществляется присоединение его ротора к источнику тока возбуждения и управления возбуждением. Взамен вращающихся генераторов постоянного тока в качестве возбудителей, как правило, применяют тиристорные возбудительные устройства (ТВУ), предназначенные для возбуждения синхронных двигателей мощностью от 100 кВт и выше. ТВУ — комплекты статические устройства, в которых нет вращающихся

частей. Это определяет их повышенную надежность и долговечность по сравнению с электромашинными возбудителями. Тиристоры являются управляемыми вентилями, позволяющими осуществлять бесконтактное и быстродействующее управление выпрямленным током для возбуждения синхронных двигателей во всех эксплуатационных режимах. Устройство снабжено автоматическим регулятором возбуждения. КПД *ТВУ* на 10...15 % выше, чем у генераторов постоянного тока.

Блок-схема *ТВУ* приведена на рисунке 7.22; *ТВУ* этого типа предназначены для питания обмотки возбуждения, управления и регулирования тока возбуждения при прямом и реакторном пуске, синхронной работе и аварийных режимах синхронных двигателей. Они работают от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В, частотой 50 Гц. В возбудителях предусмотрены автоматический, ручной и аварийный (резервный) режимы управления током возбуждения. При работе в режиме автоматического управления обеспечиваются: прямой пуск двигателя с подачей возбуждения в функции тока статора или скольжения; плавная регулировка тока возбуждения в пределах не менее 0,3...1,4 номинального; форсировка по напряжению (форсировка возбуждения срабатывает при падении напряжения сети статора на 15...20 % номинального); ограничение тока возбуждения при форсировке значением, регулируемым в пределах не менее 0,8...1,4 номинального; защита ротора при длительной перегрузке по току; форсированное гашение поля ротора при отключении двигателя и перерывах питания двигателя; стабилизация тока возбуждения по напряжению или току статора или их комбинации. *ТВУ* имеют защиту от внутренних коротких замыканий, от внешних коротких замыканий со стороны постоянного тока, от затянувшегося пуска и от исчезновения тока возбуждения двигателя. Тиристорный преобразователь 1 (см. рис. 7.22) выполнен по схеме трехфазного выпрямителя с нулевым выводом или по мостовой схеме и состоит из трех или шести тиристоров, защищенных *R — C*-цепочками.

Преобразователь питается от сети переменного тока напряжением 380 В, частотой 50 Гц через автоматический выключатель и согласующий трансформатор *Т1*. Использование специальных трансформаторов обусловлено нестандартными значениями напряжений, возбуждения синхронных двигателей. Применяют согласующие трансформаторы с повышением $E_k = 8\%$ (для

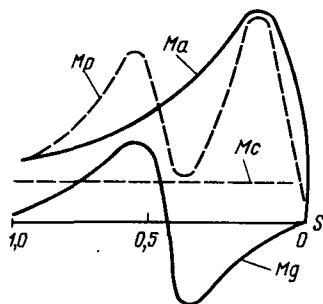


Рис. 7.21. Зависимость момента синхронного двигателя и его составляющих от скольжения:

- M_p — результирующий момент;
- M_a — асинхронный момент;
- M_c — момент сопротивления;
- M_d — добавочный момент

циометра аварийного управления $R2$, либо в режимах ручного и автоматического управления из схемы уставок.

Пятый. Предусматривается форсировка возбуждения синхронных двигателей. Она заключается в увеличении тока возбуждения двигателя и служит защитой от выпадения электродвигателя из синхронизма. Основная причина этого выпадения — понижение напряжения на шинах насосной станции, и, как следствие, соответствующее понижение момента на валу двигателя. Для поддержания момента двигателя при снижении напряжения на зажимах статора необходимо увеличить ток возбуждения двигателя. Схема форсировки осуществляет форсировку возбуждения при падении напряжения в статорной цепи двигателя до 80...85 % номинального. Датчик напряжения статора питается от трансформатора напряжения $T5$. Форсировка отключается при увеличении напряжения сети до 90...92 % номинального.

Шестой. Рассмотренные особенности приводных двигателей и аппаратуры управления позволяют сформулировать наиболее общие принципы построения схем автоматики, отвечающие особенностям эксплуатации гидромелиоративных насосных станций с учетом различных режимов управления. Схемы управления насосными установками предусматривают все возможные режимы: раздельное опробование отдельных механизмов и систем насосной установки, электродвигателя основного насоса, водовыпускных механизмов, вакуум-системы и других вспомогательных систем, входящих в состав насосной установки; местное управление, при котором первый импульс управления подается персоналом либо с местного щита управления, либо из помещения общего щита управления насосной станцией; диспетчерское управление из диспетчерского пункта, находящегося на значительном расстоянии от насосной станции, при помощи средств телемеханики; автоматический режим работы, при котором импульсы управления установкой подаются соответствующим управляющим комплексом.

Седьмой. Цепи управления и сигнализации для двигателей насосов и вспомогательных механизмов рассчитаны на напряжение 220 В. Для низковольтных двигателей напряжение для функций управления, защиты и контроля подается от сети собственных нужд переменного тока 380/220 В. Цепи управления высоковольтных двигателей работают либо на переменном токе также от сети собственных нужд 380/220 В, либо на постоянном токе. Для управления масляными выключателями используют либо пружинный, либо электромагнитный привод. Электромагнитный привод на постоянном токе более надежен в эксплуатации, и ему отдают предпочтение, особенно для насосных агрегатов мощностью свыше 1000 кВт, а также для менее мощных, если имеют место частые оперативные включения и отключения машин.

Восьмой. Для того, чтобы сохранить возможность закры-

тия задвижки при аварийном отключении электродвигателя основного насоса, разделяют силовые цепи основного двигателя насоса и задвижки на напорном трубопроводе.

§ 7.8. Параллельная работа насосов с разными характеристиками

На гидромелиоративных насосных станциях регулирование подачи часто осуществляют, применяя насосные агрегаты различной подачи (разменные агрегаты), либо параллельную работу нескольких однотипных насосов и подачу одного из них регулируют изменением частоты его вращения.

В обоих случаях параллельная работа насосов с разными характеристиками может иметь место только при определенных условиях, в зависимости от соотношения их характеристик. Чтобы проверить возможность и целесообразность совместной работы насосов при таком их сочетании, используют совмещение характеристик насосов и системы.

Характеристики $Q - H$ двух насосов I и II показаны на рисунке 7.23. Насос II развивает меньший напор, чем насос I , поэтому их параллельная работа возможна только начиная с точки, где развиваемые ими напоры становятся равными (точка C , рис. 7.23). Суммарная характеристика (кривая CE) начиная с точки C строится сложением абсцисс характеристик насосов I и II при одинаковых напорах, развиваемых ими.

Для определения суммарной подачи необходимо построить характеристику системы (кривая PD). Затем из точки A пересечения характеристики системы с суммарной характеристикой

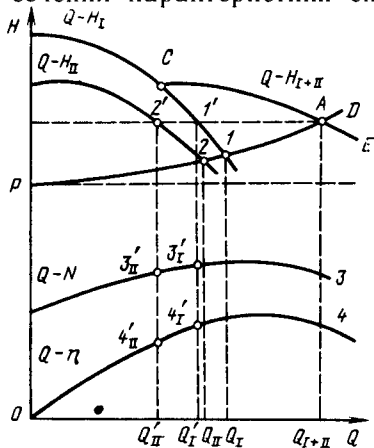


Рис. 7.23. Характеристика параллельной работы двух разных насосов

совместной работы насосов I и II (кривая CE) проводят линию, параллельную оси ординат, которая отсечет на оси абсцисс отрезок, соответствующий расходу Q_{I+II} , подаваемому в систему обоими насосами.

Подачу каждого из совместно работающих насосов находят проведением из точки A прямой, параллельной оси абсцисс. Пересечение этой прямой с характеристиками насосов I и II даст точки $1'$ и $2'$ величин подачи Q'_I и Q'_{II} .

Как известно, суммарная подача двух насосов меньше суммы подач каждого в отдельности: $Q_I + Q_{II} > Q_{I+II}$. Мощность и КПД совместно работающих насосов также отличаются от мощности и КПД насосов

при раздельной работе, в чем нетрудно убедиться, сопоставляя соответствующие значения на кривых $Q-N$ и $Q-\eta$.

§ 7.9. Электрические устройства автоматического управления насосными установками

Комплектные устройства управления для автоматизированных насосных станций гидромелиоративных систем, выполняемых на релейно-контактной аппаратуре, выполняют в шкафном и ящичном исполнении на базе унификации и типизации систем и схем управления. Конструктивное выполнение серии станции управления отличается блочным принципом. В шкафах управления размещают аппаратуру управления основного насосного агрегата и системы автоматизации насосных станций. Аппаратуру управления вспомогательными механизмами агрегатов и устройствами общестанционных нужд комплектуют в отдельных навесных ящиках, которые можно собирать в многоящичные щиты или устанавливать отдельно на стене. Щит управления механизмами собственных нужд станции включает набор унифицированных металлических ящиков и каркас секции, что позволяет компоновать из ящиков щит одностороннего обслуживания (щит двустороннего обслуживания образуется при соединении болтами двух каркасов одностороннего обслуживания тыльными сторонами). Пример компоновки электрощитового оборудования насосной станции приведен на рисунке 7.24.

Такое конструктивное решение при массовом изготовлении наиболее технологично и отвечает современному индустриально-

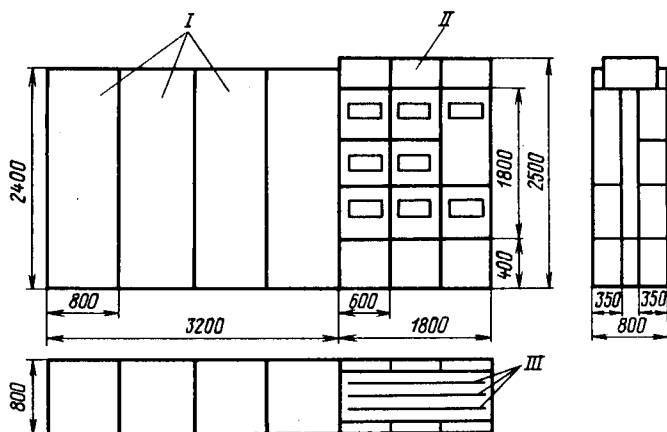


Рис. 7.24. Пример компоновки щита управления насосной станцией:

I — шкафы управления агрегатами; II — многоящичный щит СН; III — шины силовые 380 В, 220 А

му способу производства, обеспечивая большую гибкость при разработке систем управления для различных технологических режимов.

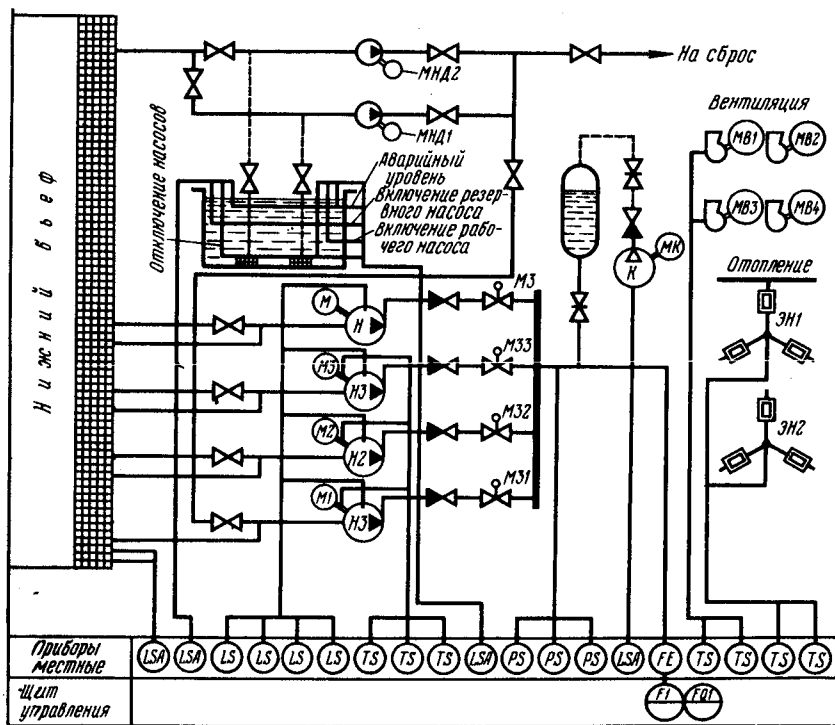
Наряду с этим все большее применение для управления агрегатами и технологическими процессами получают программируемые контроллеры, которые благодаря своей универсальности и гибкости наиболее перспективны. В частности, для управления насосными станциями подкачки применяют телеавтоматический комплекс ЛТК-133 (см. § 13.4).

§ 7.10. Принципиальные технологические схемы автоматизации насосных станций

При разработке проекта автоматизации насосной станции составляют принципиальную технологическую схему и ее автоматизацию.

Примером может служить схема технологического контроля и управления насосной станцией перекачки (рис. 7.25). На схеме показаны все гидромеханическое и электрическое оборудование станции, основные агрегаты и централизованные установки собственных нужд; показано, в каких точках и какие параметры измеряются и контролируются, какие используются датчики и приборы и где они устанавливаются, какие приняты способы передачи информации, типы регулирующих органов и исполнительных механизмов. В итоге подобные схемы дают наглядное представление о технологической схеме, оборудовании и режиме работы насосной станции в целом.

В зависимости от стадии проекта и степени сложности схемы их разрабатывают упрощенными или подробными. В упрощенных схемах средства автоматизации не детализируют и показывают укрупненно. На представленном рисунке показана более подробная схема. Приборы и средства автоматизации показаны расчлененными на отдельные составные элементы, выполняющие определенные операции в процессе получения, передачи, преобразования и использования информации для принятого способа автоматического управления или контроля. Указаны отборные устройства, первичные и вторичные измерительные и регулирующие приборы, запорные органы и их приводы. На коммуникациях и оборудовании обозначены встраиваемые первичные приборы, а также места отбора импульсов. Условно изображены щиты (панели) управления с установленной на них аппаратурой измерения, контроля, регулирования и сигнализации. Чтобы не затемнять чертеж, на схеме обычно не показывают технологические аппараты и трубопроводные коммуникации вспомогательного назначения, для которых аппаратура автоматизации не предусматривается.



Обозначение	Обозначения по схеме	наименование	К-во
		Задвижка с электроприводом	
		Задвижка ручная	
		Вентиль	
		Клапан обратный	
		Насос ротационный лопастной (пластинчатый)	
		Компрессор	
	М31-М33 М3	Двигатели задвижек на напорных трубопроводах	4
	МВ1-МВ4	Двигатели вентиляторов помещения	4
	МНД1 МНД2	Двигатели дренажных насосов	2
	МК	Двигатель компрессора	1
	М	Двигатель бустерного насоса	1
	М1-М3	Двигатели основных насосов	3

Рис. 7.25. Принципиальная технологическая схема насосной станции и ее автоматизации

§ 7.11. Степень автоматизации насосных станций

При рассмотрении вопросов автоматизации насосных агрегатов и установок было принято, что каждый агрегат или установка управляются от единичной команды, после которой агрегат работает автоматически. При этом обеспечивается последовательность работы отдельных механизмов и выполнения операций в процессе его пуска, остановки и нормальной работы. Осуществляется автоматическая защита агрегата от возникающих аварийных ситуаций и неисправностей, сигнализируется состояние. Кроме того, на насосных станциях имеется ряд централизованных установок собственных нужд — маслonaпорная установка, техническое водоснабжение, воздухоснабжение, вакуум-система, вентиляция, отопление и т. п., которые также автоматизируются. Решается ряд задач, относящихся к работе станции в целом, такие, например, как регулирование подачи станции, ввод резерва, восстановление работы станции после кратковременной пропажи напряжения и др. Автоматизируется заданный технологический режим насосной станции как подсистема автоматизированного (автоматического) управления оросительной системой в целом. В зависимости от степени автоматизации насосные станции делят на автоматизированные, программного управления и автоматические. В автоматизированных станциях насосные агрегаты и централизованные установки собственных нужд управляются от единичных импульсов, подаваемых персоналом. Отдельные установки при этом работают в автоматическом режиме (промыть решетки, вентиляция и т. п.). Число таких установок определяется режимом эксплуатации. Очевидно, что при эксплуатации насосной станции с дежурством на дому число установок, работающих в автоматическом режиме, может быть меньшим, чем при управлении станцией с удаленного диспетчерского пункта при помощи средств телемеханики.

При программном управлении специальным программным устройством заранее задается режим работы всех агрегатов и механизмов на определенное время и в определенной последовательности (например, для выполнения одного или нескольких поливов). Заданная программа выполняется автоматически. При программном управлении в отличие от автоматизированного обслуживающий персонал не управляет отдельными агрегатами и не контролирует их работу. После включения программного устройства вся станция работает автоматически.

Работа автоматических станций протекает без обслуживающего персонала. Режим ее работы определяют специальные датчики и системы автоматического регулирования (полив в зависимости от метеорологических параметров, по потребности и др.).

Режим работы станции зависит от ее назначения и от режи-

ма и степени автоматизации оросительной системы в целом.

По назначению различают несколько основных типов насосных станций гидромелиоративных систем. *Головные насосные станции* оросительных систем представляют собой машинный водозабор для подачи в систему расхода на основе существующего плана водопользования или в соответствии с фактическим водозабором системы. *Насосные станции перекачки* из старшего канала в младший или из канала в канал одного порядка, но расположенные на разных отметках. *Каскады перекачивающих насосных станций* обычно применяют, когда по технико-экономическим соображениям нецелесообразно осуществлять водозабор одной насосной станцией.

Бывают каскады практически без наличия промежуточных емкостей между станциями. В этом случае должна обеспечиваться синхронная работа всех станций с постоянным расходом на всем протяжении каскада. При наличии промежуточных отборов и резервных емкостей между станциями каждая из них регулируется индивидуально, перекачивая из НБ в ВБ переменные расходы с максимально возможными КПД. *Насосные станции подкачки*, подающие воду в закрытую сеть дождевальных систем и систем поверхностного полива. *Осушительные и осушительно-оросительные насосные станции*: первые из них предназначены для откачки дренажных вод для осушения территории, вторые — служат для осушения в одни периоды года и увлажнения — в другие.

Каждый из перечисленных типов насосных станций в зависимости от степени автоматизации оросительной системы в целом и технологических режимов работы автоматизируют с учетом их работы в полуавтоматическом, программном или автоматическом режиме. Так, на системах и частях систем, где подаваемый расход заранее не известен, а определяется числом включаемых потребителей, насосные станции работают в автоматическом режиме в зависимости от потребности. Осушительные станции, как правило, также работают в автоматическом режиме, но от уровня в осушаемом коллекторе.

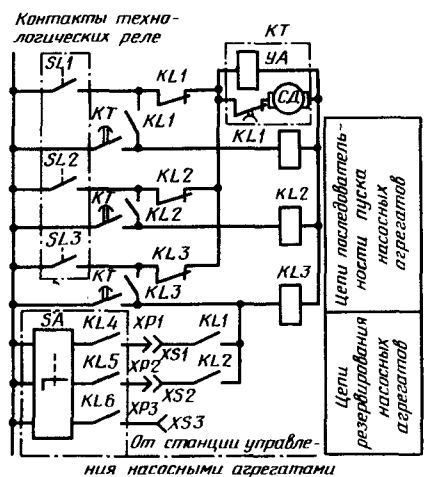
Осуществляют автоматическую синхронную работу каскадов насосных станций. Программное управление применяют на насосных станциях подкачки стационарных дождевальных систем полива, осуществляемого по заданной программе. В каждом конкретном случае разработке проекта насосной станции предшествует определение алгоритма ее функционирования и степени автоматизации.

§ 7.12. Схемы управления насосными станциями в автоматическом режиме

Схема автоматического управления насосной станцией с однотипными агрегатами (рис. 7.26). Рассмотрен принцип действия простейшей схемы, когда тремя однотипными агрегатами управ-

ляют в зависимости от положения технологических реле уровня, расхода, давления и др. Схема обеспечивает выполнение следующих операций: автоматическое включение насосных агрегатов — каждого от своей отметки уровня; изменение порядка включения агрегатов, чем достигается более равномерное распределение рабочего времени между агрегатами и соответственно их равномерный износ; автоматическое включение резервного агрегата при аварийном отключении любого из работающих, причем в качестве резервного выбирают насосный агрегат, который в заданной программе включается в работу последним; автоматическое восстановление работы насосной станции после кратковременной прощажки напряжения; предотвращение внезапного включения в сеть двигателей агрегатов, работающих в турбинном режиме. На схеме показаны замыкающие контакты технологических реле $SL1...SL3$; они срабатывают в порядке возрастания их номеров при достижении контролируемым параметром заданного значения, например при достижении заданных уровней в водозаборном сооружении осушительной насосной станции. Работа схемы протекает в такой последовательности: первым включается контакт технологического реле $SL1$, при этом получает питание катушка реле времени KT ; реле времени с выдержкой времени замкнет свой замыкающий контакт $KL1$ в цепи катушки реле $KL1$, которое включится и своими контактами обеспечит цепь включения первого насосного агрегата, подготовит цепь реле $KL3$ на случай необходимости включения третьего насосного агрегата в качестве резервного и обесточит реле KT , которое возвращается в исходное положение; второй и третий насосные агрегаты запускаются также, как и первый, только реле пуска этих агрегатов $KL2$ и $KL3$ получают импульс на включение соответственно от технологических реле $SL2$ и $SL3$, отключаются насосные агрегаты тоже автоматически в порядке, обратном пусковому. Резервирование насосных агрегатов осуществляется тем, что реле $KL3$ включается не только от замыкающего контакта $SL3$

ет питание катушка реле времени KT ; реле времени с выдержкой времени замкнет свой замыкающий контакт KT в цепи катушки реле $KL1$, которое включится и своими контактами обеспечит цепь включения первого насосного агрегата, подготовит цепь реле $KL3$ на случай необходимости включения третьего насосного агрегата в качестве резервного и обесточит реле KT , которое возвращается в исходное положение; второй и третий насосные агрегаты запускаются также, как и первый, только реле пуска этих агрегатов $KL2$ и $KL3$ получают импульс на включение соответственно от технологических реле $SL2$ и $SL3$, отключаются насосные агрегаты тоже автоматически в порядке, обратном пусковому. Резервирование насосных агрегатов осуществляется тем, что реле $KL3$ включается не только от замыкающего контакта $SL3$



К станциям управления электро-двигателями основных насосов

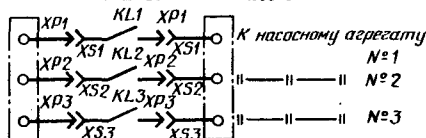


Рис. 7.26. Схема автоматического управления насосной станцией с однотипными агрегатами

(собственного технологического реле), но и от замыкающих контактов аварийных реле (*KL4* и *KL5*) всех насосных агрегатов, кроме своего. В случае выхода из строя одного из работающих насосных агрегатов включается соответствующее ему реле *KL* и замыкает свой контакт в цепи реле *KL3*. Последнее, включившись, обеспечивает пуск резервного агрегата. Пуск насосных агрегатов даже при одновременном включении всех технологических реле происходит со сдвигом во времени, обусловленным выдержкой времени контактов реле времени *KT*. Сдвиг по времени зависит от времени пуска насосного агрегата и опорожнения напорного трубопровода, чем предотвращается включение в сеть двигателя агрегата, работающего в турбинном режиме.

Индивидуальные цепи включения насосных агрегатов соединяются с замыкающими контактами реле *KL1...KL3* не наглухо, а через штепсельные разъемы-розетки *XP1...XP3*; изменением порядка включения вилок *XP* в соответствующие розетки *XS* устанавливается последовательность работы агрегатов (в целях их более равномерного износа). Эту операцию выполняют вручную по определенному графику. В этой схеме автоматизации для каждого агрегата назначены свои уровни НБ для включения и отключения. Частота включения, которая нередко является определяющей по условиям работы электродвигателей, в ней не отражена, это обстоятельство следует иметь в виду, если устанавливают насосы большой мощности и требуется выполнять ограничения по частоте пусков электродвигателей.

Схема автоматического управления насосной станцией с разнотипными агрегатами. Схема, приведенная на рисунке 7.27, построена применительно к рассмотренному примеру осушительной насосной станции с четырьмя разнотипными агрегатами. В этом случае каждое технологическое реле должно обеспечить включение соответствующей комбинации агрегатов. Как было показано, число возможных комбинаций больше числа установленных агрегатов, и соответственно требуется больше технологических реле, фиксирующих заданные значения уровня, при которых происходят включения комбинаций агрегатов. Каждое реле уровня *SL1...SL8* срабатывает, как только уровень воды поднимается до отметки его установки; в исходное положение реле возвращается при понижении уровня воды до отметки установки предыдущего реле уровня. Схема выбора включаемой комбинации агрегатов построена на основе диодной матрицы. Она состоит из перекрещивающихся горизонтальных и вертикальных шин. Число горизонтальных шин соответствует числу возможных комбинаций работающих агрегатов, а число вертикальных шин — числу насосных агрегатов. Соединение точек пересечения диодами обеспечивает включение с помощью поагрегатных реле *KL1...KL4* комбинации агрегатов, диктуемое состоянием технологических реле. Очевидно, например, что при срабатывании реле

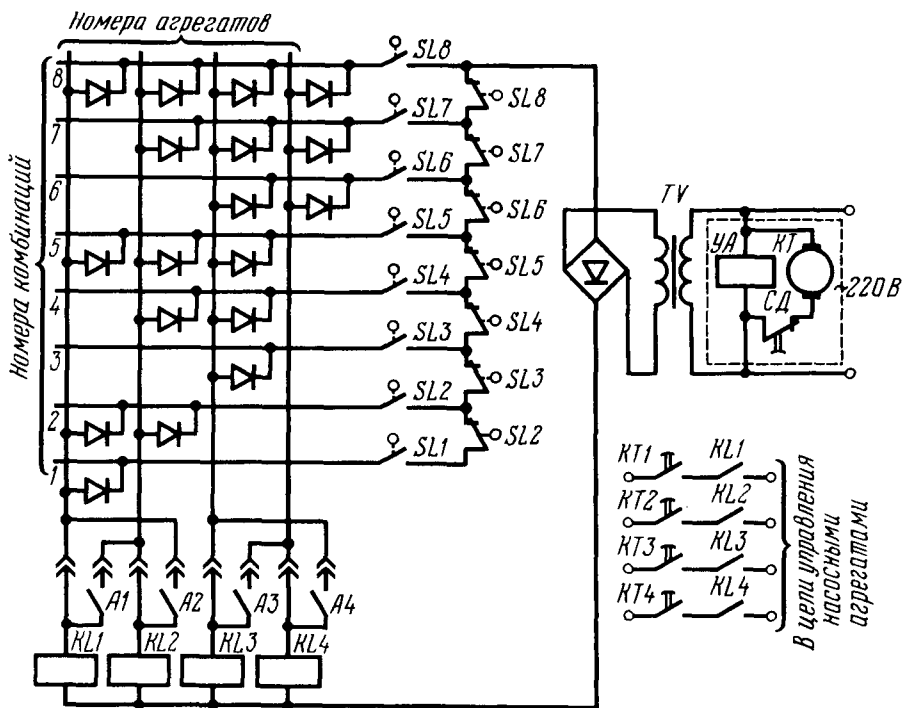


Рис. 7.27. Схема автоматического управления насосной станцией с разнотипными агрегатами

SL5 создается цепь обтекания токoм реле KL1...UL3. Контакты этих реле включены в пусковые цепи агрегатов № 1, 2 и 3, которые в этом случае должны работать. Агрегаты № 2 и 3 уже работают согласно предыдущей комбинации, поэтому подключится дополнительно лишь агрегат № 1.

Схема автоматического управления насосной станцией с учетом режима канала. Рассмотренные схемы автоматизации строились без учета скорости изменения уровней в каналах, которые служат источником водозабора. Между тем для нормальной работы канала предельные скорости в нем должны находиться в определенных границах, не допускающих заилиения канала или разрушения его откосов.

В качестве примера на рисунке 7.28 рассмотрена структурная схема автоматического устройства управления перекачной насосной станцией, которое автоматически изменяет расход насосной станции при минимальном числе переключения насосных агрегатов и обеспечивает номинальный режим подводящего канала при произвольно изменяющемся расходе воды в нем. Уровень воды в канале изменяют в определенных пределах (ограни-

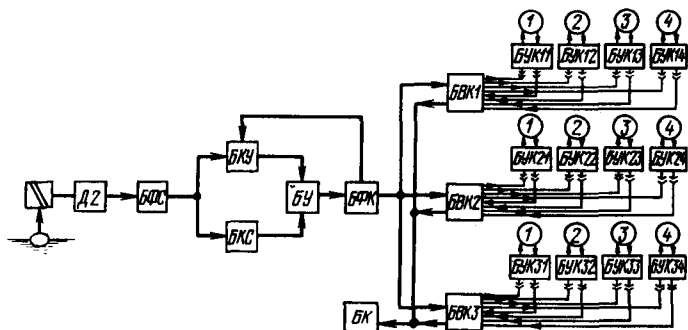


Рис. 7.28. Структурная схема устройства автоматического управления перекачной насосной станцией:

1...4 — насосы

чиваются абсолютные значения максимального и минимального уровней); расход станции является функцией уровня и скорости его изменения. Автоматическое устройство условно можно считать состоящим из двух частей: логической и выходной.

В состав функций логической части входят: наблюдение за колебаниями уровня в канале и скоростью его изменения; формирование сигнала о необходимости изменения подачи насосной станции и определения величины этого изменения. Выходная (исполнительная) часть устройства получает команду от логической части и обеспечивает ее выполнение, соблюдая технологию работы станции, автоматическое резервирование агрегатов, очередность их работы и контроль работы каждого агрегата в отдельности. В состав логической части входят блоки: контроля уровня (БКУ); контроля скорости изменения уровня (БКС); формирования сигналов датчика (БФС); управления (БУ). БКУ следит за уровнем, сравнивает его с заданными для имеющейся подачи станции предельными величинами и выдает сигналы при достижении уровнем предельных значений. БКС следит за скоростью движения уровня и определяет, насколько следует изменить подачу станции (на сколько шагов дискретности). БФК усиливает и формирует электрические сигналы датчика. БУ формирует команду для исполняющей части устройства. Функции, относящиеся к каждому агрегату в отдельности, выполняют блоки управления и контроля насосных агрегатов (БУК); узлы устройства, относящиеся к управлению группой однотипных агрегатов, объединены в блоки выполнения команды (БВК). В устройстве осуществлено автоматическое резервирование, которое построено по принципу автоматической смены очередности включения агрегатов. В этом случае очередность включения агрегатов меняется на столько единиц в меньшую сторону, сколько имеется перед ним аварийных и остывших агрегатов. Таким образом, в резерве находятся все исправные и остывшие агрегаты. Общие

цепи сигнализации и блокировок, относящиеся в одинаковой мере ко всем агрегатам, объединены в блок контроля работы агрегатов (БК). Кроме того, в выходную часть устройства входит блок формирования команды (БФК), назначение которого заключается в том, что он, получая от логической части устройства команду на изменение подачи (как по величине, так и по знаку), распределяет эту команду по группам агрегатов.

Схемы, изображенные на рисунках 7.26 и 7.27, выполнены на релейно-контактной аппаратуре. Схемы достаточно просты, требуют для своей реализации небольшого числа реле и другой аппаратуры; такого рода схемы в таком исполнении надежно функционируют, и по технико-экономическим соображениям их целесообразно переводить на другую элементную базу.

Схема на рисунке 7.28 выполнена на бесконтактных логических операциях, требующих много аппаратуры. Подобные схемы целесообразно выполнять на основе программирования с применением микропроцессорной техники.

§ 7.13. Автоматическое регулирование расхода насосных станций

Регулирование расхода — существенная задача при автоматизации гидромелиоративных насосных станций. Расход должен меняться в зависимости от запроса на воду со стороны потребителей либо в соответствии с заданным алгоритмом управления. Подачу насосных станций регулируют: изменением числа и состава включаемых насосных агрегатов, изменением сопротивления сети путем дросселирования запорно-регулирующего органа, регулированием частоты вращения насосных агрегатов, изменением характеристик насоса путем поворота лопастей рабочего колеса или направляющего аппарата. Регулирование расхода осуществляют изменением числа и состава агрегатов. На насосных станциях устанавливают несколько однотипных насосных агрегатов. В этом случае шаг дискретности при n установленных насосных агрегатов равен $1/n$ от полного расхода станции.

Для осуществления более плавного регулирования расхода шаг дискретности уменьшают установкой разнотипных агрегатов. Наряду с основными, более мощными, устанавливают агрегаты меньшей мощности, получившие название «разменные» агрегаты. Это позволяет при неизменном общем числе агрегатов значительно повысить плавность регулирования. Например, при установке на насосной станции 4 однотипных насосных агрегатов они обеспечивают шаг дискретности Q/n (Q — максимальный расход станции). Четыре насосных агрегата, из которых два с подачей $Q/8$ и два с подачей $3Q/8$, обеспечивают в два раза меньшую дискретность, равную $Q/8$. В этом случае в зависимости от требуемого расхода выбирают комбинацию одновременно работающих агрегатов, например, согласно таблице 7.4.

7.4. Комбинации включаемых насосных агрегатов

Возможные комбинации	Расход насосных агрегатов			
	Q_1	Q_1	$3Q_1$	$3Q_1$
1	+	—	—	—
2	+	+	—	—
3	—	—	+	—
4	—	+	+	—
5	+	+	+	—
6	—	—	+	+
7	—	+	+	+
8	+	+	+	+

Примечание. Знаком + обозначены работающие агрегаты.

С увеличением числа возможных комбинаций, включаемых разнотипных агрегатов схема их автоматического выбора и переключения несколько усложняется. Однако это усложнение компенсируется существенным улучшением технологического режима работы. Этот способ регулирования расхода наиболее распространен, так как прост и не требует специального оборудования. Учитывая, что гидромелиоративные системы сооружают с учетом наличия в них рассредоточенной резервной емкости, в большинстве случаев нетрудно выбрать соотношение шага дискретности и величины рассредоточенной емкости регулирования.

Регулирование дросселированием задвижкой. Регулирование расхода задвижкой заключается в создании задвижкой искусственного дополнительного сопротивления сети, при котором часть напора гасится. Однако применяемые задвижки промышленного назначения являются лишь запорными устройствами и в качестве регулятора, особенно при большой частоте регулирования, работают ненадежно. В этом случае устанавливают специальный регулирующий орган.

На гидромелиоративных насосных станциях дросселирование применяют редко, ибо энергетически оно невыгодно. Однако в ряде случаев дросселирование дает положительный эффект, особенно при необходимости гашения напоров, возникающих в трубопроводах на больших уклонах и во всех других случаях, когда напор не удается использовать и он должен быть погашен. Такое решение, в частности, применяют на закрытой сети для поддержания постоянного давления на входе к дождевальным машинам «Фрегат». В этом случае устанавливают автоматические регуляторы давления «после себя» (см. рис. 9.33).

Регулирование изменением частоты вращения насосных агрегатов наиболее экономично. Полезная мощность (кВт) на валу двигателя центробежного насоса $P_2 = QH/\eta 102$, где Q — расход, m^3/c ; H — напор, м; η — КПД насоса.

Развиваемый центробежным насосом напор зависит от частоты

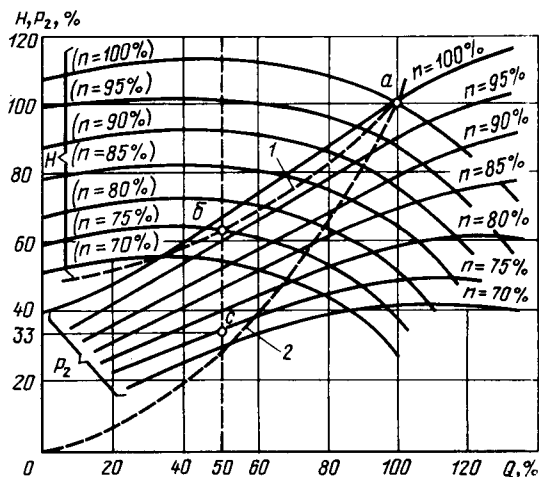


Рис. 7.29. Характеристики центробежного насоса при разной частоте вращения n :

1 — кривая работы насоса при 50 % статического напора и 50 % динамического; 2 — кривая работы насоса при статическом напоре

расходе, не поглощая избыточный напор задвижкой.

Из теории центробежного насоса известно, что, если насос преодолевает только динамический напор, мощность, потребляемая насосом, при регулировании частоты вращения пропорциональна кубу расхода, то есть $P_2 = C_1 Q^3$. Чтобы определить необходимую мощность на валу насоса, когда преодолевается как динамический, так и статический напор, при изменяющемся расходе Q , следует пользоваться кривыми $Q - H$, снятыми для данного насоса при разной частоте вращения (рис. 7.29).

Как показано на рисунке, преимущество регулирования подачи изменением частоты вращения тем меньше, чем большая доля в общем напоре приходится на статический напор. Пусть, например, насос при нормальном расходе преодолевает 50 % статического и 50 % динамического напора. На рисунке характеристика его работы изобразится кривой 1. При номинальной частоте вращения насос работает в точке a . Если требуется изменить расход, например, на 50 %, то это значит, что работа насоса должна переместиться в точку b изменением скорости вращения двигателя. Для этого применяют специальные преобразователи частоты. Однако это требует технико-экономического обоснования.

ты его вращения и расхода. При полностью закрытой задвижке мощность на валу насоса составляет около 40 % нормальной P_n . По мере открывания задвижки мощность растет почти прямо пропорционально расходу. Таким образом, приближенно $P_2 = 0,4 P_n + CQ$ (C — коэффициент пропорциональности).

При регулировании частоты вращения насоса напор, развиваемый им, можно привести в соответствие с напором при данном

§ 7.14. Автоматизация насосных станций, работающих на закрытую трубопроводную сеть

На орошаемых землях с поливом дождевальными машинами и установками сооружают подземную трубопроводную сеть, которая служит для их водоснабжения (см. § 9.21).

Необходимый напор в трубопроводной сети для обеспечения нормальной работы дождевальных машин создают при помощи насосной станции, называемой насосной станцией подкачки (НСП). НСП автоматизируют в зависимости от технологического режима их работы.

1. Число одновременно работающих на сети дождевальных машин персоналу насосной станции, как правило, неизвестно. Это объясняется тем, что фактический коэффициент использования дождевальных машин меньше единицы (за счет технологического режима полива, возникающих в процессе эксплуатации технических неполадок и поломок, ремонтов, заранее незапланированных профилактических осмотров и т. п.). При этом для обеспечения дождевальными машинами требуемого расхода и одновременно высокого КПД НСП, необходимо, чтобы расход насосной станции определялся числом работающих в данный момент дождевальных машин и потребляемым ими расходом воды. Выдержать это условие при ручном управлении насосной станцией подкачки сложно. Поэтому осуществляют автоматическое согласование расхода насосной станции с водопотреблением из сети.

2. В трубопроводной сети при имеющих место переключениях насосных агрегатов и дождевальных машин могут возникать гидравлические удары. Система автоматики, включая устанавливаемые на сети противоударные устройства, должна обеспечивать максимальное смягчение гидравлических ударов в трубопроводах.

Режим работы НСП. У НСП различают три режима работы, обусловленные особенностями подачи ею воды в закрытую сеть дождевальной системы: режим заполнения напорной сети — процесс заполнения напорного трубопровода при его частичном или полном опорожнении после сравнительно длительной остановки насосной станции; дежурный режим автоматического поддержания давления в трубопроводной сети при отсутствии полива; основной рабочий режим, при котором подают требуемый расход воды и создают необходимое давление для нормальной работы дождевальной техники.

Режим заполнения напорной сети возникает, когда после длительной остановки НСП трубопроводная сеть опорожняется и противодействие со стороны напорной сети отсутствует. При продолжительной работе дождевальной техники (в сутки 20 ч и более) заполнение сети требуется крайне редко и его можно выполнять вручную. В противном случае этот процесс автоматизируют.

Второй режим работы НСП — дежурный, обусловливается необходимостью поддерживать давление в трубопроводной сети, когда все гидранты на ней закрыты и полив не проводят. Поддерживая давление в сети, обеспечивают готовность насосной станции к автоматическому включению насосного агрегата для обеспечения расхода подключившегося к сети дождевального агрегата. Если не соблюдать этот режим, то за счет утечек через некоторое время после отключения насосных агрегатов давление в сети упадет, в сеть может быть подсосан воздух, в результате чего образуются воздушные пробки. Давление, поддерживаемое в сети, в этом режиме может быть меньше рабочего, так как расход утечек сравнительно невелик (утечки для асбестоцементных трубопроводов при качественном выполнении сети принимают 4...5 %, а для остальных — 3...4 % максимального расхода сети). Таким образом, во всех кратковременных перерывах полива, независимо от их причин, насосная станция автоматически переводится в дежурный режим. Основной режим работы НСП, то есть автоматическая подача требуемого расхода, имеет место все время, пока осуществляется полив.

Рассмотренные режимы показывают, что их рациональное выполнение при ручном управлении практически невозможно. Кроме того, число НСП, сооружаемых ежегодно, велико (одна насосная станция подкачки обслуживает площадь полива 600...1000 га), и это обуславливает экономическую целесообразность организации их эксплуатации без постоянного дежурного персонала. Поэтому НСП автоматизируют и предназначают их для работы без постоянного дежурного персонала.

Существуют различные принципы их автоматизации. На выбор принципа автоматизации влияют тип дождевальной техники, протяженность трубопроводной сети, оборудование насосной станции, способ регулирования расхода и напора. Типовая технологическая схема трехагрегатной НСП, автоматизируемой по расходу, приведена на рисунке 7.25; по этой схеме давление в сети при отключенных дождевальных машинах поддерживается вспомогательным насосом с малым расходом (бустерный насос), компенсирующим утечки в сети. На схеме показан один бустерный насос. В большинстве случаев устанавливают два бустерных насоса. Второй насос — резервный. При необходимости два бустерных насоса могут работать параллельно в случае, если подача одного бустерного насоса недостаточна для компенсации утечек в сети.

Демпфирование гидравлических ударов осуществляют водовоздушным котлом (ВВК), в котором воздушная подушка служит демпфером.

Бустерный насос зачастую работает в прерывистом режиме в сочетании с ВВК; накапливаемая в ВВК в периоды работы бустер-насоса вода расходуется на компенсацию утечек, когда бустер-насос отключен. Выбирают бустер-насос с давлением

меньше рабочего. При этом уменьшаются утечки в сети и соответственно расходуемая бустер-насосом электроэнергия.

Регулирование расхода автоматизируют изменением числа включенных однотипных насосных агрегатов в функции расхода воды, активной потребляемой мощности или напора. Применяют также схемы, в которых наряду с основными агрегатами устанавливают разменные или наряду с основными один насосный агрегат с регулированием частоты его вращения.

На технологической схеме показано соединение ВВК с напорной сетью при помощи задвижки. Перед заполнением сети водой эту задвижку закрывают. В ВВК компрессором K накачивают воздух до давления P_0 . После заполнения сети водой, когда давление в ней повышается до $P_{\text{сети}}$, открывают задвижку, и вода частично заполняет котел, поднимая давление воздуха в нем с P_0 до $P_{\text{сети}}$. Этим подготавливается условие для включения бустер-насоса и автоматизации его работы по давлению. Характеристики $Q - H$ бустер-насоса и основного показаны на рисунке 7.30. Когда за счет утечек в сети давление снижается до величины в точке A , бустер-насос автоматически включается. При этом давление в сети начинает повышаться, и при достижении верхнего контрольного уровня в точке B бустер-насос отключается. Таким образом, он работает в прерывистом режиме, включаясь при давлении, равном в точке A , и отключаясь при достижении давления, равного в точке B . Утечки за время его отключения компенсируются за счет накопленной воды в ВВК. Как показано на рисунке, бустер-насос выбирают с крутой $Q - H$ характеристикой, чем обеспечивается четкая работа бустер-насоса в прерывистом режиме. Частота включения бустер-насоса определяется вместимостью ВВК. Поэтому наряду с выбором объема ВВК по условиям гашения в сети гидравлических ударов его проверяют также на допустимую частоту включения бустер-насоса. В процессе работы количество воздуха в ВВК не остается постоянным, а уменьшается за счет утечек через неплотности соединений ВВК и частичного растворения в воде. Уменьшение количества воздуха в ВВК допускают только до определенного предела, в противном случае ВВК перестает выполнять функции гасителя гидравлических ударов. По этой причине, а также для того, чтобы воздух из ВВК не попадал в трубопроводную сеть, не допускают полного опорожнения ВВК (специальное поплавковое устройство при минимальном уровне воды в ВВК отключает его от трубопроводной сети). Когда к сети подключается дождевальная агрегат, бустер-насос не может обеспечить требуемый расход, и давление

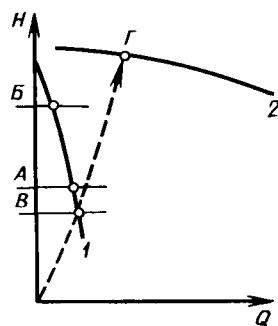


Рис. 7.30. Характеристики бустер-насоса 1 и основного агрегата 2

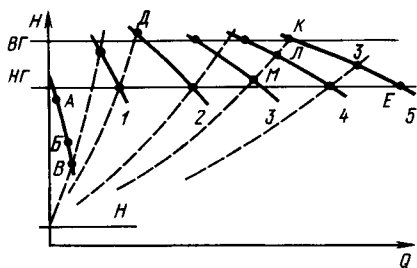


Рис. 7.31. Характеристика насосной станции при регулировании по давлению:

1...5 — характеристика насосов

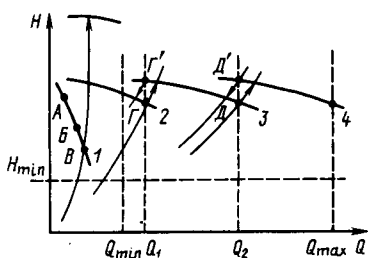


Рис. 7.32. Характеристика насосной станции при регулировании по расходу:

1...4 — характеристика насосов

в сети падает ниже давления в точке *A*, что является сигналом на включение основного насосного агрегата. Импульс на включение дается при снижении давления в сети до давления в точке *B*. Насосный агрегат включается, давление в сети возрастает (давление в точке *Г*), и бустер-насос отключается. Теперь, по мере изменения числа подключенных дождевальных машин, автоматически должно меняться число или комбинация работающих насосных агрегатов.

Существуют три наиболее распространенных способа автоматического регулирования расхода насосной станции: регулирование по давлению, расходу и потребляемой активной мощности.

Регулирование подачи по давлению. Согласно рисунку 7.31 определяют две границы давления — нижнюю *HГ* и верхнюю *ВГ*, за пределы которых давление на насосной станции не должно выходить. После включения первого насосного агрегата, которое произошло от датчика давления в точке *B*, насосный агрегат будет работать по характеристике *1*. Его расход будет увеличиваться, а давление будет снижаться. При снижении давления до *HГ* включается второй насосный агрегат, и давление поднимается до величины, соответствующей точке *D*. При дальнейшем возрастании требуемого расхода аналогично включаются третий и последующие агрегаты. Отключение происходит в обратном порядке от контактов датчика давления, настроенного на срабатывание при давлении *ВГ*. Схему автоматики строят так, чтобы каждый раз при достижении давления *ВГ* или *HГ* соответственно включался или отключался один следующий по очередности агрегат. Однако при значительном числе устанавливаемых насосных агрегатов регулирование по давлению часто приводит к неэкономичной работе насосной станции. Например, как показано на рисунке, при работе пятого агрегата и уменьшении расхода его отключение целесообразно осуществ-

лять в точке Z . Однако работа пяти агрегатов будет продолжаться до точки K , и только здесь произойдет отключение пятого агрегата. Таким образом, в этом случае насосная станция будет работать с большим числом агрегатов, чем это требуется. Исключить этот недостаток возможно за счет индивидуальной настройки точек давления включения-отключения каждого агрегата. Однако при этом усложняется схема, уменьшается надежность ее работы.

При пологих характеристиках $Q - H$ насосных агрегатов регулирование по давлению, как правило, не применяют, ибо интервал давления между точками включения-отключения невелик и возникают трудности при построении надежной работы схемы автоматического управления.

Регулирование подачи воды по расходу. Учитывая, что, как правило, применяют насосные агрегаты с пологой характеристикой, основным методом регулирования числа включенных агрегатов насосной станции является метод регулирования по расходу. Характеристики насосной станции при регулировании по расходу приведены на рисунке 7.32. На магистральном трубопроводе закрытой сети устанавливают расходомер с унифицированным токовым выходом $0...5$ мА.

Первый насосный агрегат, как было показано, обычно включается контактами датчика давления. При увеличении расхода до величины Q_1 (точка Γ) запускается второй насосный агрегат, при увеличении расхода до Q_2 (точка Δ) — третий и т. д. Остановка насосных агрегатов происходит в обратном порядке (точки Δ' , Γ').

Расход является прямым параметром, который непосредственно определяет необходимость переключения насосных агрегатов. Другие параметры (давление, активная мощность) являются косвенными. Однако конкретные условия, такие, например, как отсутствие расходомера или другой соответствующей аппаратуры, зачастую диктуют необходимость использовать косвенные параметры для регулирования подачи, несмотря на то, что эти способы менее точны.

Регулирование подачи по активной мощности. Одним из косвенных параметров регулирования подачи является активная мощность, потребляемая электродвигателем насосного агрегата (или его ток, если сохраняется постоянство $\cos \varphi$). Баланс мощности центробежного насоса (опытные кривые), из которого видно, что активная нагрузка электропривода насоса определяется не только расходом, но и потерями, которые не остаются неизменными при различных расходах, показан на рисунке 7.33. Без дополнительных пояснений очевидно, что мощность (полезная), соответствующая данному расходу, не всегда определяется однозначно. С учетом этого допущения в ряде случаев принимают активную мощность в качестве параметра, по которому осуществляют автоматическое включение-отключение насосных

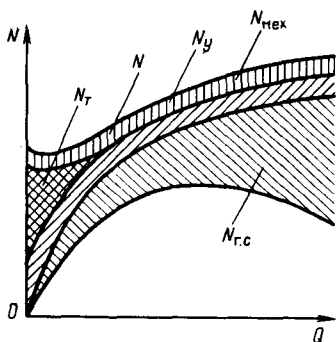


Рис. 7.33. Баланс мощности центробежного насоса:

N — мощность на валу насоса (эффективная); $N_{\text{мех}}$, $N_{\text{у}}$, $N_{\text{г.с.}}$, N_{T} — потери мощности соответственно на механические сопротивления, утечки воды через зазоры, гидравлические сопротивления, торможение

агрегатов. Для регулирования в данном случае также используют унифицированный входной сигнал 0...5 мА.

Системы автоматического управления насосными станциями подкачки. В практике преимущественно применяют схемы управления, построенные на релейно-контактной аппаратуре, при помощи которой реализуются вышеизложенные принципы построения схем автоматического управления насосными агрегатами. Принята единая унифицированная схема автоматического управления с регулированием подачи воды по расходу, главным образом изменением числа включаемых насосных агрегатов. На этих принципах разработаны типовые проекты и комплектные щиты автоматического управления насосными станциями подкачки, выпускаемые заводами электропромышленности (см. § 7.9).

Наряду с этим систему управления НСП признано целесообразным строить на базе средств микропроцессорной техники.

Вместо схем, выполненных на релейно-контактной аппаратуре, применяют комплексы технических средств на базе микро-ЭВМ, для которых разрабатывается программно-алгоритмическое обеспечение.

Применение микро-ЭВМ в качестве универсального управляющего устройства для автоматических подкачивающих насосных станций не позволяет ограничиться схемами, разработанными для каждой из существующих модификаций насосных станций. Применение микро-ЭВМ обуславливает разработку универсального специального программного обеспечения, применяемого для многих из существующих модификаций подкачек.

Структура алгоритмического обеспечения для НСП различных модификаций приведена на рисунке 7.34.

Индексация кодов технологических процессов, их модификаций и числа оборудования, занятого в каждом технологическом процессе, приведена в таблице 7.5.

Классификационный код содержит информацию, необходимую для разработки алгоритмического и программного обеспечения системы управления НСП.

Функциональная структура автоматической системы управления НСП при ее реализации на базе микро-ЭВМ представлена на рисунке 7.35.

В состав структуры входят следующие функции.

1. Функция 1 — контроль аварийного состояния. Осуществляется автоматический циклический сбор информации с дискрет-

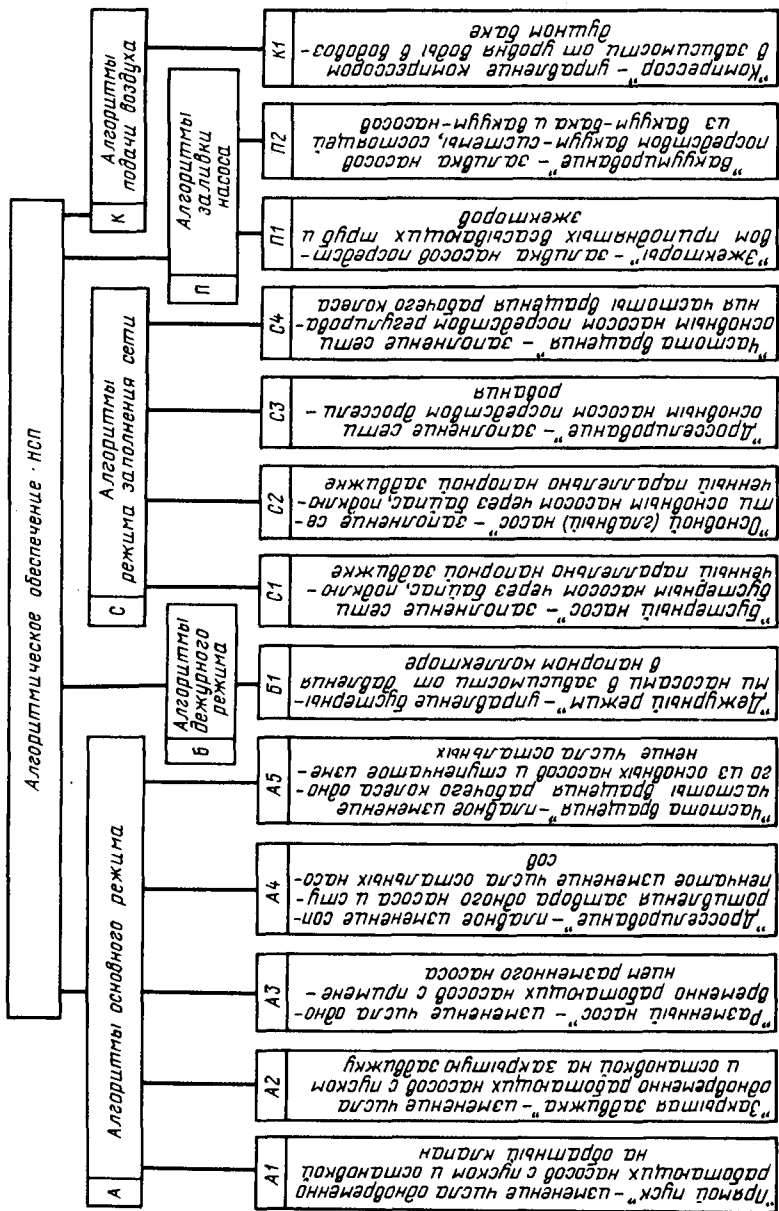


Рис. 7.34. Структура алгоритмического обеспечения НСП

7.5. Индексация кодов технологических процессов

Технологические процессы	Индекс кода технологического процесса	Возможные значения индекса модификации технологического процесса	Возможные значения индекса числа единиц оборудования в данном технологическом процессе
Основной режим	А	1, 2, 3, 4, 5	3, 4, 5, 6, 7
Дежурный режим	Б	0, 1	0, 1, 2
Режим заполнения напорной сети	С	1, 2, 3, 4	—
Заливка насосов	П	0, 1, 2	0, 1, 2
Подача воздуха в ВВК	К	0, 1	0, 1, 2

ных датчиков аварийного состояния технологических параметров и оборудования и проводятся необходимые вычисления предаварийных значений контролируемых аварийных параметров.

2. Функция 2 — диагностика аварийного состояния. Результаты, получаемые при выполнении этой функции, являются исходными при выполнении функций 3, 4, 5 и 19.

3. Функция 3 — аварийное отключение технологического оборудования. Данная функция определяет необходимость отключения неисправных единиц технологического оборудования. Возможность функционирования станции без отключенной части технологического оборудования. Аварийное отключение отдельных единиц оборудования накладывает ограничения на реализацию функции 7.

4. Функция 4 — аварийная остановка станции в результате возникших аварийных ситуаций.

5. Функция 5 — формирование инициативных сигналов. Возникновение любой аварийной (предаварийной) ситуации предопределяет выработку инициативы со стороны системы для связи с верхним уровнем управления. Инициативный сигнал обслуживается системой передачи данных с наивысшим приоритетом.

6. Функция 6 — контроль технологических процессов. Производится автоматический циклический сбор информации о протекании технологического процесса, осуществляется ее первичная обработка, хранение, расчет параметров и их сравнение с уставками.

7. Функция 7 — технологическая диагностика. На основании исходных данных функции 6 с учетом ограничений, накладываемых функцией 2, осуществляются выбор режима работы станции и передача управления функциям, обеспечивающим автоматическое функционирование НСП. Максимальный состав технологических режимов, обеспечивающих процесс подачи воды потребителям, включает функции: 8 — основной режим; 9 — дежурный режим; 10 — режим наполнения напорной сети; 11 — заливка

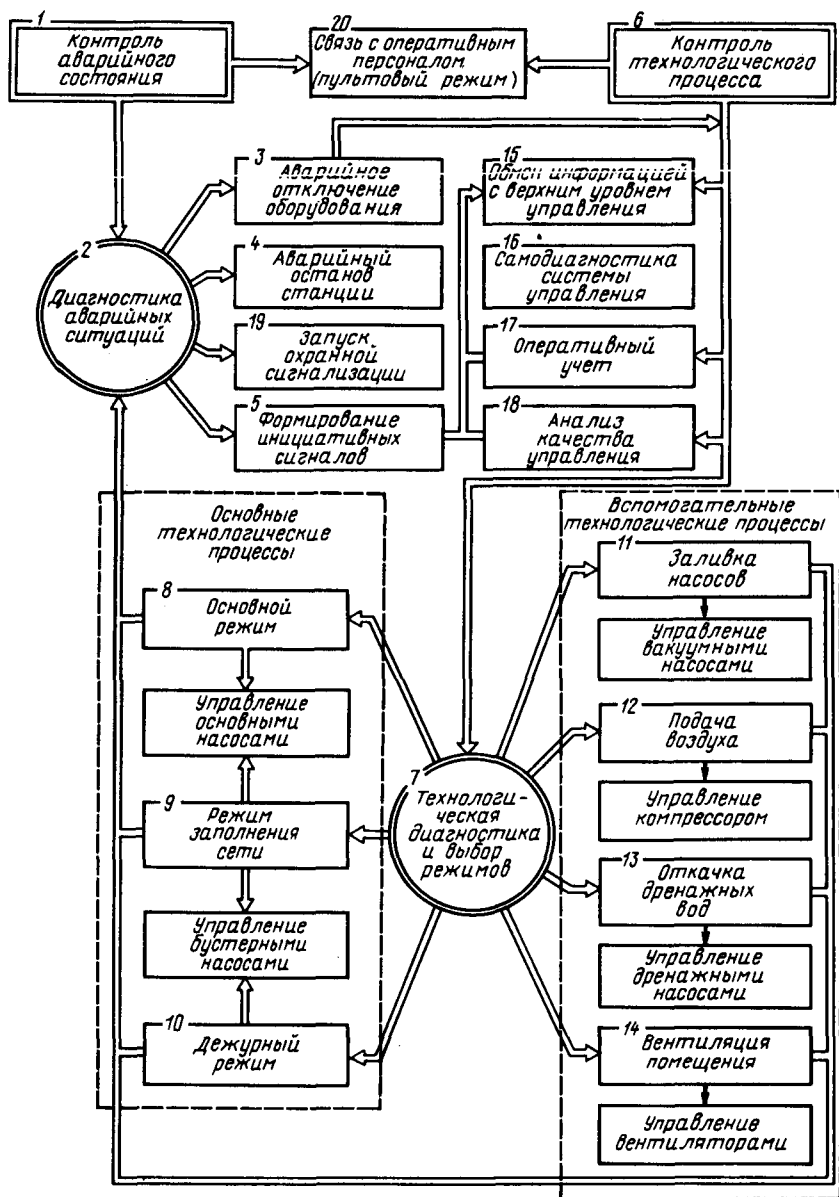


Рис. 7.35. Функциональная структура системы управления НСП

ка насосов; 12 — подача воздуха; 13 — откачка дренажных вод; 14 — вентиляция помещения.

8. Функция 15 — обмен информацией с верхним уровнем управления (диспетчером). Осуществляется организация двустороннего канала связи для обмена информацией с диспетчером.

9. Функция 16 — самодиагностика системы управления, заключающаяся в периодической проверке исправности технических средств управления.

10. Функция 17 — оперативный учет. Вычисляются необходимые параметры, характеризующие работу насосной станции. Определяются объем поданной потребителям воды, энергозатраты, время наработки каждого из насосных агрегатов, время простоя из-за неисправности и др.

11. Функция 18 — анализ качества управления. Оценивают управление на основании расчета среднеквадратичных отклонений переменных состояний технологического процесса водоподачи от заданных значений.

12. Функция 19 — запуск охранной сигнализации, если насосная станция эксплуатируется в режиме на замке.

13. Функция 20 — взаимодействие с оператором. Реализуется пультовый режим для обмена информацией между системой управления и обслуживающим персоналом при проверке, настройке и профилактическом обследовании оборудования и средств управления. Рассмотренная функциональная структура, разработанная во ВНИИКАмелиорации, является одной из возможных структур, дающей представление о системе управления насосной станцией, осуществляемого на базе микро-ЭВМ на основе программирования.

Телеавтоматический комплекс ЛТК-133 предназначен для управления НСП (§ 8.4).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие зависимости (кривые) называют рабочими характеристиками насоса?

2. Начертите рабочие характеристики горизонтального центробежного насоса.

3. Почему не допускается длительная работа насоса при закрытой задвижке на напорном трубопроводе?

4. Начертите рабочие характеристики осевого насоса.

5. Как осуществляется заливка центробежного насоса при помощи всасывающей приподнятой трубы и какова при этом роль эжектора?

6. Расскажите, в каких случаях возможен пуск центробежного насоса с открытой задвижкой на напорном трубопроводе и в каких случаях — остановка?

7. Почему пуск осевого насоса осуществляют с открытой задвижкой на напорном трубопроводе?

8. Какие способы автоматической заливки насосов Вам известны?

9. Как работает вакуум-система с вакуум-котлом и в каких случаях ее применяют?

10. Каковы основные принципы автоматизации вакуум-системы?

11. Какие требования предъявляют к трубопроводной арматуре автоматизированных насосных станций?

12. В каких случаях на насосных станциях применяют дисковые затворы с электроприводом и в каких — с гидроприводом?

13. Начертите электрические схемы автоматического управления электроприводом задвижек и расскажите об их особенностях.

14. Начертите схему гидравлического управления дисковым затвором.

15. В каких случаях применяют форсировку возбуждения и для какой цели?

16. Чем отличается тиристорное возбуждательное устройство от электромашинного возбуждателя и в чем заключается принцип его действия?

17. Перечислите принципы построения схем автоматического управления насосными установками.

18. Какие способы автоматического регулирования расхода насосных станций Вам известны?

19. Как происходит параллельная работа насосных агрегатов с различными характеристиками?

20. В каких случаях применяют разнотипные насосные агрегаты и в чем преимущество регулирования расхода этим способом?

21. В чем различие между программным, полуавтоматическим и автоматическим управлением насосными станциями?

22. Какие требования предъявляют к автоматизации НСП и какие режимы работы подкачек Вам известны?

23. Для каких целей применяют бустер-насосы и водовоздушный котел в системе автоматизации НСП?

24. Расскажите о принципах автоматического регулирования расхода НСП по расходу, напору, активной мощности. Каковы их достоинства и недостатки?

25. Почему признано целесообразным строить систему управления НСП на базе программирования с применением средств микропроцессорной техники?

ГЛАВА 8. АВТОМАТИЗАЦИЯ СКВАЖИН НА ВОДУ

§ 8.1. Общие сведения

Наряду с поверхностными источниками для орошения и водоснабжения используют также подземные воды.

Большое распространение получили небольшие, локальные системы водоснабжения, когда одна насосная установка откачивает воду из скважины и подает ее в напорный резервуар, водонапорную башню или в закрытую сеть.

Для водоснабжения небольших городов, поселков, отдельных производственных предприятий и целых сельскохозяйственных районов служат группы скважин, совместно работающих на закрытую сеть или резервуар.

Все в больших масштабах используют подземную воду для орошения. В каждом случае степень использования подземных вод определяют исходя из конкретных условий и технико-экономических соображений.

Насосные установки, откачивающие грунтовые воды, помимо водоснабжения и орошения, применяют для вертикального дренажа с целью мелиорации земель — водоснабжения, осушения, рассолнения почвогрунтов и предотвращения их вторичного засоления. Такой дренаж имеет особое значение. Причины возникновения потребности в нем и механизм его действия обусловлены законами движения подземных вод, глубиной их залегания, фи-

зико-химическим составом и др. В южных районах нашей страны (республики Средней Азии и Закавказья) немалое распространение имеют засоленные земли, которые в зависимости от степени засоления либо снижают урожайность, либо вовсе исключаются из сельскохозяйственного оборота.

Кроме того, при освоении новых орошаемых земель, до этого не засоленных, после подачи на них оросительной воды в ряде случаев наблюдаются интенсивный подъем уровня грунтовых вод (даже если раньше они залегали на глубине нескольких десятков метров) и засоление верхнего слоя почвогрунта. Явление засоления объясняется наличием близко залегающих к поверхности подземных сильно минерализованных вод, особенно если они подпорные и с низкой естественной дренированностью данной территории. Грунтовая вода, поднимаясь под влиянием повышения температуры по почвенным капиллярам, испаряется, оставляя соли в верхнем слое почвогрунтов. Засоление почвы приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. При значительном повышении засоленности корнеобитаемого слоя почва теряет плодородие, и порой большие площади становятся непригодными для землепользования. Рассоление земель и борьбы с вторичным засолением, возникающим в процессе орошения, — важные проблемы орошаемого земледелия. Наиболее эффективное средство ликвидации засоления, его предотвращения — вертикальный дренаж. В общем случае задача заключается в понижении уровня грунтовых вод и уменьшении их напорности до значений, когда они уже не могут подниматься по капиллярам и испаряться с поверхности почвы. В ряде случаев вертикальный дренаж применяют одновременно с целью понижения уровня грунтовых вод и их использования для орошения.

Грунтовые воды откачивают из специально сооружаемых буровых скважин насосными установками. Начиная с уровня 10 м от поверхности земли скважины оборудуют специальными глубоководными вертикальными центробежными насосами, получившими название артезианских.

§ 8.2. Насосные установки буровых скважин

В зависимости от типа электродвигателя насосного агрегата и места его расположения в скважине или на поверхности насосные агрегаты делят: на агрегаты с электродвигателем, расположенным над устьем скважины на поверхности земли (в этом случае электродвигатель соединяют с насосом, расположенным в скважине, при помощи длинного вала) (рис. 8.1, а), и на агрегаты с погружным электродвигателем, опускаемым совместно с насосом в скважину (рис. 8.1, б).

В состав общей установки буровой скважины, помимо собственно бурового колодца, насосного агрегата, водоподъемной трубы с коленом и запорной арматурой, входят станция автома-

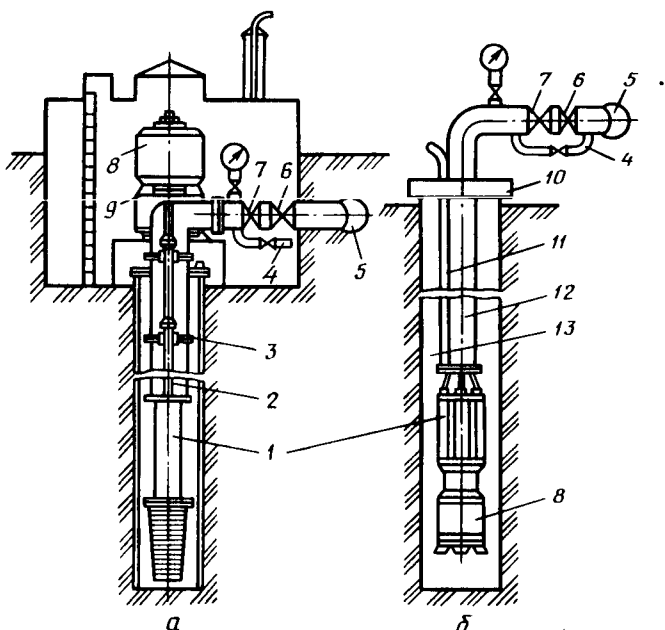


Рис. 8.1. Схема расположения в скважине насосной установки: *a* — оборудованной насосом типа АТН; *б* — оборудованной насосом типа ЭЦВ; 1 — насос; 2 — приводной вал; 3 — резиновый подшипник; 4 — обводная труба; 5 — магистральный трубопровод; 6 — задвижка; 7 — обратный клапан; 8 — электродвигатель; 9 — опорный подшипник; 10 — опорная плита; 11 — кабель; 12, 13 — водоподъемная и обсадная трубы

тического управления насосным агрегатом, комплектная подстанция для электроснабжения, помещение для установки вспомогательного оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры, аппаратуры управления и телемеханики.

Электроэнергия в большинстве случаев подается по линии электропередачи напряжением 6...10 кВ к сооружаемым вблизи скважин понизительным трансформаторным подстанциям (обычно это комплектные трансформаторные подстанции КТП).

Характерным представителем насосных агрегатов с расположением электродвигателя над устьем скважины являются агрегаты с насосами АТН, (технические характеристики которых приведены в таблице 8.1).

Над устьем скважины располагают электродвигатель и станцию с опорой, передающую всю нагрузку от насосной установки на фундамент.

Электродвигатель 8 короткозамкнутый типа АВШ снабжен радиально-упорными подшипниками 9 для восприятия веса вращающихся частей и осевого усилия, возникающего в насосе от

8.1. Технические характеристики насосных агрегатов АТН

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, кПа/10	Число рабочих колес	Мощ- ность элект- родви- гателя, кВт	Диаметр сква- жины, мм	Общая масса уста- новки, кг
АТН-8-1-7	30	30	7	7	200	1330
АТН-8-1-11	30	45	11	11	200	1886
АТН-8-1-16	30	65	16	14	200	2564
АТН-8-1-22	30	96	22	26	200	3490
АТН-10-1-4	70	30	4	14	250	1951
АТН-10-1-6	70	45	6	22	250	2882
АТН-10-1-8	70	60	8	30	250	3584
АТН-10-1-11	70	80	11	40	250	4541
АТН-10-1-13	70	100	13	40	250	5525
АТН-10-1-15	70	115	15	45	250	7500
АТН-14-1-3	200	45	3	55	350	5463
АТН-14-1-4	200	65	4	75	350	6441
АТН-14-1-6	200	100	6	100	350	9662

Буквы и числа в цифре насоса обозначают:

А — артезианский, Т — турбинный, Н — насос; числа за буквами: первое — минимально допустимый диаметр обсадной колонны (скважины) в мм, уменьшенный в 25 раз и округленный; второе — тип рабочего колеса; третье — число ступеней насоса.

гидравлической нагрузки. Смазка подшипников происходит непрерывно во время работы агрегата маслом, заливаемым в масляную ванну.

Для предохранения от обратного вращения, которое может привести к ослаблению и разъему резьбовых соединений, агрегат снабжают стопорным устройством. Трансмиссионный вал 2, соединяющий насос 1 с электродвигателем, проходит внутри напорного трубопровода 5 и вращается в резиновых подшипниках 3, прикрепленных к трубопроводу.

Работа насоса при не смоченных водой резиновых подшипниках недопустима, так как это приводит к их немедленной порче и выходу из строя насосной установки. Для предварительного смачивания резиновых втулок подшипников используют водосливной бак, располагаемый выше приводной части насоса, наполняемой чистой водой.

Погружные насосные агрегаты (рис. 8.1, б), получившие преимущественное распространение, — это сочетание жестко соединенных между собой центробежного скважинного насоса 1 типа ЭЦВ и погружного электродвигателя 8 типа ПЭДВ. Насосный агрегат опускается в скважину на водоподъемных трубах 12. В верхней части насоса располагают обратный клапан, который препятствует перетоку воды из водоподъемных труб и из магистрали (при работе насоса на закрытую сеть) в скважину и раскручиванию насоса в противоположную сторону. В автоматическом режиме работы насосного агрегата обратный клапан

предотвращает аварии, которые могут возникнуть, если исчезнувшее напряжение вновь появится в то время, когда насос вращается в сторону, обратную нормальной. Электродвигатель получает электроэнергию по кабелю 11, опускаемому в скважину вместе с насосным агрегатом. Насос в скважине располагается над электродвигателем, между собой они соединены жесткой муфтой. Верхний фланец насоса находится ниже динамического уровня воды не менее чем на 1,5 м, а для насосов с подачей более 200 м³/ч рекомендуется увеличивать заглубление до 6 м. Днище электродвигателя должно находиться выше фильтра не менее чем на 1 м.

Так как электродвигатель предназначен для работы в водной среде, перед опусканием агрегата в скважину полость электродвигателя заполняют водой, температура которой не больше 25 °С. Запускать не погруженный в воду насос, электродвигатель которого предварительно не залит водой, недопустимо, так как это ведет к перегреву обмоток и неминуемой аварии.

Промышленность выпускает большое число типоразмеров таких электронасосов с подачей от 4 до 375 м³/ч и напором от 25 до 540 м. Технические характеристики некоторых типов наиболее часто применяемых в системах вертикального дренажа погружных насосных агрегатов приведены в таблице 8.2.

8.2. Технические характеристики некоторых типов погружных насосных агрегатов

Тип насоса	Диаметр обсадной колонны, дюйм/мм	Подача в номинальном режиме, м ³ /ч	Напор в номинальном режиме, м	Тип электродвигателя	Мощность электродвигателя, кВт
1ЭЦВ8-25-100	8/200	25	100	5ПЭДВ-20-180	11
2ЭЦВ8-25-150			150	4ПЭДВ-16-180	16
2ЭЦВ10-63-65	10/250	63	65	2ПЭДВ-22-219	22
2ЭЦВ10-63-110			110	2ПЭДВ32-219	32
2ЭЦВ10-63-150			150	2ПЭДВ45-219	45
1ЭЦВ10-63-270			270	2ПЭДВ65-219	65
1ЭЦВ12-160-65	12/301	160	65	3ПЭДВ45-270	45
1ЭЦВ12-160-100			100	4ПЭДВ65-270	65
1ЭЦВ12-210-25			210	2ПЭДВ22-219	22
1ЭЦВ12-375-30Г			375	30	2ПЭДВ45-219

Примечание. Буквы и числа в шифре насоса означают: Э — с приводом от погружного электродвигателя, Ц — центробежный, В — для подачи воды; первое число (перед буквами) — порядковый номер модификации; второе (после букв) — минимально допустимый внутренний диаметр обсадной колонны (скважины) в мм, уменьшенный в 25 раз и округленный; третье — подача воды в м³/ч, четвертое — напор (может быть и последняя буква, которая указывает на возможность использования насоса для подачи воды с повышенным содержанием механических примесей).

Буквы и цифры в шифре погружного электродвигателя ПЭДВ означают: П — погружной, ЭД — электродвигатель, В — водозаполненный; первое число перед буквами — порядковый номер модификации электродвигателя; второе после букв — мощность, кВт; третье — наибольший диаметр электродвигателя, мм.

Сравнивая оба типа рассмотренных погружных насосов, отмечают ряд преимуществ, присущих полностью погруженным в воду насосным агрегатам: они легче, меньше по габаритам, проще в монтаже, быстроходнее (3000 мин^{-1}), экономичнее и дешевле, могут работать в более искривленной скважине, не требуют установки над устьем скважины. Благодаря очевидным преимуществам погружные насосные агрегаты практически вытеснили в водном хозяйстве насосы типа АТН.

Насосы АТН с трансмиссионным валом менее чувствительны к загрязненности воды, их работа несколько надежнее, поскольку электродвигатель эксплуатируется в надземных условиях. Насосы АТН преимущественно применяют для откачки неагрессивной воды из вертикальных скважин при осушении месторождений полезных ископаемых, водопонижения на строительных площадках и частично для водоснабжения.

В водном хозяйстве находятся в эксплуатации несколько насосов АТН, установленных ранее.

§ 8.3. Требования и особенности автоматизации артезианских насосных установок

Основные технические требования к системам автоматического управления артезианскими насосными агрегатами сводятся к следующему.

1. Система автоматики должна обеспечивать работу насосов, учитывая специфические требования различных технологических режимов (водоснабжение, водопонижение, орошение).

2. Должна обеспечиваться надежная защита электродвигателей насосов от короткого замыкания, перегрузок, возникающих по различным причинам (механические неисправности насосов, работа электродвигателей в неполнофазном режиме, на пониженном напряжении и др.). Для защиты от перегрузок необходима регулируемая уставка срабатывания для согласования действия защиты с фактической нагрузкой электродвигателя.

3. Насосные агрегаты должны быть оборудованы защитой от «сухого хода» — падения динамического уровня воды в скважине ниже уровня, при котором обеспечивается нормальная работа насоса и электродвигателя.

4. Должна быть исключена возможность автоматического повторного включения насосного агрегата после срабатывания любой из перечисленных защит.

5. Должен быть предусмотрен селективный запуск насосных агрегатов после кратковременного исчезновения напряжения и последующего его появления. Одновременный пуск всех присоединяемых к одной трансформаторной подстанции электродвигателей насосов недопустим вследствие большого суммарного пускового тока. Поэтому применяют селективный запуск — по-

очередное включение в сеть электродвигателей с индивидуальной установленной для каждого выдержкой времени.

6. При возникновении аварии должен формироваться соответствующий сигнал и должна быть предусмотрена возможность оперативно установить причину аварии.

7. Система управления должна обеспечивать необходимый для нормальной эксплуатации объем измерений и сигнализации.

8. Для насосов АТН требуется перед его пуском предварительное смачивание резиновых подшипников, в которых вращается трансмиссионный вал. Во время работы эти подшипники смачиваются водой, подаваемой насосом.

9. Перед пуском насосов АТН проверяют уровень масла в масляной ванне и при необходимости доливают до установленного.

При отсутствии специальных средств автоматизации и диспетчерского управления эксплуатацию скважин организуют штатом мотористов с дежурством на дому. Каждый из них в зависимости от конкретных условий и расстояний между скважинами обслуживает 5...8 установок. Моторист выполняет профилактические осмотры и ремонты, плановые пуски и остановки и периодические посещения для контроля их работы. Подобная система эксплуатации недостаточно эффективна (особенно при большом числе скважин), не обеспечивает должного технического состояния установок, не исключает простои в промежутках между посещениями скважин мотористом. В системах АСУТП система вертикального дренажа является составной ее частью — подсистемой, функционирующей на основе соответствующей математической модели, призванной оптимизировать работу вертикального дренажа. В этом случае скважины должны быть автоматизированы и управляют ими с пункта установки управляющего машинного комплекса. В зависимости от назначения скважин на воду и режима их работы различают следующие основные способы и объемы их автоматизации.

Полностью автоматизированные установки, управляемые датчиками (уровня, напора и др.). В таком режиме могут работать скважины, предназначенные для водоснабжения и вертикального дренажа. С диспетчерского пункта в этом случае контролируют их работу. С каждой скважины на диспетчерский пункт поступает информация о состоянии скважины: включено, отключено, аварийно отключено. Расшифровку аварии осуществляют на месте. Группы скважин вертикального дренажа иногда автоматизируют в зависимости от уровня и других параметров в общей для всех контрольной скважине. Например, в ней помещают датчики верхнего и нижнего уровней, определяющие режим работы всей группы скважин. При подъеме уровня воды до верхнего датчика вся группа скважин включается и откачивает воду. Когда же уровень достигнет места установки нижнего датчика, вся группа отключается. Однако при этом в от-

дельных скважинах группы из-за неравномерного притока или по другим причинам может не оказаться воды. Значит, схема автоматизации должна обеспечить исключение этих скважин из числа работающих независимо от уровня воды в контрольной скважине. Следовательно, в скважинах нужно устанавливать индивидуальные датчики сухого хода.

Для вывода отдельных агрегатов в ремонт, их ревизии и опробования предусматривают возможность ручного управления любым агрегатом независимо от других.

2. Насосные установки, пуск и остановка которых осуществляются с места, а контроль возникновения аварийного состояния — с диспетчерского пункта, а также установки, управляемые из диспетчерского пункта при помощи средств телемеханики. Такие режимы эксплуатации преимущественно применяют для управления скважинами орошения и водоснабжения.

3. Насосные установки с комбинированным режимом управления. Они могут работать в полностью автоматическом режиме и одновременно управляться с диспетчерского пункта. Комбинированный режим управления применяют главным образом для скважин вертикального дренажа с частичным использованием откачиваемых вод на орошение.

Рассмотренные способы автоматизации и управления скважинами сведены в таблицу 8.3. Телемеханические системы, применяемые для телемеханизации скважин, рассмотрены в главе 13.

Расход автоматизированных насосных установок артезианских скважин измеряют приборами двух основных типов: при-

8.3. Способы автоматизации скважин на воду

Назначение скважин	Режим управления	Объем диспетчеризации	Примечание
Скважины водоснабжения, работающие на башню или резервуар	Автоматический	Контроль	Управление от датчиков уровня в башне или резервуаре
Скважины вертикального дренажа	»	»	Управление от датчиков уровня в собственной скважине или в контрольной на группу скважин
Скважины, работающие на водопроводную сеть или на орошение	Дистанционный или телемеханический	Управление и контроль	По давлению в водопроводной сети и по потребности на орошение
Скважины комбинированные для вертикального дренажа и орошения	Автоматический в режиме вертикального дренажа, телемеханический в режиме орошения	Контроль и управление	

боры местного измерения (мерные баки вместимостью не менее 20-секундной подачи, водосливы и др.); они просты и могут быть изготовлены своими силами. Их применяют во всех случаях, когда технологический режим позволяет ограничиться периодическим измерением расхода на месте по определенному графику;

приборы для измерения и телеизмерения расходов и стоков с возможностью передачи показаний на диспетчерский пункт. Их устанавливают, когда существует необходимость получения соответствующей информации для оперативного управления, технико-экономических расчетов и других целей.

Примером одного из наиболее современных приборов расхода и стока этого типа служит индукционный расходомер, рассмотренный в главе 6.

§ 8.4. Аппаратура автоматического управления погружными электронасосами

Погружные электродвигатели агрегатов водопонижения изготовляют мощностью 2...65 кВт, напряжением 380 В и мощностью свыше 125 кВт, напряжением 3000 В.

Выпускают два вида систем управления: комплектные устройства «Каскад» и «Купна».

Комплектное устройство «Каскад» предназначено для местного, автоматического и дистанционного (диспетчерского) управления скважинными насосами водоподъема и дренажа с погружными электродвигателями мощностью от 1 до 65 кВт и защиты электродвигателя насоса от перегрузок, обрыва фазы и при «сухом ходе». Устройство работает от сети трехфазного переменного тока с заземленной или изолированной нейтралью напряжением 380/220 В при частоте 50 Гц. Устройство обеспечивает селективность самозапуска электродвигателя при появлении напряжения после кратковременной пропажи. Для этой цели в «Каскаде» установлено устройство, позволяющее регулировать задержку запуска относительно момента подачи сигнала на включение.

Условное обозначение «Каскад» ХХ-Х-У2:

«Каскад» — название устройства; ХХ — мощность электродвигателя в кВт; Х — назначение (0 — автоматическое управление по уровню в режиме водоподъема, 1 — то же, в режиме дренажа, 2 — без автоматического управления, 3 — автоматическое управление по давлению в режиме водоподъема); У2 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150—69.

Например, «Каскад» 65-2-У2 означает: станция управления «Каскад» для двигателя мощностью 65 кВт, без автоматического управления, климатическое исполнение У2 по ГОСТ 15150—69, наружной установки при температуре окружающего воздуха

ха от минус 40 до плюс 50 °С; высота над уровнем моря не более 1000 м, температура воды, в которой установлены датчики, от 1 до 40 °С.

Функциональная схема устройства «Каскад» представлена на рисунке 8.2. Устройство содержит силовую часть и блок управления, который состоит из следующих функциональных ячеек. Ячейка питания *ЯП*, ячейка защиты *ЯЗ*, ячейка автоматического управления по уровню *ЯУУ* или ячейка автоматического управления по давлению *ЯУД*. Устройство включается в работу автоматическим выключателем *В1*. Переключатель *В2* служит для выбора режима управления электродвигателем насоса — местный, ручной, диспетчерский — телемеханический или автоматический. Для автоматического управления в режиме водоподъема по давлению поставляется ячейка автоматического управления *ЯУД*. Для автоматического управления по уровню поставляется ячейка *ЯУУ*. Автоматическое управление в режиме водоподъема по давлению протекает следующим образом. При снижении статического давления воды ниже допустимого предела контакт датчика давления *ДДВ* замыкается. Через определенный интервал времени ячейка *ЯУД* выдает сигнал на включение электронасоса, который поступает в выходной узел *ВУ*, включаются реле *Р1* и электронасос. Далее электронасос остается включенным независимо от состояния датчика *ДДВ* в течение установленного времени в зависимости от вместимости бака и подачи насоса. По истечении установленного времени *ЯУД* выдает сигнал на отключение электродвигателя. Сигнал поступает

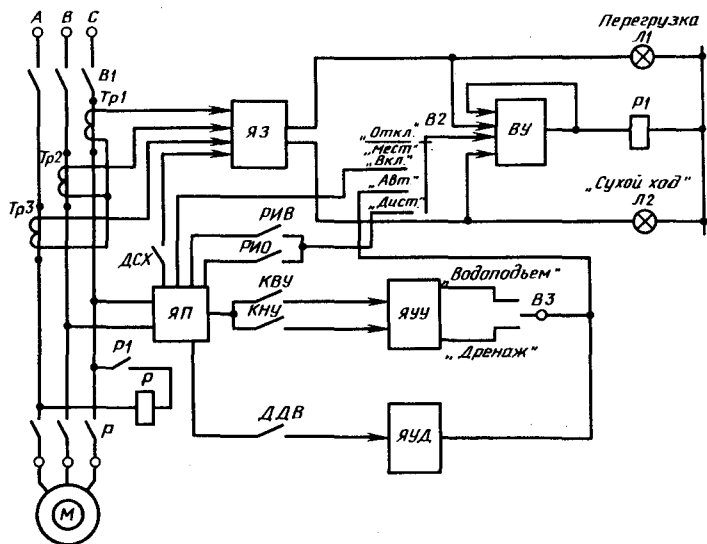


Рис. 8.2. Функциональная схема устройства «Каскад»

в ВУ и отключает реле $P1$, а следовательно, и электронасос. При понижении давления ниже допустимого замыкается контакт давления ДДВ и процесс повторяется. В этом режиме время цикла работы электронасоса выбирают в пределах до 90 мин.

Автоматическое управление в режиме водоподъема по уровню протекает в зависимости от контролируемого уровня воды. Если вода в водонапорной башне (резервуаре) находится ниже контакта нижнего уровня $КНУ$, то есть $КНУ$ и контакт верхнего уровня $КВУ$ разомкнуты, $ЯУУ$ выдает сигнал на включение электронасоса (см. рис. 8.2). Сигнал поступает в ВУ и через интервал времени, регулируемый резистором, установленным в ячейке защиты ЯЗ, включается реле $P1$. Время регулируется от 2 до 30 с. Электронасос включается, и вода поступает в водонапорную башню (резервуар). При достижении водой $КВУ$ ячейка $ЯУУ$ вырабатывает сигнал на отключение электронасоса. Сигнал поступает в ВУ и отключает реле $P1$, а следовательно, и электронасос, который остается отключенным до тех пор, пока вода в водонапорной башне (резервуаре) не опустится ниже контакта нижнего уровня $КНУ$. Далее цикл работы повторяется. Схема крепления датчиков уровня приведена на рисунке 8.3.

При *автоматической работе насоса в режиме дренажа* тумблер ВЗ устанавливают в положение «Дренаж». В этом случае при достижении водой в скважине уровня $КВУ$ ячейка $ЯУУ$ формирует сигнал на включение электронасоса. Через 2...30 с включается реле $P1$, и электронасос откачивает воду из скважины.

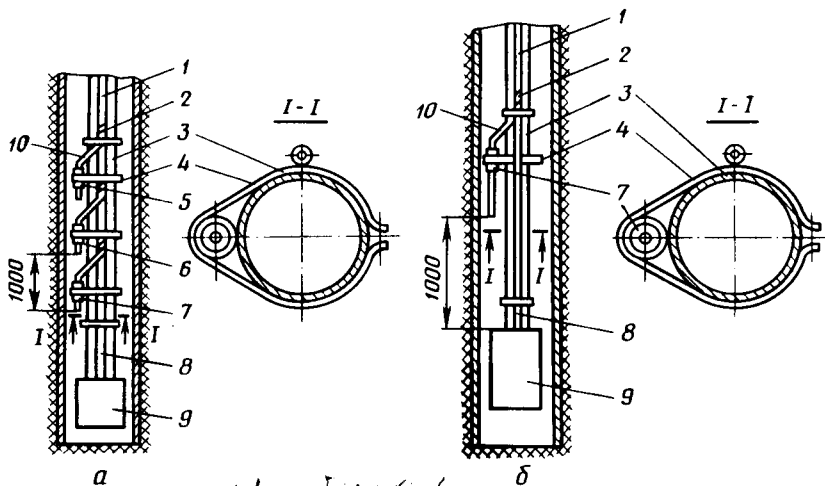


Рис. 8.3. Схема крепления датчиков уровня:

a — уровень и «сухого хода» для устройства дренажа; b — «сухого хода» для устройства водоподъема; 1 — провод; 2 — лента полихлорвиниловая; 3 — нагнетательная труба; 4 — хомут; 5, 6 — датчики верхнего и нижнего уровней; 7 — датчик «сухого хода»; 8 — кабель к электронасосу; 9 — электронасос; 10 — провод от датчика

При понижении уровня воды в скважине ниже контакта нижнего уровня *КНУ*, *ЯУУ* выдает сигнал на отключение электронасоса, поступающий в *ВУ* и отключающий реле *Р1* и электронасос. При последующем повышении уровня воды в скважине до *КВУ* цикл работы электронасоса повторяется. Местное управление электронасосом осуществляется переключателем *В2*. При установке его в положение «Местное пуск» осуществляется пуск электронасоса, а при установке его в положение «Местное стоп» электронасос отключается. Электронасосом с диспетчерского пункта управляют устройством телемеханики. При подаче команды на включение от устройства телемеханики реле исполнения включения *Р1В* замыкает свой контакт и подает сигнал на включение электронасоса. При подаче команды на отключение реле исполнения отключения *Р1О* замыкает свой контакт и подает сигнал на отключение электронасоса. Электронасос защищают ячейкой защиты от перегрузок и «сухого хода». Защита от перегрузок осуществляется измерением тока в каждой фазе силовой цепи и сравнением наибольшей величины тока в любой фазе с величиной уставки срабатывания. Ток повышается при перегрузке и обрыве фазы во всех или в некоторых фазах. Ячейка *ЯЗ* при повышении тока выдает сигнал на аварийное отключение электронасоса.

Сигнал поступает на выходной узел *ВУ* и отключает реле *Р1* и электронасос. Загорается лампа *Л1* «Перегрузка». Время, через которое на выходной узел управления поступает сигнал «Отключить», определяется обратно-временной зависимой от тока электродвигателя характеристикой.

Защита от сухого хода. При нормальной работе электронасоса датчик сухого хода *ДСХ* омывается водой и его контакт замкнут. При уходе воды из скважины контакт *ДСХ* размыкается, ячейка *ЯЗ* реагирует на отсутствие сигнала с датчика «сухого хода» и вырабатывает аварийный сигнал на отключение электронасоса, который поступает на вход *ВУ* и отключает реле *Р1*. Электронасос отключается, загорается аварийный сигнал *Л2* «Сухой ход». Повторный запуск электронасоса после аварийного отключения исключен.

Комплектные устройства серии «Купна» предназначены для управления погружными электродвигателями серии ПЭДВ электронасосных установок водопонижения мощностью от 125 до 630 кВт и их защиты.

Выпускаются станции управления трех типов на различную величину тока силовой цепи, А: Купна83-29А2У1—100, Купна83-39А2У1—160, Купна83-49А2У1—250 А.

Условное обозначение комплектного устройства расшифровывается следующим образом: «Купна» — комплектное устройство управления погружным насосным агрегатом; 83 — год разработки; 2, 3, 4 — номинальный ток силовой цепи соответственно до 100, 160 и 250 А; 9 — напряжение силовой цепи (3000 В);

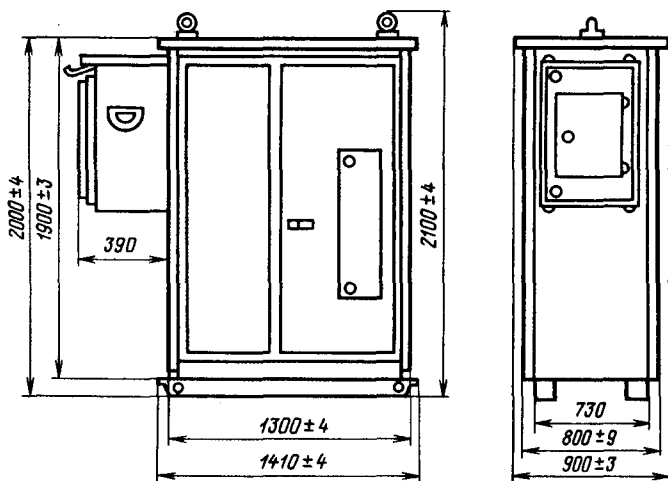


Рис. 8.4. Общий вид габаритные и установочные размеры устройства «Купна»

A — модификация; 2 — напряжение цепи управления (380/220 В); VI климатическое исполнение и категория размещения согласно ГОСТ 15150—69 и ГОСТ 15543—70.

Напряжение силовой цепи не более 3000 В. Напряжение цепи управления 380/220 В.

Комплектное устройство состоит из шкафа управления высокого напряжения и ящика управления низкого напряжения. Общий вид, габаритные и установочные размеры устройства приведены на рисунке 8.4. «Купна» представляет собой металлический шкаф двустороннего обслуживания, снабженный передними дверями с механической и электрической блокировкой и задним ограждением. Металлический ящик управления одностороннего обслуживания установлен на боковой стенке шкафа высокого напряжения.

Комплектное устройство имеет механическую блокировку разъединителя с дверью шкафа, для того чтобы исключить возможность открывания дверей при включенном разъединителе и включения разъединителя при открытых дверях; имеется также механическая блокировка разъединителя с контактором высокого напряжения для предотвращения отключения и включения разъединителя при включенном контакторе.

Выполнено заземление цепи высокого напряжения, подключенной на выходе вводного разъединителя. Электрическая блокировка обеспечивает отключение контактора при открывании двери шкафа управления; электрическая блокировка привода разъединителя с контактором запрещает включение его при отключенном разъединителе; система управления комплектного

устройства обеспечивает: включение и отключение электронасосной установки, работу электронасосной установки в режимах «Ручн.» и «Авт». возможность управления работой электронасосной установки сигналами от датчиков уровней в автоматическом режиме, управление установкой с диспетчерского пункта, возможность подключения программного реле времени, автоматическое включение электродвигателя с регулируемой выдержкой времени при подаче напряжения питания, разновременность пуска электронасосов, определяемую уставкой времени автоматического повторного включения, запрет повторного включения установки после срабатывания всех видов защит (кроме защиты от недогрузки при срыве подачи воды в режиме АПВ); блокировку включения установки при турбинном вращении погружного электродвигателя; ручную деблокировку защиты от перегрузки; автоматическое включение электронасоса после его отключения защитой от срыва подачи воды с выдержкой от 10 до 300 мин; отключение электродвигателя при отклонении напряжения питающей сети за пределы рабочей зоны, если это отклонение приводит к недопустимой перегрузке или недогрузке электродвигателя по току, с автоматическим самозапуском электро-

Аппаратура, установленная в ящике

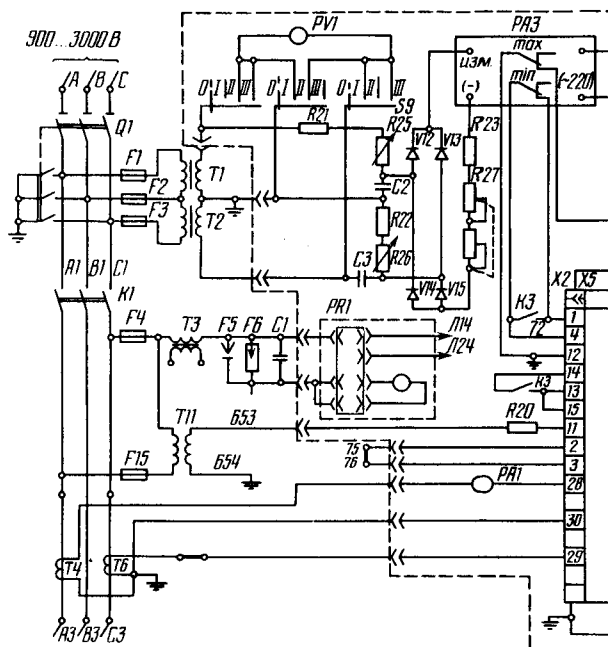


Рис. 8.5. Принципиальная развернутая электрическая

двигателя после восстановления напряжения; защиту при перегрузке любой из фаз с выбором максимального тока фазы с зависимой от тока временной характеристикой (уставка срабатывания защиты регулируется от 1 до 5А); защиту от недогрузки при срыве подачи жидкости по сигналу, характеризующему загрузку установки с выдержкой времени на срабатывании защиты не более 45 с (уставка срабатывания защиты регулируется от 1 до 5А); защиту от снижения напряжения питающей сети ниже $0,8 I_{ном}$; непрерывный контроль сопротивления изоляции системы «погружной электродвигатель — кабель» с уставкой сопротивления 30 кОм на отключение без дополнительной выдержки времени; регистрацию тока погружного электродвигателя в процессе эксплуатации.

Принципиальная электрическая схема устройства «Купна» приведена на рисунке 8.5. В ней приняты следующие обозначения: АФ — блок управления, Q1 — высоковольтный разъединитель, K1 — высоковольтный контактор, K11 — реле напряжения, K2 — реле промежуточное, F1...F4, F15 — предохранители, S1, S2, S3 — кнопки, T1, T3 T11 — трансформаторы напряжения, T4 и T6 — трансформаторы тока, PV1 — вольтметр, PA1 —

управления

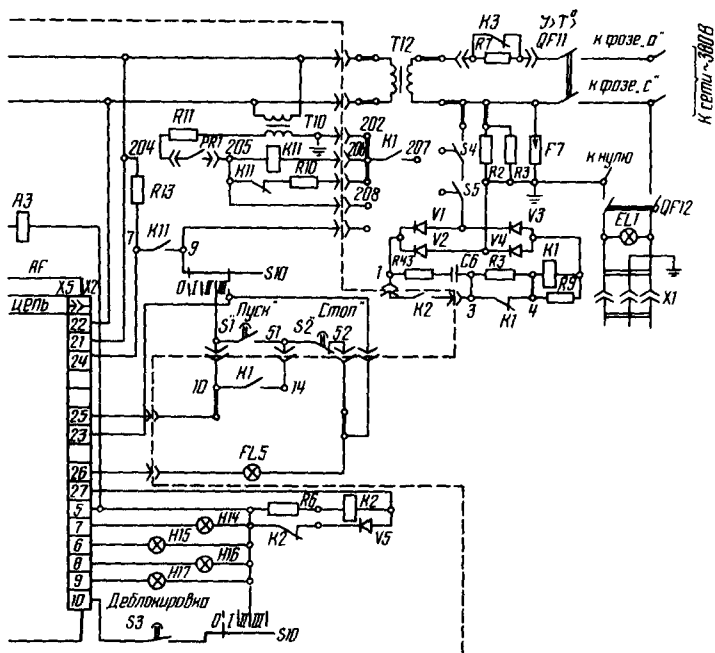


схема устройства «Купна»

амперметр, *PR1* — прибор контроля изоляции, *X1* — штепсельная розетка, *H14...H17* — сигнальные лампы, *FS* — пробивной предохранитель, *S10* — пакетный переключатель, *F6* — разрядник, *S9* — пакетный переключатель.

Управляют электронасосной установкой в ручном режиме установкой переключателя *S10* «Режим работы» в положение «Руч» и нажатием на кнопку *S1* «Пуск», а отключение установки — нажатием на кнопку *S2* «Стоп». Автоматический режим работы электронасосной установки осуществляется установкой переключателя *S10* в положение «Авт.».

В автоматическом режиме, в случае появления напряжения после его исчезновения, происходит самозапуск электронасосной установки с выдержкой времени, определяемой уставкой времени автоматического повторного включения в блоке *AF*.

Дистанционное управление работой электронасосной установки с диспетчерского пункта осуществляется системой диспетчеризации. При этом переключатель *S10* может находиться в положении «Авт.» или «Руч.» в зависимости от режима работы комплектного устройства. Напряжение на силовую цепь подается кабельным вводом через разъединитель *Q1*, установленный в высоковольтном шкафу. Через силовые контакты контактора *K1* напряжение подводится на трансформаторы тока *T4*, *T6* и через кабельный вывод — на погружной электродвигатель. Трансформаторы тока *T4*, *T6* обеспечивают работу схемы максимальной токовой защиты в блоке *AF*, амперметра *PA1*, самопишущего амперметра (в случае его установки). Напряжение одновременно подается также через высоковольтные предохранители *F1...F3* на трансформаторы *T1* и *T2*, предназначенные для контроля напряжения силовой цепи.

К фазе «С» через предохранитель *F4*, трансформатор *T3*, пробивной предохранитель *FS*, разрядник *F6* и конденсатор *C1* подключается прибор *PR1*, предназначенный для контроля изоляции системы «кабель — погружной электродвигатель». От трансформатора собственных нужд или от сети напряжением 380/220 В получает питание схема управления низковольтного шкафа. Через выключатель *QF11* питаются цепи управления, защиты, сигнализации и узел подогрева контактора *K1*, а через выключатель *QF12* — лампа *EL1* внутреннего освещения комплектного устройства и штепсельная розетка *X1*, предназначенная для подключения геофизических приборов с током до 6 А.

Узел подогрева, состоящий из резисторов *R2* и *R3*, подключается в холодное время года. Схема при пуске в ручном режиме работает в такой последовательности. В исходном состоянии отключены заземляющие ножи разъединителя *Q1* и включены рабочие ножи, автоматические выключатели *QF11* и *QF12*, переключатель *S10* установлен в положение «Руч.».

При подаче на цепи управления напряжения 220 В получают питание миллиамперметр *PA3*, прибор контроля изоляции *PR1*,

блок *AF*, а также реле *K11*, которое, включаясь замыкающим контактом 7—9, подготавливает к включению цепь *S1*, *S2*.

При нажатии на кнопку *S1* «Пуск» на вход блока *AF* подается напряжение 220 В, что приводит к срабатыванию реле *K2*, которое своим замыкающим контактом 1—3 подает питание на катушку контактора *K1*.

Контактор *K1*, срабатывая, силовыми контактами включает электродвигатель насосной установки. Одновременно контактор *K1* замыкающими блок-контактами 10—14 шунтирует кнопку «Пуск» *S1*, а размыкающими блок-контактами 3—4 вводит в цепь своей катушки сопротивление *R5*.

Схема в автоматическом режиме работает следующим образом.

В исходном положении отключены заземляющие ножи разъединителя *Q1* и включены рабочие ножи, включены автоматические выключатели *QF11*, *QF12*, переключатель *S10* установлен в положение «Авт.», при котором обеспечивается подача напряжения ~ 220 В на вход блока *AF*.

При работе схемы управления комплектного устройства в автоматическом режиме обеспечивается режим самозапуска электродвигателя с выдержкой времени при появлении напряжения после исчезновения. Выдержка времени обеспечивается блоком *AF*. В остальном работа схемы в автоматическом режиме аналогична ее работе в ручном режиме.

В электронасосных установках водопонижения, оборудованных датчиками уровня, датчик нижнего уровня подключается к зажиму 207, а датчик верхнего уровня — к зажиму 206. При этом перемычка 202—206 должна быть снята.

Работа схемы управления будет возможна при достижении уровня воды в скважине до датчика верхнего уровня, который замыкает цепь питания катушки реле *K11*. Последнее, включаясь, замыкает свой контакт 7—9 цепи кнопок *S1* и *S2*.

Пуск электронасосной установки при наличии датчиков уровня аналогичен пуску в ручном, автоматическом и дистанционном режимах управления.

При этом контактор *K1* своим замыкающим блок-контактом 206—207 вводит в действие датчик нижнего уровня.

При понижении уровня воды в скважине ниже датчика нижнего уровня реле *K11* обесточивается и отключает электронасосную установку.

Защиту электронасосной установки при срыве подачи жидкости насосом и при перегрузке любой из фаз с запоминанием отключения обеспечивает блок *AF*.

Сигнализация о срабатывании защиты от перегрузки или недогрузки электродвигателя осуществляется сигнальными лампами *H14* и *H15* соответственно.

Блок *AF* предназначен для управления промежуточным реле *K2* и обеспечивает: включение электронасосной установки при

нажатии кнопки *S1* «Пуск», при положении переключателя *S10* «Ручной режим» при условии, что истекло установленное в блоке управления время одновременности пуска после подачи напряжения питания на блок; включение электронасосной установки после подачи напряжения питания в положении переключателя *S10* «Авт.» при отсутствии турбинного вращения двигателя; отключение электронасосной установки при перегрузке любой из фаз с выбором максимального тока фазы в зависимости от времени по характеристике, с запоминанием отключения в любом положении переключателя; отключение электронасосной установки при срыве подачи жидкости насосом с выдержкой времени не менее 45 с в любом положении переключателя *S10*; отключение электронасосной установки при перегрузке любой из фаз, при отклонении питающего напряжения за зону уставок прибора РАЗ с последующим автоматическим включением при восстановлении напряжения при положении переключателя *S10* «Авт.»; автоматическое включение электронасосной установки после его отключения защитой от срыва подачи жидкости с регулируемой выдержкой времени (положение *S10* «Авт.»); контроль тока электродвигателя в любой из фаз; сигнализацию режимов работы устройства.

Конструктивно блок управления представляет собой унифицированную cassette с набором функциональных ячеек с субблоков (на схеме не показанных), обеспечивающих выполнение вышеперечисленных функций.

§ 8.5. Автоматизация наблюдательных скважин

Наблюдательные скважины сооружают для контроля и изучения динамики изменения уровня подземных вод в различных горизонтах, контролируемых орошаемых или осушаемых территорий. Но изменению уровня воды в наблюдательных скважинах судят о динамике уровня грунтовых вод, получают информацию об эффективности работы системы вертикального дренажа, уточняют режимы и графики ее работы.

Наблюдательные скважины рассматривают как составную часть общей дренажной системы и при осуществлении комплексной автоматизации стремятся включить их в общую систему автоматизации и телемеханизации. Для этого в наблюдательных скважинах устанавливают уровнемеры с датчиками телеизмерения и организуют передачу их показаний на диспетчерский пункт. Применяемые для этой цели уровнемеры должны удовлетворять следующим специфическим требованиям: прежде всего учитывают, что по технико-экономическим соображениям диаметр наблюдательных скважин в большинстве случаев принимают 100 мм. В соответствии с этим выбирают габариты датчика; уровнемер должен быть устойчивым к коррозии (так как нередко грунтовые воды высокоминерализованы), простым и надежным

в эксплуатации. Телеизмерение уровня в наблюдательных скважинах должно проводиться с учетом отсутствия на месте установки уровнемера источников электрической энергии. Широко применяемые поплавковые уровнемеры не удовлетворяют большинству вышеперечисленных требований, и для измерения уровня воды в наблюдательных скважинах их обычно не используют.

Один из перспективных уровнемеров для измерения уровня воды в наблюдательных скважинах — акустический. Он обладает следующими достоинствами: в нем нет подвижных частей и элементов, контактирующих с водой, прибор практически не зависит от диаметра обсадной трубы скважины, может быть использован для широкого диапазона измерений.

Принцип действия акустического уровнемера заключается в следующем. В момент включения звукоизлучатель посылает низкочастотный импульс. Дойдя до поверхности воды в скважине, звуковой импульс отражается и возвращается к приемнику. Выходной сигнал звукоприемника усиливается и формируется в передающий сигнал. В канал связи передается серия электрических импульсов, период следования которых прямо пропорционален расстоянию от звукоизлучателя до поверхности воды. Однако, несмотря на перспективность, применение акустического уровнемера ограничено из-за его сложности.

В скважинных уровнемерах УЧС-1 использован гидростатический метод измерения уровня воды, выходной его величиной является частота.

Телеизмерение позволяет проводить измерения с заданной периодичностью, а главное — обеспечивает достоверность информации, которая при измерении уровней обходчиками неизмеримо ниже. Однако стоимость организации телеизмерения в наблюдательных скважинах довольно высока. Для передачи сравнительно малого объема информации (телеизмерение одного-двух параметров) требуется на каждой скважине устанавливать ячейку контролируемого пункта (КП) и соединять ее каналом связи с диспетчерским пунктом. Поэтому целесообразно показания уровня в наблюдательных скважинах передавать на диспетчерский пункт через ячейку телемеханики, устанавливаемую на ближайшей скважине вертикального дренажа. Это обстоятельство, в частности, учтено в системе радиотелемеханики для скважин вертикального дренажа, через которые ретранслируются показания уровня наблюдательных скважин (см. § 13.5).

В связи с тем что телемеханизация наблюдательных скважин затруднена и связана с большими затратами, а необходимая периодичность измерений невелика, при централизованном управлении скважинами вертикального дренажа зачастую практикуют измерение уровней в наблюдательных скважинах переносными уровнемерами по заданному графику. Переносные уровнемеры — простые и недорогие приборы, которыми пользуются

обходчики при измерении уровня воды в наблюдательных скважинах. К этим приборам относятся гидрогеологическая рулетка и переносной электроуровнемер. В гидрогеологической рулетке к рукоятке прикреплен барабан с намотанным на нем металлическим тросиком, на котором через каждый метр закреплены бирки. С концом тросика соединен металлический наконечник в виде полого цилиндра, который при соприкосновении с водой издает звук, похожий на свист.

Электроуровнемер смонтирован в переносном футляре, внутри которого помещена катушка с изолированным проводом. В крышке футляра находится миллиамперметр, соединенный с источником тока (батарейка карманного фонаря). На одном конце провода, намотанного на катушку, находится металлический наконечник, другой конец, последовательно соединенный с источником тока и миллиамперметром, выведен наружу и присоединен к металлической рейке. К проводу через каждый метр прикреплены металлические бирки. Для измерения уровня воды металлическую рейку прикрепляют к кондуктору скважины (заземляют), после чего наконечник электроуровнемера опускают в скважину. Когда наконечник коснется воды, замыкается электрическая цепь и стрелка миллиамперметра отклоняется. По выбитым на бирках цифрам определяют глубину уровня воды в скважине.

Контрольные вопросы и задания

1. Для каких целей используют артезианские скважины в гидромелиоративных системах?
2. Расскажите о назначении вертикального дренажа в водном хозяйстве.
3. Чем отличаются насосные агрегаты типов АТН и ЭЦВ и в каких случаях их применяют?
4. Перечислите способы автоматизации и управления скважинами на воду.
5. Какие системы автоматического управления погружными насосами Вам известны?
6. Нарисуйте функциональную схему системы управления «Каскад» и расскажите, как она работает.
7. В каких случаях применяют устройство Купна и в чем его отличительные особенности?
8. В чем заключается эксплуатация наблюдательных скважин и в каких случаях их автоматизируют?
9. Какими устройствами и приборами пользуются для автоматизации скважин вертикального дренажа и наблюдательных?

Глава 9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛИВА

§ 9.1 Общие сведения

Полив — это процесс перевода оросительной воды в почвенную влагу для снабжения ею сельскохозяйственных культур.

Существуют различные способы полива. Наиболее распространены поверхностный (по бороздам или полосам) полив, дож-

девание, подпочвенное орошение. В рамках каждого способа рассматривают различные его модификации технику и технологию полива. Способ полива и технику полива выбирают исходя из конкретных условий и в результате технико-экономических расчетов.

Способ полива зависит от множества факторов — климатических, почвенно-мелиоративных, агробиологических и технико-экономических. На орошаемых землях, расположенных в гумидной (влажной) зоне, преобладает полив дождеванием. В субаридной (засушливой) зоне применяют дождевание и поверхностный полив примерно поровну и в аридной зоне (сухой), как правило, поверхностный.

Предпочтение отдают водосберегающим технологиям, обеспечивающим орошение меньшими оросительными нормами с наименьшими потерями воды.

Учитывают и возможность автоматизации. С точки зрения механизации и автоматизации перечисленные способы полива неравноценны. Дождевание — наиболее механизированный способ полива, и автоматизировать его легче других. Современные дождевальные машины в значительной степени автоматизированы. Поверхностный полив автоматизировать сложнее.

Однако совершенствование технологии полива, как правило, сопровождается его автоматизацией. Во многих случаях осуществление более совершенных технологий без автоматизации практически не представляется возможным.

Автоматизация в сочетании с механизацией преследует цель повысить производительность труда, улучшить качество полива и экономить оросительную воду. Полив очень трудоемкий процесс. На поливе дождевальными машинами сезонная производительность труда в среднем по стране составляет 35...55 га на одного оператора (поливальщика) в сезон, однако в целом на поливе она составляет лишь 16 га.

Вода оказывает огромное влияние на развитие и рост растений. Путь ее в растении начинается от корневых волосков, затем она поднимается по капиллярам до поверхности листьев, откуда испаряется в окружающую среду (транспирация). Вода переносит из почвы минеральные соли, необходимые для питания растений. Интенсивность транспирации обуславливает интенсивность подачи минеральных солей растениям. Вообще же на транспирацию приходится 99 % поглощаемой растениями воды. При прочих равных условиях транспирация зависит от температуры и влажности окружающей среды. Кроме того, транспирация создает вокруг растений микроклимат, в котором они развиваются. Таким образом, вода выполняет и функцию регулятора термических условий жизни растений и среды их обитания. Часть воды испаряется с поверхности почвы и также участвует в создании приземного микроклимата, в котором развивается растение.

В последние годы специалисты по физиологии растений обнаружили, что, когда растению становится трудно добывать воду из пересохшей почвы, оно начинает издавать ультразвуковые шумы. Последующие исследования покажут, в какой мере это явление может улавливаться и быть использовано в системе автоматизации полива.

Однако пока работы по созданию алгоритмов и построению по ним приборов, позволяющих создавать замкнутые автоматические системы управления поливом, не завершены.

Современные системы автоматизации, применяемые в практике полива, относятся главным образом к системам программного управления. Они базируются на современной технологии полива, в основе которой лежат эмпирические методы. Такие методы наряду с данными биологической науки о роли воды в жизни растений используют накопленный опыт орошаемого земледелия и результаты производственных экспериментов по орошению данных культур в конкретных условиях. Все это в совокупности позволяет устанавливать поливной режим, который складывается из числа и сроков поливов, оросительных и поливных норм, способов подачи воды на поле. Поливные режимы зависят от культур и способа полива, почвенных, климатических, рельефных и других характеристик данного орошаемого массива. Заданный поливной режим является исходной программой автоматизации, которая, помимо повышения производительности труда, должна обеспечить установленные поливные нормы в заданные сроки, наиболее равномерное увлажнение почвы по всей площади, исключить непроизводительные сбросы за пределы поля и свести к минимуму потери воды, просачивающейся ниже корнеобитаемого слоя, создавать необходимые условия для сочетания процесса полива со всем комплексом агротехнических мероприятий. Таким образом, поливной режим должен удовлетворять целому ряду противоречивых условий. Сравнение некоторых поливных режимов по трем показателям — производительности труда, коэффициенту неравномерности увлажнения и проценту сброса от водоподачи на поле — дано в таблице 1.2. Как видно, все они взаимообусловлены. Улучшая один из показателей, ухудшают другие. Рекомендуемый режим обычно выбирают на основе компромиссного решения.

Система автоматизации должна допускать определенную вариацию программы в зависимости от конкретных условий.

В первую очередь подлежат автоматизации технологии полива, тщательно проверенные в производственных условиях, признанные типовыми и многократно применявшиеся на больших территориях.

Вся история развития орошения связана с поисками способов рассредоточения тока воды и равномерного его распределения по орошаемой площади, стремясь к непрерывному, на

протяжении вегетации, снабжению растений водой в соответствии с их фактическими потребностями. Однако при ручном управлении поливом проводить частые поливы малыми нормами не представляется возможным. Всегда величины поливных норм, число и сроки поливов обуславливаются уровнем техники, социальными условиями и др.

§ 9.2. Автоматизация поверхностного полива

Поверхностный полив в стране применяют приблизительно на 60 % орошаемых земель. Этот способ, известный с древних времен, остается самым распространенным. Поверхностным способом полива орошают почти 100 % земель аридной зоны и около 50 % — в субаридной. Однако до сих пор он недостаточно механизирован и автоматизирован. Более 90 % земель, орошаемых поверхностным способом, поливают вручную. Процесс полива трудоемкий, требующий значительных затрат ручного труда.

Технология поверхностного полива лишь частично отвечает агротехническим требованиям, а потери оросительной воды в среднем составляют 50 %.

Необходимость разработки и осуществления мер по ускорению перехода на водосберегающие технологии и бережливому использованию водных ресурсов в большой степени относится и к поверхностному поливу, где применение более совершенных технологий может позволить сэкономить 20 % и более орошаемой воды. Однако совершенные технологии поверхностного полива предъявляют особые требования к совершенствованию оросительной сети, механизации и автоматизации полива.

Основной способ поверхностного полива — полив по бороздам; воду подают не на всю поверхность поля, а только в борозды, расположенные в междурядьях возделываемых культур. В условиях Средней Азии для пропашных культур в зависимости от уклона местности поливные борозды нарезают через 0,9... 0,6 м (чем больше уклон, тем меньше расстояния между бороздами). Для полива по бороздам орошаемую воду расчленяют на множество отдельных струй, которые движутся по бороздам и через смачиваемую их поверхность впитываются в почву под действием гравитационных и капиллярных сил. Следовательно, сооружаемая оросительная сеть должна обеспечить возможность механизации и автоматизации распределения воды не только по водоводам, но и в борозды.

Очень важной задачей при автоматизации полива по бороздам является регулирование расхода в борозды. Установлено, что изменение расхода поливных струй дает ощутимые результаты. В случае полива по проточным бороздам постоянной струей обычно трудно добиться равномерного увлажнения почвы по длине борозды и существенно уменьшить сброс воды, который при поливе по проточным бороздам составляет 20...

70 %. Поэтому в процессе полива расход поливной струи изменяют. Например, сначала борозду замачивают, пропуская сравнительно большой расход, а потом его уменьшают. Немаловажно и то, что скорость движения воды по смоченной борозде не возрастает, а следовательно, предупреждаются размывы и вынос почвы.

В таблице 1.1 приведены данные, характеризующие преимущества полива с переменной струей.

Более существенный эффект получают при циклическом или дискретном поливе. В этом случае воду в борозды подают циклично: некоторое время воду подают, а затем на такое же время отключают. Вода на начальном участке борозды за это время впитывается, и через несколько минут после окончания цикла полива образуется тонкий слабодопроницаемый слой. При следующем цикле полива вода проходит дальше по борозде, практически не впитываясь на участке с образовавшимся слабодопроницаемым слоем. При этом снижают поливную норму и соответственно увеличивают число одновременно поливаемых борозд, что позволяет снизить или вообще ликвидировать концевые сбросы (см. табл. 1.1). Таким образом, задачей автоматизации при поливе по бороздам в общем случае является автоматическое программное распределение воды, регулирование расхода в борозде в процессе полива либо программная циклическая подача струи с постоянным расходом.

Сооружают усовершенствованные оросительные системы поверхностного полива, внутрихозяйственную часть системы выполняют закрытой полустационарной, полностью стационарной или с автоматизированными лотками. Схема самонапорной полустационарной оросительной сети с закрытыми распределительными трубопроводами и передвижными поливными шлангами приведена на рисунке 9.1, а. Распределительные трубопроводы в этой сети прокладывают от внутрихозяйственного (иногда магистрального) канала в направлении полива на глубине 80...100 см на расстоянии 300...400 м друг от друга. Длина трубопроводов до 2,5 км. Через 100...250 м (в зависимости от длины поливной борозды) на поливных трубопроводах устанавливают водовыпуски-гидранты. К гидрантам на время поливов подсоединяют поливные шланги длиной 150...200 м, раскладываемые поперек борозд по расчетному уклону. Расстояние между распределительными трубопроводами при двустороннем командовании равно 300...400 м (двойной длине поливного шланга). Установив дистанционно управляемые водовыпуски-гидранты, возможно автоматизировать процесс подачи воды в шланги и соответственно в борозды. При этом остается не автоматизированным (и зачастую не механизированным) процесс раскладки и перемещения поливных шлангов.

Более совершенна полностью закрытая оросительная сеть, в которой поливные трубопроводы также стационарные. Подзем-

ные поливные перфорированные трубопроводы прокладывают на глубине 0,3...0,4 м от поверхности земли (рис. 9.1, б). Вода под небольшим напором выходит через отверстия, просверленные в этих трубах на расстоянии, равном ширине междурядий, на поверхность земли в виде родничков или через подземные микрогидранты и подается в борозды. Оптимальный свободный напор в поливном трубопроводе при максимальных поливных расходах равен 3...4 м. В этом случае отпадает необходимость выполнения трудоемких работ по раскладке передвижных поливных шлангов.

Оросительная сеть с автоматизированными лотками (рис. 9.2) состоит из распределительных и поливных лотков. Автоматизированный лотковый ороситель разбит на поливные секции автоматическими перегораживающими устройствами (АПУ). Полив ведется по секциям с конца лотка вверх.

Автоматизированное шланговое устройство. Для автоматизации полива по бороздам на полустационарных оросительных системах с закрытыми распределительными трубопроводами и передвижными шлангами применяют разработанное в ВНПО «Радуга» автоматизированное шланговое устройство АШУ-32 — установленный на раме барабан с намотанным на него шлангом, на конце кото-

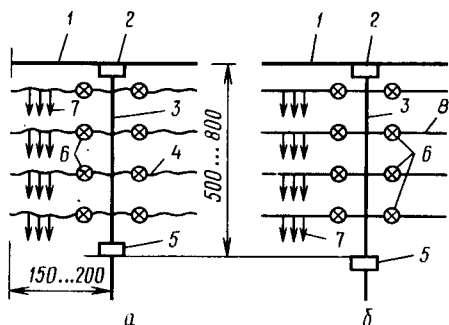


Рис. 9.1. Продольная схема внутрихозяйственной самонапорной оросительной сети:

а — с поливными шлангами; б — с поливными трубопроводами; 1 — внутрихозяйственный (междохозяйственный) канал; 2 — водозаборное сооружение; 3 — транспортирующий трубопровод; 4 — передвижной поливной шланг; 5 — перегораживающее сооружение; 6 — гидрант; 7 — направление полива; 8 — поливной трубопровод (размеры в м)

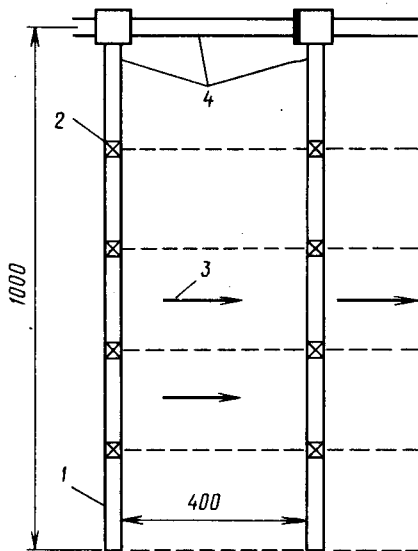


Рис. 9.2. Схема оросительной сети с автоматизированными лотками:

1 — автоматизированные лотковые оросители; 2 — автоматические перегораживающие устройства; 3 — направление полива; 4 — распределительный лоток (размеры в м)

рого имеются регулируемые водовыпуски. С помощью гидропривода, управляемого специальными генератором командных импульсов, барабан, наматывая шланг на себя, циклично передвигает его. В результате начиная с первой борозды поочередно водовыпуски проходят через все борозды и в каждую из них подается количество воды, соответствующее расчетной поливной норме.

Расчет технологии полива с помощью комплекта АШУ-32 сводится к выбору схемы размещения шланговых устройств, определению числа отверстий, расхода поливных струй и длительности цикла срабатывания генератора командных импульсов. Фрагмент продольной схемы автоматизированного полива с шланговыми комплектами АШУ-32 показан на рисунке 9.3. В зависимости от размещения комплектов АШУ-32 и выбора их параметров обеспечивают возможность поочередной подачи воды в сквозные борозды, проведения полива струей с переменным расходом, уменьшающимся пропорционально скорости впитывания воды почвой и поочередной дискретной подачи воды. В общем случае полив осуществляют по схеме: перед началом полива вдоль распределительного трубопровода нарезают поливные борозды, затем проводят разметку шлангов на рабочую длину с таким расчетом, чтобы вода из первых водовыпусков каждого шланга поступала в первую (крайнюю) борозду по всей длине гона.

Перед пуском воды генератор импульсов (см. рис. 9.3), соединенный последовательно гибким полиэтиленовым шлангом с гидроприводом каждого шлангового устройства, настраивают на заданный режим работы, обеспечивающий полив расчетной нормой. Шланговые устройства присоединены к распределительному трубопроводу, который подключают к гидранту закрытой сети. После пуска воды в распределительный трубопровод техноло-

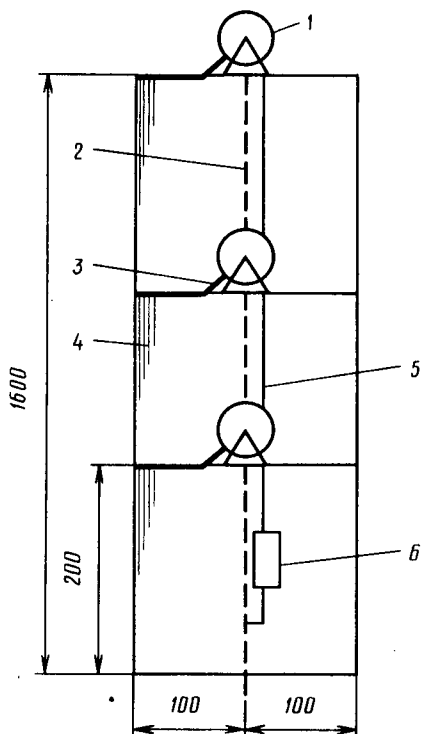


Рис. 9.3. Продольная схема комплектов АШУ-32 в зависимости от длины борозды:

1 — автоматизированное шланговое устройство; 2 — распределительный трубопровод; 3 — поливной шланг; 4 — поливные борозды; 5 — шланг управления; 6 — генератор импульсов (размеры в м)

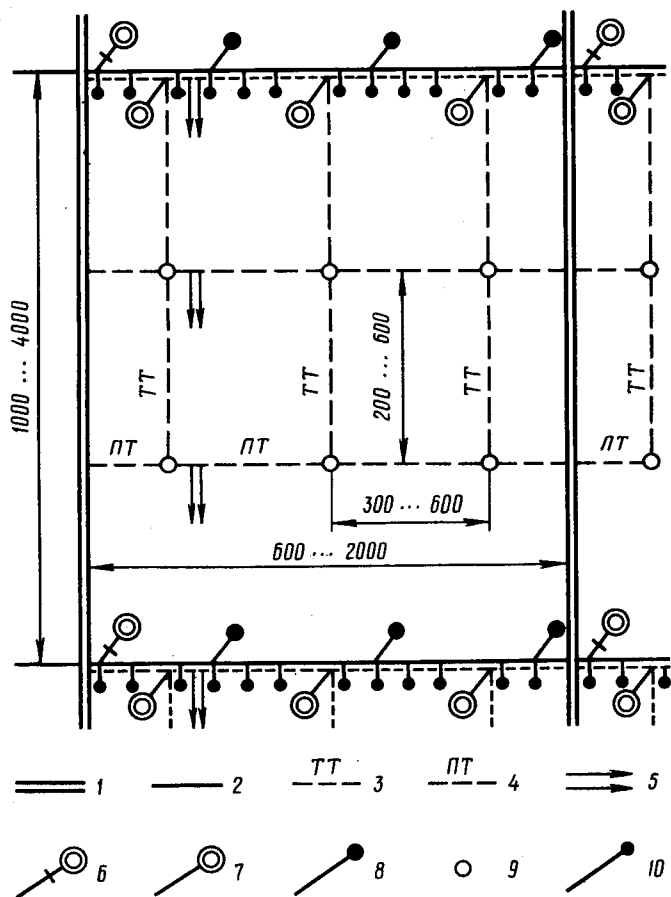


Рис. 9.4. Базовая схема системы «Сифон»:

1, 2 — внутрихозяйственный и участковый распределители; 3 — транспортирующий трубопровод; 4 — поливной трубопровод; 5 — поливные борозды; 6 — участковый сифонный регулятор расхода воды; 7 — сифонный регулятор расхода воды для ЗОС; 8 — сифонный регулятор уровня ВВ; 9 — водораспределительное сооружение; 10 — сифонный водовыпуск (размеры в м)

гический процесс полива осуществляют в автоматическом режиме круглосуточно. Все шланговые устройства работают одновременно. По командам генератора импульсов гидроприводы шланговых устройств срабатывают практически синхронно, каждый раз их барабаны поворачиваются на заданный угол, наматывая на себя шланг и перемещая водовыпуски шланга перпендикулярно бороздам.

Таким образом, автоматизированные шланговые поливные устройства решают в определенной степени вопрос механизации

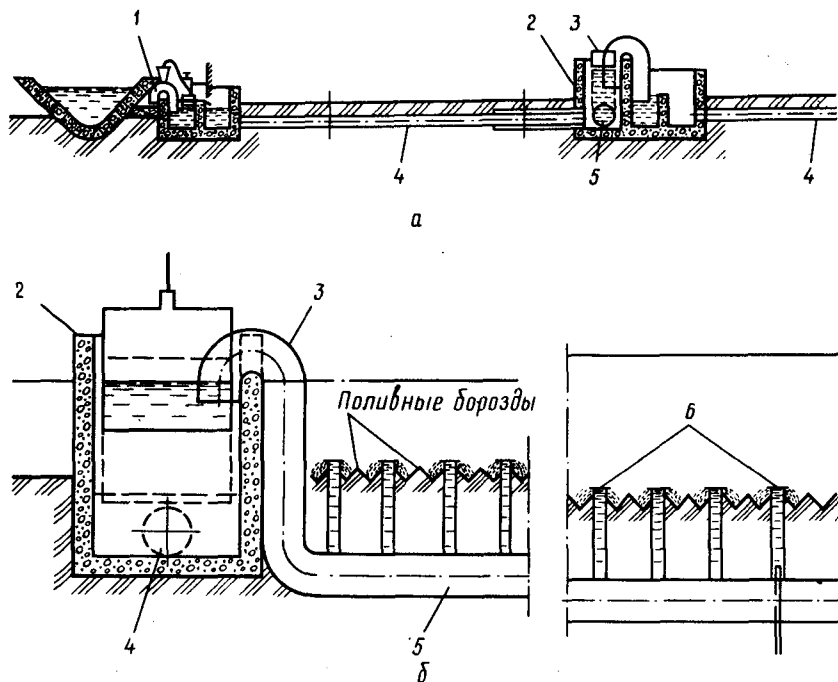


Рис. 9.5. Расчетные схемы закрытых трубопроводов:
a — звено транспортирующего трубопровода; *б* — поливной трубопровод со стационарными гидрантами; 1 — сифонный регулятор расхода воды; 2 — бетонный корпус водораспределительного сооружения; 3 — поливной сифон; 4, 5 — транспортирующий и поливной трубопроводы; 6 — поливные гидранты

ции и автоматизации полива по бороздам, обеспечивая высокое качество.

Автоматизированная система водораспределения и полива по бороздам из низконапорных трубопроводов стационарной оросительной сети (система «Сифон»). Применяют ее на самонапорных закрытых оросительных системах, обеспечивающих внутрихозяйственное водораспределение и полив по бороздам из низконапорных трубопроводов (напор над поверхностью поля 0,5...1,5 м). В этой системе используют следующую аппаратуру пневмогидравлической автоматики: сифонные регуляторы расхода для головного питания системы и транспортирующих трубопроводов, водораспределительное сооружение для низконапорной сети с сифонными регуляторами уровня воды в ВБ, систему автоматического регулирования расходов воды в группы поливных борозд. Кроме того, для управления клапанами воздухопускных штуцеров сифонов применяют систему дистанционного (телемеханического) управления.

Базовая схема системы «Сифон» приведена на рисунке 9.4.

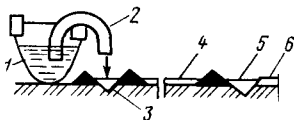
Система состоит из следующих основных звеньев: внутривозвратный распределитель, обслуживающий один или более севооборотных массивов; участковый распределитель (один на бригадный участок при его площади до 500 га); транспортирующие трубопроводы, располагаемые по наибольшему уклону; поливные трубопроводы с подземными микрогидрантами для подачи воды в борозды; участковые сифонные регуляторы расхода воды для головного участка в границах бригадного участка; сифонные регуляторы расхода, питающие транспортирующие трубопроводы; сифонные регуляторы уровня ВВ с управляемой уставкой; сифонный водовыпуск в поливной трубопровод, проходящий параллельно участковому распределителю; водораспределительное сооружение с транзитным сифоном и двумя поливными сифонами, которые с поливным трубопроводом, оснащаемым подземными гидрантами, образуют локальную систему автоматического регулирования расчетного расхода в каждую поливную борозду.

Схемы закрытых трубопроводов приведены на рисунке 9.5.

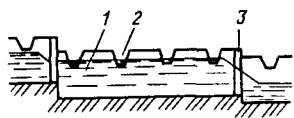
Автоматизированные поливные лотки. Лотковые распределители используют не только для транспортирования воды на внутривозвратной части оросительной сети, но и в качестве поливных устройств. Некоторые технические решения автоматизации лотков приведены в таблице 9.1. Однако широкого применения на больших территориях эти решения не нашли по различным присущим им недостаткам, а также ввиду отсутствия промышленного производства подобных устройств. Наличие большого числа разработок свидетельствует о необходимости решения вопроса механизации и автоматизации полива по бороздам

9.1. Технические решения механизации и автоматизации полива по бороздам

Схема	Принцип действия и конструктивные особенности
-------	---



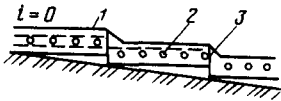
Система для подачи воды из лотка в группы борозд. Сифонная установка 2 движется по кромкам лотка 1 и подает воду в сборник 3, из которого поливается полоса 4. При остановке на поливной позиции вода подается в однодамбовую выводящую борозду 5, а из нее самотеком распределяется между поливными бороздами 6



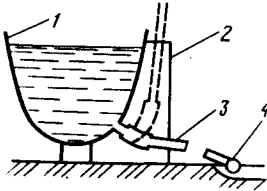
Воду в борозды подают через щели 2 в верхней части бортов лотка 1. Лотковая сеть состоит из отрезков, в конце каждого из которых предусмотрено перегораживающее устройство 3. Ороситель работает в транзитном и поливном режимах

Схема

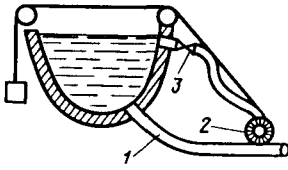
Принцип действия и конструктивные особенности



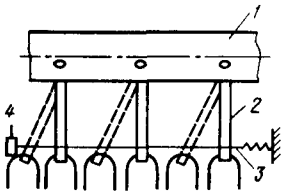
Воду в борозды подают через отверстия 2 в бортах лотка 1. В конце каждого горизонтального участка лотка устраивают перегородивающие сооружения 3, обеспечивающие транзитный и поливной режимы



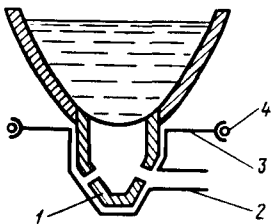
Выпуск воды в каждую борозду из лоткового распределителя 1 осуществляют через патрубки 3, оборудованные регулятором расхода 4, опускаемые и поднимаемые специальным механизмом, движущимся по кромкам лотка. Поливные патрубки в поднятом положении фиксируются в кронштейнах 2



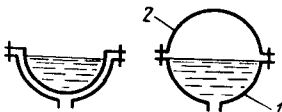
Воду в борозды подают через поливные патрубки 1, размещенные в дне лотка. При открытии клапана 3 перфорированная труба 2, объединяющая группу поливных патрубков, заполняется водой и опускается за счет увеличения массы. Для прекращения полива клапан 3 перекрывается, труба 2 опорожняется, под действием противовеса поливные патрубки поднимаются



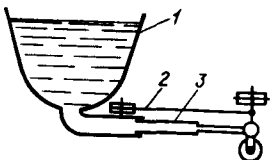
Воду в борозды подают через поливные патрубки 2, прикрепленные к лотку 1 с помощью штанги, объединяющей их в группы. Посредством трособлочной системы патрубки опускаются для полива нечетных борозд, затем с помощью троса 3 и привода 4 переводятся для полива четных борозд



В донной части лотка имеется водовыпускное отверстие в каждую борозду, снабженное насадкой 1, поворотная часть которой через диск 3 связана с тросом 4 для переключения направления выпуска 2 или перекрытия отверстия.



В донной части лотка 1 предусмотрены отверстия для выпуска воды в каждую борозду. Для перекрытия отверстий на период между поливами служит эластичная мембрана 2, имеющая упругую деформацию



Воду в борозды подают через телескопические поливные патрубки 3, размещенные в донной части лотка и имеющие регулятор расхода. Под действием трособлочной системы 2 длина патрубков регулируется: увеличивается для полива и уменьшается перед обработкой прилотовковой полосы

Схема	Принцип действия и конструктивные особенности
	<p>Воду в группу борозд подают при помощи сифонного колена 3, подсоединенного к донному водовыпуску 1, из лотка 2. Сифонное колено соединено с поливным трубопроводом 4, уложенным вдоль лотка, подача воды в борозды регулируется положением сифонного колена</p>

роздам. Некоторые представляющие интерес устройства автоматизации полива из лотковой сети рассмотрены в таблице 9.1.

Автоматизированный поливной лоток (АПЛ) монтируют из лотковых блоков с отверстиями в дне, которые устраивают при изготовлении лотков (рис. 9.6). Шаг отверстий соответствует принятому междурядью.

Водовыпуск состоит из трубки с окном и регулировочной втулки. Они обеспечивают подачу воды под прилотковую поло-

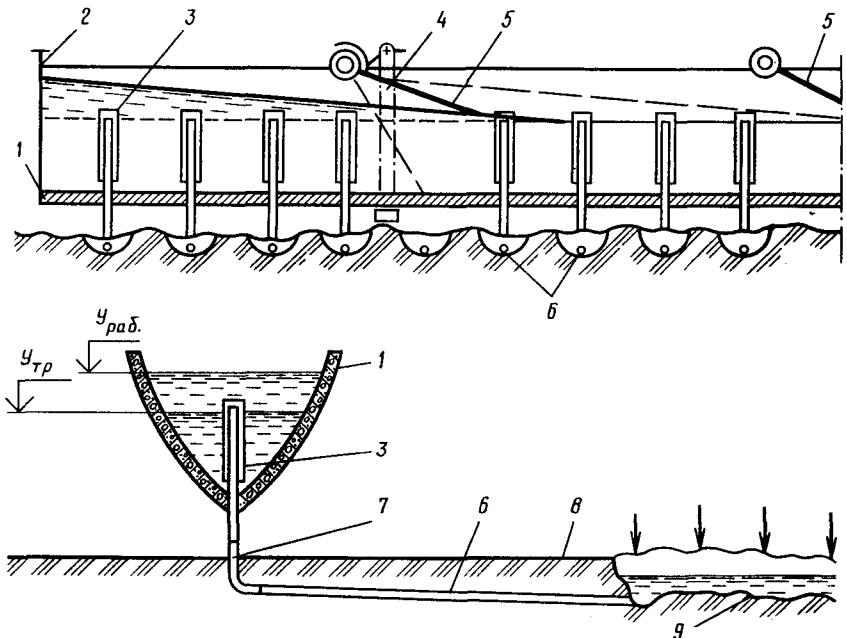


Рис. 9.6. Принципиальная схема автоматизированного поливного лотка: 1 — железобетонные лотковые блоки; 2 — ручной затвор; 3 — водовыпуски; 4 — программное устройство; 5 — щит автоматического затвора; 6 — отводящие трубы водовыпусков; 7 — колено водовыпуска; 8 — прилотковая полоса; 9 — дно борозды

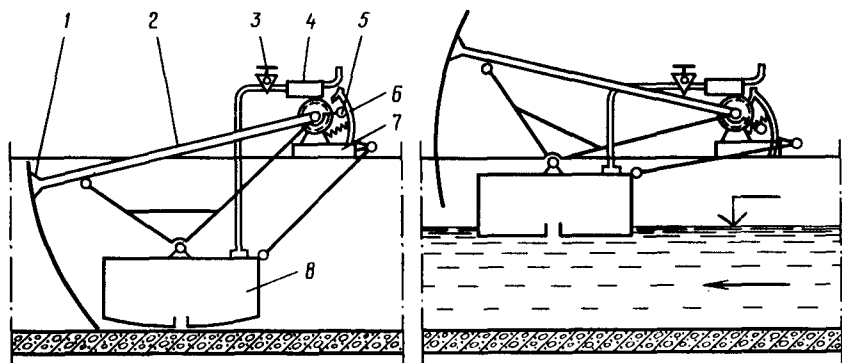


Рис. 9.7. Автоматический затвор поливного лотка:

1 — щит; 2 — рычаги; 3 — регулируемый дроссель; 4 — программный механизм; 5 — кулачок; 6 — защелка; 7 — рама; 8 — поплавок

су непосредственно в оголовки поливных борозд. Водовыпуски при монтаже устанавливают так, чтобы их окна находились на 20...30 мм выше транзитного уровня воды в лотке, и настраивают на требуемый расход регулировочной втулкой. На границах поливных секций располагают автоматические затворы, срабатывающие через заданные промежутки времени, соответствующие выдаче поливной нормы. Автоматический затвор (рис. 9.7) состоит из рамы 7, на которой в подшипниках смонтированы рычаги 2 щита 1 и поплавок 8. Щит в поднятом положении фиксируется защелкой 6, которая отводится кулачком 5 при нижнем положении поплавка. Работой поплавка управляет программный механизм 4, состоящий из профильной дорожки и запорного клапана (на схеме не показаны), и регулируемый дроссель 3. В голове АПЛ устанавливают щит с ручным или дистанционным управлением.

При оснащении поливного лотка комплектом дополнительного оборудования из него можно проводить автоматизированный полив дискретной поливной струей (АПЛД). Процесс полива осуществляется следующим образом: при пуске воды в лоток поплавки затворов поднимают щиты, и вода транзитом проходит в нижележащие секции. Поскольку рабочие отверстия водовыпусков расположены выше транзитного уровня, полив из промежуточных секций не ведется. При этом поплавки автоматических затворов заперты клапаном.

В последней секции АПЛ создается подпор воды и распространяется на всю ее длину. Вода через водовыпуски и отводные трубы, уложенные под разворотной полосой, поступает в оголовки борозд. Когда уровень поднимается выше транзитного, открывается клапан автоматического затвора, и вода через донное отверстие начинает заполнять поплавок, вытесняя из него воздух через регулируемый дроссель, который настраивают на

требуемое время полива (поливную норму). По истечении заданного времени поплавков полностью тонет и освобождает защелку, удерживающую щит, перекрывающий сечение лотка. Таким образом, последняя секция заканчивает полив и опорожняется сифонными водовыпусками, а созданный затвором подпор включает в работу вышерасположенную секцию. Далее процесс повторяется, пока не отработают все секции, после чего оператор отключает АПЛ (либо автоматически) от хозяйственного распределителя щитом с ручным (дистанционным) управлением. Техническая характеристика АПЛ приведена ниже.

Головной расход, л/с	До 145
Рекомендуемый уклон лотка	0...0,003
Рекомендуемая ширина междурядья, м	0,9
Длина борозд, м	400 и более
Тип водовыпуска	Сифонный, регулируемый
Расход водовыпуска, л/с	0,2...0,8
Коэффициент равномерности распределения воды	0,9
Длина поливной секции, м	280...350
Площадь одновременного полива, га	11...14
Число секций	До 7

Некоторые показатели полива по бороздам из лотковой части приведены в таблице 9.2.

Внедрение автоматизированных поливных лотков обеспечивает экономию оросительной воды до 1500 м³/га за сезон, увеличение урожайности хлопчатника при соблюдении правильной агротехники до 0,9 т/га при управлении поливным током 100 л/с, снижение затрат труда — в 3,8 раза.

Устройство автоматизированного лоткового оросителя на основе пневмогидравлической автоматики (рис. 9.8).

Устройство состоит из секций лотка 7 длиной 300...400 м, соединенных друг с другом перегораживающими сооружениями 8, которые оснащают подпорно-транзитными сифонами 9. В каждой секции лотка через расчетное расстояние устанавливают 5...10 водовыпускных сифонов 1 и один зарядно-поливной наса-

9.2. Показатели полива по бороздам из лотковой сети

Показатель	Технология полива		
	ручной полив	АПЛ с постоянной струей	АПЛД с дискретной струей
Общие потери воды от водоподачи, %	52,51	28,18	22,2
Неравномерность распределения по фронту полива, %	6	1,2	1,3
Экономия оросительной воды, % от водоподачи	0	46,3	57,7
Производительность труда поливальщика, га/ч	0,09	0,31	0,34

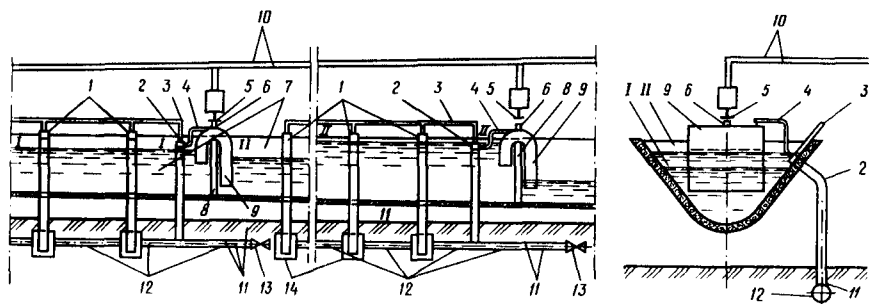


Рис. 9.8. Автоматизированный лотковый ороситель на основе пневмогидравлической автоматики:

1 — водовыпускные сифоны; 2 — зарядно-поливной насадок; 3 — трубопровод ($D = 20...25$ мм); 4, 12 — трубопроводы; 5 — клапан; 6 — штуцер; 7 — лоток; 8 — перегородивающие сооружения; 9 — сифон; 10 — канал телемеханики; 11 — водовыпускные отверстия; 13 — задвижка; 14 — приемная камера

док 2, обеспечивающие подачу воды на поле через перфорированный трубопровод 12 сечением 100...150 мм и водовыпускные отверстия 11.

Насадок 2 выполняют прямоугольного сечения и верхнюю грань его входа трубопроводом большого сечения ($D = 20...25$ мм) соединяют с водовыпускными сифонами, а боковую — трубопроводом малого сечения 4 ($D = 3...4$ мм) с подпорно-транзитным сифоном. Сверху последнего устраивают воздухопускной штуцер 6, открытие или закрытие которого осуществляется с помощью клапана 5, управляемого по каналу телемеханики 10. Устройство телемеханики может быть простейшим с минимальной емкостью (открыть, закрыть). Водовыпускные сифоны соединены с перфорированным трубопроводом 12 через приемную камеру 14, которая обеспечивает затопление их выхода при прекращении полива и соединение участков трубопровода в единый водовод, заканчивающийся промывной задвижкой 13.

Лотковый ороситель работает таким образом. В исходном состоянии воздухопускные штуцера 6 подпорно-транзитных сифонов 9 перекрыты клапанами 5. Для осуществления полива из старшего распределителя в лотковый ороситель подается расчетный расход воды и посылаются телекоманда на открытие клапана 5 соответствующего подпорно-транзитного сифона.

При поступлении воды в первую секцию уровень перед подпорным сооружением возрастает, и часть расхода начинает поступать в зарядно-поливной насадок 2. При движении воды через насадок на его входе имеет место вакуум, и через трубопровод 4 происходит отсос воздуха из сифона 9, что приводит к запуску его в работу. В этом случае уровень воды в лотке снижается до положения 11, при котором входное отверстие насадка становится выше поверхности воды. В сифон 9 при этом начинает поступать атмосферный воздух. Ввиду малого

диаметра трубопровода 4 это практически не влияет на работу напорно-транзитного сифона. В результате осуществляется транзитный пропуск воды в нижерасположенную секцию, где процесс формирования свободной поверхности воды $I - I$ происходит аналогично.

Для полива из второй секции лотка следует подать телесигнал на открытие клапана II этой секции, в результате чего поступающий через штуцер 6 атмосферный воздух выключит сифон 9 из работы, что приведет к увеличению напора в секции лотка 7 и часть расхода поступит в насадок 2, обеспечив автоматическую зарядку водовыпускных сифонов. В этом случае во второй секции формируется кривая подпора $II - II$, при которой через водовыпускные сифоны и отверстия II поступает в борозды расчетный расход воды.

§ 9.3. Автоматизация полива дождеванием

В стране дождеванием орошают 40 % всех поливных земель.

Дождевание — способ полива, при котором вода на поле подается в виде искусственного дождя, — является одним из самых прогрессивных и производительных и в наибольшей степени позволяет механизировать и автоматизировать процесс полива. Выпускаемые дождевальные машины и дождевальные аппараты высокомеханизированы и автоматизированы.

Дождевальные системы подразделяют на передвижные, полустационарные и стационарные.

Передвижные системы применяют для полива сравнительно небольших площадей. Все элементы системы (насосная станция, трубопроводная сеть с дождевальными аппаратами) мобильны. Этими системами управляют вручную.

В полустационарных системах насосная станция и подземная трубопроводная сеть неподвижны, а дождевальные машины и агрегаты передвигаются и осуществляют полив либо в движении, либо позиционно. В последнем случае они поочередно передвигаются от гидранта к гидранту и во время стоянки поливают соответствующие участки поля. Подобные системы выполняются автоматизированными.

В стационарных системах все элементы, включая дождевальные аппараты или установки, неподвижны. Стационарные системы наиболее часто выполняют автоматическими.

По технико-экономическим соображениям для орошения больших площадей применяют преимущественно полустационарные системы с широкозахватными дождевальными машинами, и они по удельному весу являются преобладающими. Стационарные дождевальные системы требуют больших капитальных затрат и оборудования, и пока применяют их ограниченно. Однако, учитывая их технологические преимущества, возможна высокая степень их автоматизации и более широкое распространение.

§ 9.4. Автоматизация стационарных дождевальных систем (АСДС)

Автоматизированные стационарные дождевальные системы очень эффективны, так как могут вести полив без непосредственного участия человека по агрометеопараметрам — в зависимости от влажности почвы, температуры, влажности окружающего воздуха и других параметров по заданной программе (круглосуточно или в определенные часы суток, с переменными, изменяющимися в широких пределах поливными нормами в зависимости от сельскохозяйственной культуры, стадии вегетации, времени суток). Стационарные дождевальные системы применяют пока на сравнительно небольших площадях для полива овощных культур, цитрусовых, чая, садов, виноградников и т. п., то есть там, где предъявляют повышенные требования к условиям роста и развития растений, а следовательно, и к режиму полива.

Опыт показывает, что наибольший экономический эффект получают, когда АСДС используют не только для орошения, но и для борьбы с заморозками; для автоматизированного внесения вместе с поливной водой удобрений, препаратов защиты растений от болезней и вредителей; создания микроклимата; интенсификации процесса пигментации плодовых культур и усиления их аромата.

Все это требует от системы автоматизации высокой оперативности, обеспечивающей быстрое и четкое изменение программ, поливных норм и режима полива в целом. Комплексное использование АСДС, обеспечивающее рост производительности труда и получение высоких урожаев, гарантирует окупаемость системы автоматизации всего в несколько лет.

Разрабатывают телеуправляемые выдвижные гидранты, которые по окончании полива опускаются под пахотный слой. Их применение обеспечит более полное использование орошаемой площади и машинной техники для обработки почвы и уборки урожая. Автоматизированная стационарная дождевальная система в общем случае состоит из следующих основных частей: автоматической насосной станции, подающей воду в закрытую сеть под напором, необходимым для работы дождевальных аппаратов; трубопроводной сети с присоединенными к ней водовыпускными механизмами и стояками для установки на них дождевальных аппаратов; дождевальных аппаратов программного устройства управления поливом (сокращено устройство управления); системы электроснабжения (при применении электрических водовыпускных механизмов) и системы передачи информации; датчиков агрометеопараметров (влажности, температуры, испаряемости и др.).

§ 9.5. Водовыпускные механизмы для автоматизированных систем полива

В автоматизированных системах полива для дистанционного и автоматического управления подключением дождевальных машин и отдельных аппаратов к трубопроводной сети, а также для дистанционного и автоматического подключения поливных трубопроводов и шлангов в системах поверхностного полива применяют различные водовыпускные механизмы. Последний состоит из рабочего органа (задвижка, клапан, дроссельный затвор и др.) и исполнительного механизма, предназначенного для привода и управления рабочим органом. На системах орошения до последнего времени в большом количестве применяют трубопроводную арматуру промышленного назначения, однако по многим своим параметрам она не удовлетворяет технологическому процессу работы оросительных трубопроводов и поливной техники.

Как правило, промышленную трубопроводную арматуру рассчитывают на минимальное рабочее давление 0,6; 1 и 1,6 МПа. В системах полива, главным образом поверхностного, зачастую имеют место более низкие рабочие давления, и применение для таких систем арматуры общепромышленного назначения приводит к перерасходу металла. В системах автоматизированного полива водовыпускными механизмами управляют с диспетчерского пункта, расположенного на значительном расстоянии, и поэтому особые требования предъявляют к величине потребляемой мощности привода исполнительного механизма, а также к виду энергии управления.

Промышленная трубопроводная аппаратура, особенно плоскопараллельные задвижки, не рассчитанные на частоту включения, вскоре срабатываются, что является причиной возникновения гидравлических ударов, недопустимых для тонкостенных металлических стальных труб мелиоративного сортамента, а также для широко применяемых в мелиорации чугунных и асбестоцементных труб. Практика эксплуатации этих задвижек показывает, что срок их службы на оросительной сети не превышает 2...3 лет.

Дисковые поворотные затворы практически по всем показателям, включая их регулировочные характеристики, имеют преимущества перед задвижками.

Для автоматизированного полива получают распространение механизмы гидравлического, электрогидравлического, пневмогидравлического и электрического типов, каждому из которых присущи специфические особенности, определяющие возможные сферы их применения.

Общим для них требованием, поскольку их устанавливают на трубопроводной сети в поле и они подвергаются воздействию

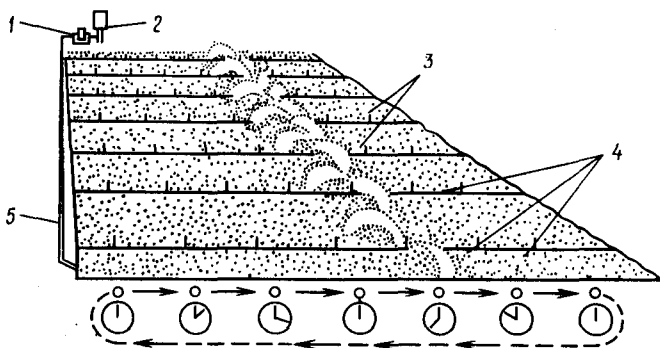


Рис. 9.9. Система полива с клапанами последовательного действия:

1 — насосная станция; 2 — программное устройство; 3 — водовыпускные механизмы; 4,5 — поливной и напорный трубопроводы

ям внешней окружающей среды, является требование высокой эксплуатационной надежности.

Гидравлические водовыпускные механизмы. Это механизмы, используемые для выполнения рабочих функций (открыть — закрыть), а также для передачи на расстояние команд управления, потенциальную энергию воды в трубопроводах, в нашем случае энергию напора воды. При этом отпадает необходимость в прокладке специальных электрических линий для электроснабжения электропривода исполнительного механизма и для передачи команд управления, что является бесспорным преимуществом этих механизмов.

По принципу действия различают гидравлические водовыпускные механизмы последовательного и программного переключения.

В небольших стационарных дождевальных системах применяют клапаны последовательного переключения. Они лишены избирательности, то есть не могут включаться в любом заранее заданном порядке. При их работе на каждом поливном трубопроводе от его начала к концу последовательно включается по одному клапану, а общее число одновременно работающих дождевальных аппаратов равно числу поливных трубопроводов в данной системе (рис. 9.9). Клапаны сначала подают воду к первым дождевальным аппаратам всех поливных трубопроводов, затем — ко вторым, третьим и т.д. Таким образом полив осуществляют полосами на всей орошаемой площади данной системы одновременно. Достоинства таких систем: простота конструкции, достаточная надежность и то, что диаметры поливных трубопроводов минимальны, так как рассчитаны на расход только одного дождевального аппарата. Вместе с тем клапаны последовательного переключения создают определенные неудоб-

ства в эксплуатации — поливная норма может меняться только строго по полосам, а это требует строго заданного расположения севооборотных участков, одинаковое для всех участков число поливов. Однако при этом поливные нормы севооборотных полей могут быть различными. К тому же при неисправности одного из клапанов нарушается работа всех клапанов этого трубопровода, расположенных за ним.

Существует большое число различных модификаций клапанов. Одна из них — так называемые групповые клапаны, посредством которых к магистрали подключаются последовательно поливные трубопроводы с несколькими дождевальными аппаратами на каждом. Однако число поливных трубопроводов, подключаемых к одному клапану, невелико и лимитируется конструктивными соображениями.

§ 9.6. Автоматическая система полива с клапанами последовательного действия

Автоматическая система полива с клапанами последовательного действия (рис. 9.9) состоит из насосной станции 1 с программным устройством 2, магистрального напорного трубопровода 5, поливных трубопроводов 4 и установленных на них водовыпускных механизмов 3 в виде трехпозиционных шариковых клапанов автоматического управления, расположенных перед дождевальными аппаратами.

Перед началом работы на программном устройстве устанавливают продолжительность полива (поливную норму); паузу в поливе, когда клапаны переключаются и начинается работа последующего ряда дождевальных аппаратов; общее число переключений, соответствующее числу рядов дождевальных аппаратов; время включения системы после полного цикла полива; число циклов полива. Схема работы клапанов последовательного переключения показана на рисунке 9.10. Позиция *a* соответствует положению клапана в момент начала подачи воды в магистральный трубопровод. Когда вода поступает в систему, все клапаны первого ряда перекрывают проходные отверстия поливных трубопроводов — позиция *б*, и вода подается в дождевальные аппараты первого ряда. Через заданный интервал времени прекращают подачу воды в систему (выключается насосная станция или закрывается задвижка на трубопроводе 5), напор в системе падает, и после определенной паузы (0...30 с) клапаны занимают позицию *в*. В этом положении клапанов подача воды в трубопровод 5 возобновляется. Так как шариковые клапаны первого ряда теперь подтянуты, вода минует первый ряд дождевальных аппаратов и поступает ко второму ряду клапанов, которые теперь переходят из положения *a* в положение *б*, и осуществляется работа дождевальных аппаратов второго

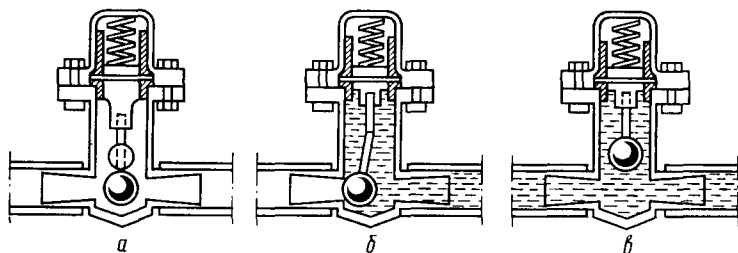


Рис. 9.10. Схема работы клапана последовательного переключения

ряда; так от ряда к ряду последовательно поливают весь орошаемый участок.

По окончании первого цикла полива после соответствующей паузы, во время которой все клапаны возвращаются в исходное состояние *a*, можно начать новый цикл (и т. д. заданное число раз).

Примером группового шарикового клапана для подключения нескольких поливных трубопроводов может служить клапан, конструкция которого показана на рисунке 9.11. Корпус клапана состоит из верхней *2* и нижней *б* пластмассовых секций, образующих внутри кольцевую полость *7*. На верхней стенке корпуса находится камера с входным патрубком *1*. От нижней стенки отходят выходные патрубки *4*, к которым присоединяют поливные трубопроводы с дождевальными аппаратами. Внутренние стенки корпуса выполнены ступенчатыми и имеют наклонные поверхности *10*, *12*, *14*, *15*, *18* и *21*, чередующиеся с вертикальными и горизонтальными участками, образующими ниши *9*, *11*, *13*, *17*, *19*, *22* с входными *8* и выходными *16*, *20*, *23* отверстиями. Внутри кольцевой полости размещены два шарика *3* и *24*, выполненные из материала с удельным весом, меньшим, чем у

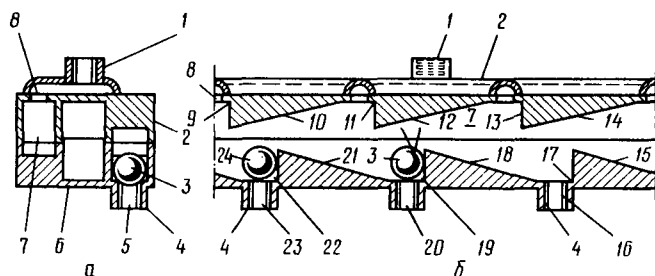


Рис. 9.11. Конструктивная схема группового гидроуправляемого шарикового клапана:

a — вид сверху; *б* — вид сверху на нижнюю секцию; *1* — входной патрубок; *2*, *б* — верхняя и нижняя пластмассовые секции; *3*, *24* — шарики; *4* — выходные патрубки; *5* — выходное отверстие; *7* — кольцевая полость; *8* — входные отверстия; *9*, *11*, *13*, *17*, *19*, *22* — ниши; *10*, *12*, *14*, *15*, *18*, *21* — наклонные поверхности; *16*, *20*, *23* — выходные отверстия

воды, диаметр шариков несколько превышает диаметр отверстий. При подаче воды к входному патрубку шарики под действием давления поднимаются и перекрывают выходные отверстия.

Поскольку шариков на один меньше, чем выпускных отверстий, то одно отверстие всегда остается открытым, и вода через него поступает в поливной трубопровод. При сбросе давления шарики всплывают в верхнюю полость клапана. Шарик 24 перемещается по наклонной плоскости 10 и попадает в нишу 11, а шарик 3 по наклонной плоскости 12 — в нишу 13. При повторной подаче воды и подъеме давления шарики выходят из ниш, опускаются до наклонных поверхностей 21 и 18, входят в ниши 17 и 19 и перекрывают выпускные отверстия 16 и 20. Теперь вода поступает в соответствующий поливной трубопровод через отверстие 23.

Таким образом, в результате создания в системе импульсов понижения давления шариковые клапаны смещаются, обеспечивая поочередное открытие водовыпускных отверстий.

§ 9.7. Водовыпускные механизмы с устройством программного переключения

Водовыпускные механизмы с устройством программного переключения получили более широкое распространение, чем водовыпускные, последовательно переключаемые, и характеризуются наличием специального устройства, при помощи которого водовыпускной механизм настраивают на открытие запорного органа после определенного заданного числа «срабатываний» устройства, равного числу импульсов снижения давления в трубопроводной сети.

Рассмотрим в качестве примера устройство с храповым механизмом, число зубьев которого равно или кратно числу дождевальных аппаратов или поливных трубопроводов в данной системе.

Водовыпускные механизмы программного переключения обеспечивают полив отдельных участков в заданной последовательности, определяемой настройкой «срабатывания» их храповых механизмов.

Одно из многих конструктивных решений гидроуправляемого программного клапана приведено на рисунке 9.12. Давление воды воспринимает эластичная диафрагма 9, соединенная со штоком 3 запорного органа 2. Тарелка запорного органа, опираясь на седло 10, не пропускает воду в патрубок 1, соединенный с дождевальным аппаратом. Диафрагма 9 отделяет проточную часть клапана от механизма переключения. На нее действует возвратная пружина 4. Над верхним концом штока 3 расположен упорный диск 7, поворачивающийся совместно с храповым колесом 6. В паз 8 упорного диска может входить шток. Храповик поворачивается посредством рычага 5, приводимого в

действие толкателем, нижний конец которого снабжен роликом, западающим в вырез верхнего штока. Укрепленная на рычаге собачка входит в зацепление с зубьями храповика. Под давлением воды диафрагма прогибается и перемещает шток вверх до упорного диска, но запорный орган остается прижатым к седлу.

Когда шток идет вверх, собачка рычажного привода поворачивает храповое колесо на один зуб. При снижении давления шток вместе с диафрагмой под действием возвратной пружины занимает исходное положение. В последующих циклах изменения давления храповое колесо вместе с упорным диском каждый раз поворачивается на один зуб. Клапан остается закрытым до тех пор, пока паз в упорном диске не окажется против штока. Тогда при подъеме давления шток войдет в паз упорного диска, запорный орган откроется и пропустит воду к дождевальному аппарату. Клапан закрывается на следующем импульсе понижения давления воды. Для этого кратковременно закрывают задвижку на напорном трубопроводе и соединяют его со сбросом, открывая сбросовую задвижку (см. § 9.17), в результате чего через некоторое время давление снижается настолько, что клапан закрывается.

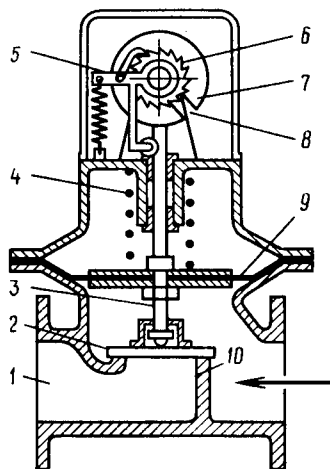


Рис. 9.12. Схема гидроуправляемого клапана программного переключения:

1 — патрубок; 2 — запорный орган; 3 — шток; 4 — пружина; 5 — рычаг; 6 — храповое колесо; 7 — упорный диск; 8 — паз; 9 — эластичная диафрагма; 10 — седло

§ 9.8. Гидроуправляемый пробковый затвор

Гидроуправляемый пробковый затвор (рис. 9.13) устанавливают непосредственно на дождевальном аппарате, и по существу он представляет собой водовыпускной механизм с устройством программного управления, подобным приведенному на рисунке 9.12, однако другого конструктивного исполнения. В состав пробкового затвора входят следующие основные элементы: гидродвигатель 5 двойного действия, рычажная передача 4, пробка 3, распределитель 10 подачи воды в гидродвигатель 17 счетчика команд. В зависимости от направления подачи воды гидродвигатель 5 открывает или закрывает пробку 3, что происходит за счет перераспределения воды и поочередного открытия отверстий (сопл) А, В, С и D в корпусе распределителя 10. Счетный механизм работает аналогично описанному выше с той лишь

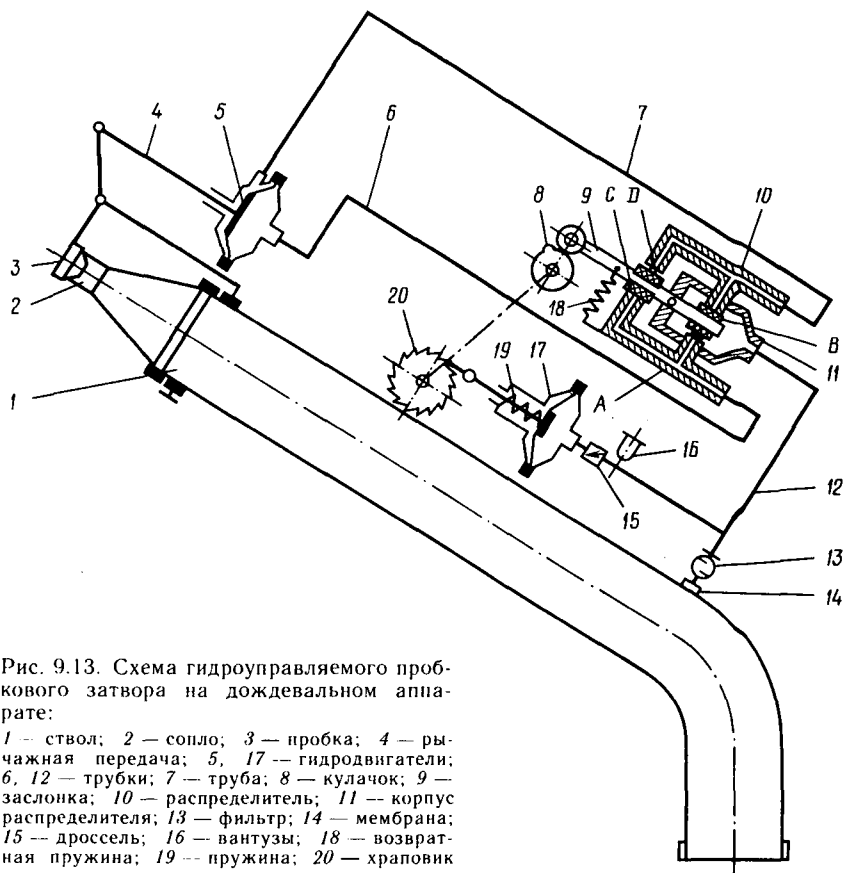


Рис. 9.13. Схема гидроуправляемого пробкового затвора на дождевальном аппарате:

1 — ствол; 2 — сопло; 3 — пробка; 4 — рычажная передача; 5, 17 — гидродвигатели; 6, 12 — трубки; 7 — труба; 8 — кулачок; 9 — заслонка; 10 — распределитель; 11 — корпус распределителя; 13 — фильтр; 14 — мембрана; 15 — дроссель; 16 — вантузы; 18 — возвратная пружина; 19 — пружина; 20 — храповик

разницей, что здесь вместо выреза в упорном диске предусмотрен кулачок, приводящий в действие рычаг-заслонку 9 распределителя 10. При пуске воды в оросительную сеть воздух, накапливающийся в стояках и дождевальных аппаратах, удаляется через вантузы 16. Вода из ствола 1 через фильтр 13, трубку 12, сопло А распределителя 10 и трубки 6 поступает в правую камеру гидродвигателя 5, удерживая пробку в сопле 2 дождевального аппарата. Кроме того, вода из трубки 12 через дроссель 15 попадает в гидродвигатель 17 счетчика команд, давит на мембрану, сжимает возвратную пружину 19, перемещает шток вместе с толкателем, который поворачивает храповик 20 на один зуб, а также связанный с храповиком кулачок 8. После заданного числа срабатываний кулачок нажимает на рычаг-заслонку 9, в результате чего оказывается перекрытым сопло А и открывается сопло В. Теперь вода поступает в левую камеру гидродвигателя 5, рычаг 4 перемещается вправо и открывает пробковый зат-

вор дождевального аппарата. Вода из правой полости гидродвигателя 5 по трубке 6 выходит через сопло С, которое открывается, когда кулачок нажимает на рычаг-заслонку. При последующем управляющем импульсе пробка закрывается и прекращает работу дождевального аппарата.

§ 9.9. Особенности гидроуправляемых водовыпускных механизмов

В общем виде система гидроуправляемых водовыпускных механизмов с устройством программного управления состоит из основных элементов, приведенных на рисунке 9.14.

При совпадении числа фиксируемых счетчиком импульсов заранее заданному их числу счетчик формирует команду управления исполнительному механизму, при которой поступает гидравлическая энергия и открывается запорный орган.

Гидроуправляемые водовыпускные механизмы имеют следующие основные особенности и недостатки:

- отсутствует обратная связь механизма с командным пунктом, а следовательно, не поступает информация о выполнении задания. Это существенный недостаток, при котором требуется, по меньшей мере, повышенная надежность механизма;

- имеет место неудобство в эксплуатации, связанное с тем, что счетный механизм на заданную программу (срабатывание на заданном импульсе) настраивают вручную, каждый раз обходя все водовыпускные механизмы на орошаемом поле;

- применительно к гидроуправляемым механизмам наработку на отказ (длительность работы от одного отказа до другого) измеряют средним числом импульсов давления (циклов понижения и подъема напора в сети), после которого возникает сбой в движении храпового колеса, приводящий к нарушению заданной программы полива. Импульсы давления в сети воспринимаются всеми установленными механизмами одновременно. При каждом цикле изменения давления все механизмы срабатывают, то есть изменяют положение храпового колеса на один зуб. Если на орошаемом участке n механизмов, то за один цикл изменения давления наработка равна n , а за один полив орошаемого участка наработка уже составляет n^2 . Таким образом, общая наработка растет пропорционально квадрату установленного числа механизмов, и соответственно чи-

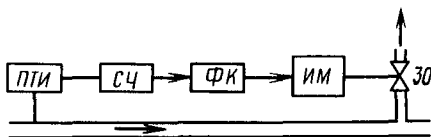


Рис. 9.14. Блок-схема программного управления гидроуправляемым водовыпускным механизмом:

ПТИ — преобразователь тактовых импульсов; СЧ — счетчик тактовых импульсов; ФК — формирователь команд; ИМ — исполнительный механизм; ЗО — запорный орган

сло отказов в течение полива также увеличивается пропорционально n^2 (значение наработки на отказ принимают постоянным);

изучение водовыпускных механизмов с гидроуправляемым устройством программного переключения (храповой механизм) показывает, что наиболее частым нарушением их работы являются сбои в работе храповых механизмов, нарушающие программу полива. Это объясняется возникновением в трубопроводах переходных гидравлических процессов, которые сопровождаются подачу управляющих команд и включение исполнительных механизмов (если отсутствуют надежные устройства, демпфирующие гидравлические удары).

§ 9.10. Гидравлические поворотные дисковые затворы

Конструктивная схема поворотного дискового затвора приведена на рисунке 9.15. Затвор состоит из корпуса 1 с резиновой уплотнительной муфтой 2, диска 3, предназначенного для перекрытия затвора и закрепленного на приводном валу 4 (штока), редуктора 6, маховика 5. Диск, жестко закрепленный на штоке, поворачивается на $87,5...90^\circ$ при вращении маховика, в результате чего закругленная кромка диска уплотняет муфту и обеспечивает двустороннюю герметичность проходного сечения. Затвор может выполнять функцию регулирующего органа. Фиксация промежуточного положения диска обеспечивается самотормозящим механизмом, расположенным в редукторе. В рычажно-винтовом редукторе предусмотрен рычаг с изменяющимся плечом воздействия, вследствие чего на заключительной стадии закрытия и начальной стадии открытия поворот диска в зоне эффективного дросселирования замедлен. Это благоприятно сказывается на времени формирования переходного процесса и снижает гидравлический удар. На случай отсутствия энергии все затворы снабжены ручными механическими дублерами.

Дисковые затворы с гидравлическим приводом конструктивно

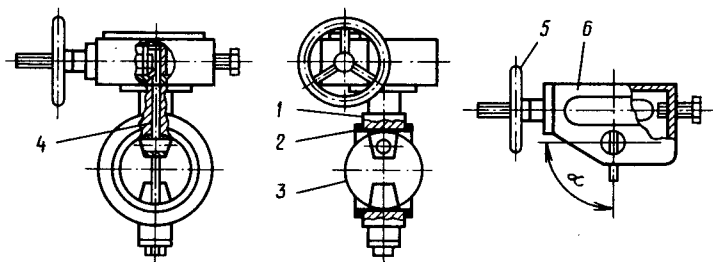


Рис. 9.15. Конструктивная схема дискового поворотного затвора ($D_y = 200$ мм, $P_y = 1,6$ МПа):

1 — корпус; 2 — резиновая уплотнительная муфта; 3 — диск; 4 — приводной вал; 5 — маховик; 6 — редуктор

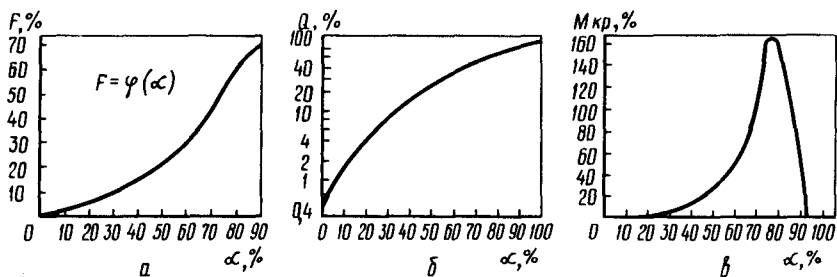


Рис. 9.16. Характеристика поворотного дискового затвора: а — конструктивная; б — расходная; в — зависимость крутящего момента дискового затвора от угла поворота диска; α — угол открытия затвора

и по действию запорного органа идентичны вышеописанному.

Рассмотрим регулировочные особенности дискового затвора. Различают две характеристики, определяющие регулировочные свойства трубопроводной арматуры: конструктивную, выражающую зависимость изменения относительного проходного сечения регулировочного органа от степени его открытия $F = f(\alpha)$, и расходную, отражающую зависимость между перемещением дроссельного органа, его проходным сечением и расходом $Q = f(\alpha)$. При одной и той же конструктивной характеристике расходные характеристики бывают различными. Наиболее типичные конструктивная (а) и рабочая (б) характеристики, из которых следует, что при максимальном открытии дроссельного затвора действительная его площадь меньше полной примерно на 30 % за счет влияния запорного органа (затвора), расположенного внутри проходного сечения, приведены на рисунке 9.16. Когда приходится использовать затвор для регулирования небольших расходов, дроссельный затвор не применяют, так как он не может регулировать малые зазоры. При углах поворота диска затвора больших 70° расход меняется значительно медленнее степени открытия. Один из существенных недостатков дроссельного затвора — резкий перелом его крутящего момента в диапазоне открытия от 60 до 90° (рис. 9.16, в). Когда диск затвора входит в эту зону, динамический крутящий момент из-за неравномерного распределения скорости резко возрастает и достигает максимума при 75...80°, а затем резко падает в момент полного открытия. Кроме того, в этом диапазоне одному значению крутящего момента соответствует два разных угла поворота диска, то есть работа затвора в этой зоне неустойчива, что отрицательно сказывается на надежности работы исполнительного механизма. Поэтому действие дисковых затворов для регулирования ограничивают, как правило, углом поворота диска до 60°. Поэтому целесообразнее применять затвор увеличенного диаметра с углом поворота до 60°, чем использовать более мощный привод для открывания затвора на больший угол, получая при

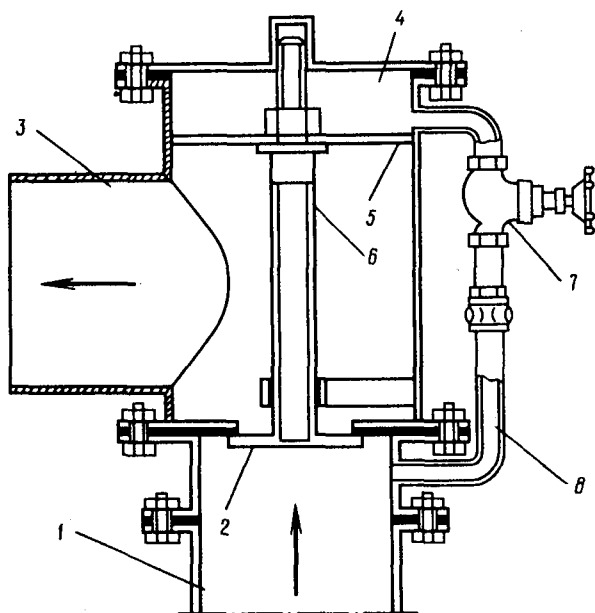


Рис. 9.17. Схема работы клапана с гидроприводом:
 1 — напорный трубопровод; 2 — клапан; 3 — трубопровод; 4 —
 силовая камера; 5 — силовой клапан; 6 — стержень; 7 — кран;
 8 — обводная трубка

этом плохую регулировочную характеристику и неустойчивую работу. Однако необходимо учитывать, что ограничение поворота диска углом 60° значительно снижает пропускную способность затвора.

При выборе дискового затвора в качестве водовыпускного в системах автоматизированного полива эти специфические особенности должны быть учтены.

Разработан дисковый затвор с гидроприводом для подачи воды в дождевальную машину «Фрегат» (см. § 9.19).

Клапаны с гидроприводом (рис. 9.17). В нормальном состоянии клапан 2 напором воды прижат к седлу и закрыт. При подаче воды из напорного трубопровода 1 по обводной трубке 8 в силовую камеру 4 давление в ней повышается и устанавливается равным давлению воды в напорном трубопроводе. Так как площадь силового клапана 5, на которую действует это давление, больше площади запорного клапана, то он за счет дополнительной силы открывается и вода поступает в трубопровод 3. Управление клапаном сводится к управлению краном 7, установкой его в одно из двух положений (открыто — закрыто). Имеется множество конструктивных решений подобных клапанов, которые помимо указанных имеют дополнительные элементы, сводящие

к минимуму негативное влияние гидравлических ударов в моменты включения-отключения клапана, уравнивающие расходы клапанов, установленных вдоль протяженного трубопровода, и др.

§ 9.11. Гидропневматическая система управления поливом

Наряду с гидравлическим направлением в разработке систем автоматического управления поливом, в котором, как было показано, используется потенциальная энергия воды для привода запорного органа и для управления, имеет также место гидропневматическое направление, в котором для привода водовыпускных механизмов и управления системой полива используют сжатый воздух. В этой системе потенциальная энергия поливной воды преобразуется в давление сжатого воздуха, который затем используется в качестве энергоносителя. Гидропневматическая система более проста и надежна в эксплуатации за счет менее сложной аппаратуры и исключения использования в каналах управления поливной воды, которая бывает с высоким содержанием взвешенных веществ (до 300 мг/л).

Блок-схема гидропневматического программного управления поливом приведена на рисунке 9.18.

Из приведенной блок-схемы следует, что гидравлические тактовые импульсы в трубопроводе поливной воды, преобразованные в ПТИ, в пневматические или механические перемещения, считываются счетчиком СЧ. При достижении числа импульсов, равного заданному в формирователе команд, с последнего подается команда на ИМ, через который сжатый воздух из УП подается в пневмоклапан дождевальной установки. При воздействии на счетчик следующего тактового импульса команда управления с выхода формирователя прекращает свое воздействие на исполнительный механизм, и он сбрасывает давление из пневмоклапана, связывая его с атмосферой.

Схема механического счетчика импульсов в системе гидропневматического управления представлена на рисунке 9.19, а.

Здесь функции ПТИ выполняют сильфон 1, соединенный с трубопроводом поливной воды, пружина 5 и храповое колесо 3. При наличии динамического давления в трубопроводе сильфон растянут и храповое колесо находится в покое. Гидравлический тактовый импульс возникает при снижении давления в трубопроводе поливной воды. Снижение давления в трубопроводе уменьшает рас-

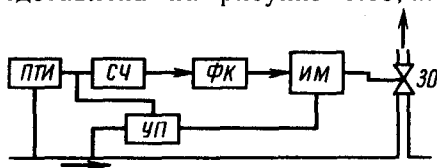


Рис. 9.18. Блок-схема гидропневматического программного управления поливом:

ПТИ — преобразователь тактовых импульсов; СЧ — счетчик тактовых импульсов; ФК — формирователь команд; УП — устройство питания сжатым воздухом; ИМ — исполнительный механизм; 30 — запорный орган

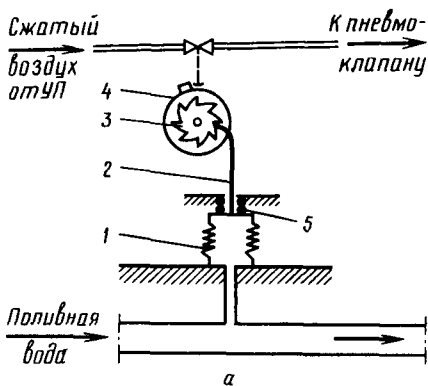
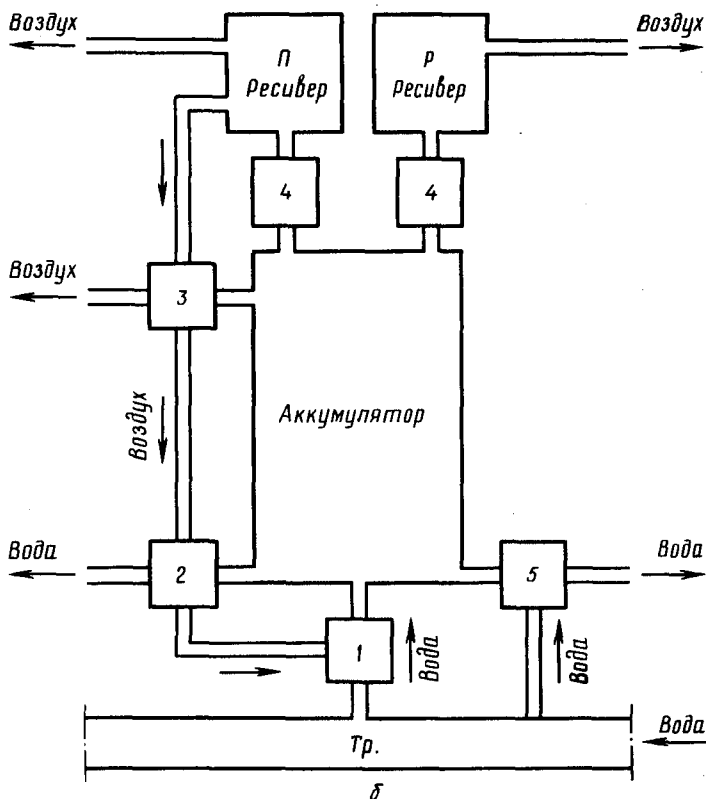


Рис. 9.19. Устройства гидропневматической системы управления:

а — схема механического счетчика с пневмоуправляемым клапаном; 1 — сильфон; 2 — шток; 3 — храповое колесо; 4 — упорный диск; 5 — пружина; б — схема питания сжатым воздухом



тяжение сильфона, чему также содействует пружина 5. Сжатие сильфона передается на шток 2, который превращает свои возвратно-поступательные движения во вращение храпового колеса, перемещая его за один импульс на один зуб. Когда по окончании импульса понижения давления шток движется вверх, он своим зацепом захватывает зуб храпового колеса, осуществляя его поворот на один шаг.

При определенном положении храпового колеса открывается доступ сжатого воздуха к пневмоклапану, который открывает доступ воды к дождевальному аппарату.

Основной отличительный элемент гидропневматической системы управления поливом — устройство питания сжатым воздухом. Принцип действия его (рис. 9.19. б) основан на том, что вода под давлением из поливного трубопровода циклично заполняет емкость и сливается из нее. При подъеме воды ее свободная поверхность, исполняя роль поршня, сжимает воздух над собой, а при сливе всасывает воздух из атмосферы. Для этого герметичная емкость — аккумулятор — сообщается с трубопроводом поливной воды через входной патрубок, снабженный нормально открытым запорным органом 1. Кроме того, аккумулятор сообщается с атмосферой через запорные органы 2, 3 и 5 (2 и 5 предназначены для слива воды, а 3 — для сброса избыточного давления воздуха перед сливом воды и поступления воздуха из атмосферы по мере опорожнения емкости). Запорные органы 1, 2, 3 управляются давлением сжатого воздуха из программного П-ресивера, а запорный орган 5 — давлением поливной воды в трубопроводе.

Устройство питания сжатым воздухом работает следующим образом: при поступлении поливной воды из трубопровода в аккумулятор воздух, заполнивший его ранее, сжимается и через обратные клапаны 4 поступает в рабочий Р и программный П ресиверы. При достижении в П-ресивере заданного давления срабатывают запорные органы 1 и 3, перекрывая поступление воды в аккумулятор и сбрасывая избыточное давление воздуха. После этого срабатывает запорный орган 2, через который сливается вода из емкости. После снижения давления в П-ресивере через калиброванное отверстие до нижнего заданного уровня запорные органы 2, 3 закрываются и открывается 1. Начинается новый цикл сжатия. Через запорный орган 5 вода из аккумулятора сливается в момент действия тактового импульса, то есть он является синхронизирующим элементом системы.

Давление сжатого воздуха, необходимое для срабатывания запорного органа, равно 0,12 МПа. Объем аккумулятора около 5 л, емкость программного ресивера 0,5 л, емкость рабочего ресивера 2 л. Входной запорный орган 1 открывается давлением воды в трубопроводе и закрывается давлением сжатого воздуха 0,12 МПа из программного П-ресивера. Емкость аккумулятора сообщается с ресиверами через обратные клапаны 4. Оба клапана идентичны. В нормальном состоянии они закрыты и открыва-

ются избыточным давлением аккумулятора. Из рабочего ресивера на пневмопривод запорного органа дождевальной установки сжатый воздух подается через формирователь команды управления, который выполнен в виде запорного органа с механическим приводом. Управляется формирователь команды счетчиком тактовых импульсов, выполненным в виде храпового колеса, и жестко соединенный с ним упорным диском (см. рис. 9.19, а). При прохождении заданного для данного счетчика числа шагов храпового колеса кулачок на упорном диске воздействует на механический привод формирователя команды управления, пропуская сжатый воздух из ресивера (Р) в пневмопривод запорного органа дождевальной установки. В заключение отметим, что отсутствуют достаточные сравнительные технико-экономические показатели гидравлического и гидропневматического принципов управления поливом. Они могут быть получены в результате длительных испытаний и эксплуатационных проверок.

§ 9.12. Электрогидроуправляемые водовыпускные механизмы

Электрогидроуправляемые водовыпускные механизмы отличаются от гидроуправляемых лишь тем, что система управления у них электрическая. Основные функции (открыть — закрыть) выполняются, как у любого механизма с гидроприводом, энергией поливной воды. Электрогидроуправляемые водовыпускные механизмы создают более надежные системы автоматического полива. Однако в этом случае необходимо организовать канал связи для передачи с пункта управления сигналов управления и, как правило, проложить для этой цели специальную (обычно кабельную) линию связи. Мощность для управления электрической аппаратурой мала (не превышает 6 Вт) и потребляется лишь в импульсном режиме в момент переключения. Поэтому сравнительно легко организовать автономные источники электропитания либо обеспечить централизованное электроснабжение для системы управления. Для подачи поливной воды в гидропривод водовыпускного механизма применяют электрогидрореле. Наиболее приемлемо и надежно в эксплуатации электрогидрореле типа КЭГ, отвечающее условиям его установки в полевых условиях на трубопроводе. Принцип действия реле КЭГ основан на преобразовании электрической энергии в механическое перемещение запорного органа. Промышленностью выпускаются две модификации этого реле: реле КЭГ-Д-16/8 с длительным обтеканием электромагнита электрическим током на все время его включенного состояния; реле КЭГ-И-16/8 с импульсным электропитанием, при котором электромагнит запитывается кратковременно в момент его включения или отключения.

Принципиальная схема КЭГ приведена на рисунке 9.20, а. В отключенном состоянии под действием пружины 7 на рычаг 8 связанные с ним заслонки 2, 6 перекрывают сопла 3 и 5, при

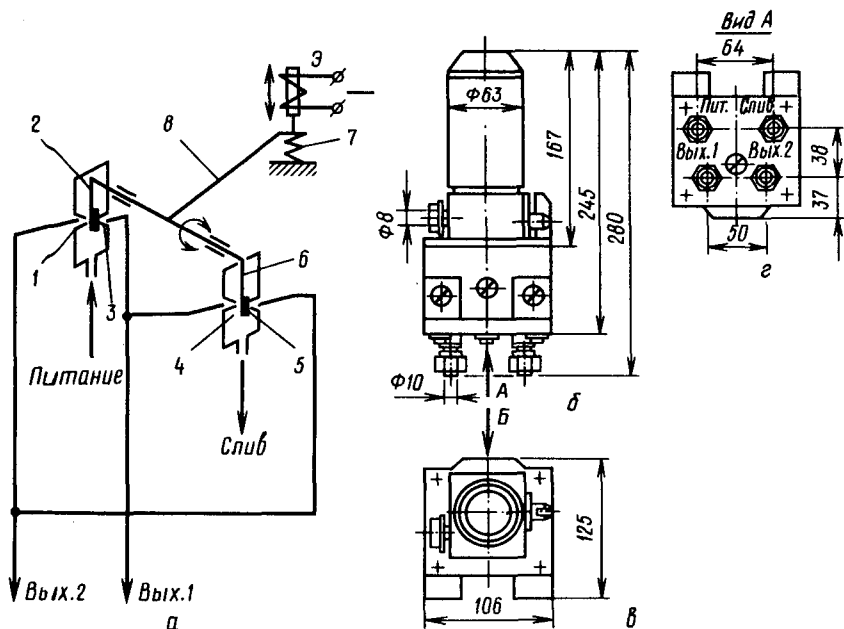


Рис. 9.20. Электрогидрореле КЭГ:

а — принципиальная схема; б, в, г — габаритные размеры; 1, 3, 4, 5 — сопла; 2, 6 — заслонки; 7 — пружина электромагнита; 8 — рычаг

этом линия питания соединена с линией «Вых. 2», а линия «Вых. 1» — с линией слива. При включении электромагнита рычаг 8 перемещает заслонки и перекрывает сопла 1 и 4, линия «Вых. 2» соединяется с линией слива, а линия «вход» — с линией «Вых. 1». Происходит переключение направления подачи воды в гидропривод. Реле снабжено ручкой переключения направления воды в режиме местного управления. Конструкция реле изображена на рисунке 9.20, б. Ниже приведена техническая характеристика реле КЭГ.

Параметры	КЭГ-Д-16/8	КЭГ-И-16/8
Условный диаметр, мм	8	8
Давление воды, МПа	1,6	1,6
Температура окружающего воздуха, °С	5...55	5...55
Температура воды, °С	5...25	5...25
Влажность окружающего воздуха, %	100	100
Климатическое исполнение	У2	У2
Степень защищенности:		
от пыли	П1	П1
от воды	В3	В3
Длительность электрического импульса, с	20	20
Время переключения, с	0,5	0,5

Напряжение питания, В:		
включения	24	6
отключения	$+2,4$	
отпускания	$-3,6$	4
Номинальная мощность, Вт	3	5
Максимальная мощность, Вт	4	6

В реле КЭГ-И-16/8 во время кратковременного прохождения тока происходит намагничивание сердечника, и он удерживается во втянутом состоянии и после отключения тока. За счет этого реле все время током не обтекается и лишь для перевода его в исходное состояние подают электрический импульс обратной полярности напряжением 6 В.

Электрогидроуправляемая задвижка типа «Лудло» с гидроприводом приведена на рисунке 9.21. Такую задвижку используют в качестве дистанционного управляемого запорного органа при давлении в сети до 1 МПа и температуре воды до 50 °С. Поршень гидропривода 2, уплотненный резиновым кольцом 1, размещен в цилиндре 3 и соединен со штоком 4 задвижки. Управляющая вода давлением до 1 МПа подается в верхнюю или нижнюю часть цилиндра. Поступая в нижнюю часть цилиндра, она перемещает поршень в верхнее положение и открывает задвижку. Когда же управляющее давление передается через верхний штуцер в полость над поршнем, задвижка закрывается. Аналогично с помощью КЭГ управляют дроссельным затвором с гидроприводом, с той лишь разницей, что в нем цилиндр с поршнем расположен горизонтально.

Электрогидроуправляемые водовыпускные механизмы обладают характерными особенностями:

передаваемая команда является адресной и воспринимается только теми механизмами, которыми в данный момент управляют. Остальные механизмы на такую команду не реагируют. Вероятность ложного выбора при дистанционном или телемеханическом управлении пренебрежимо мала. При рассмотрении гидроуправляемых систем было указано, что одним из наиболее слабых мест системы являлись ложные срабатывания элементов управления за счет гидравлических ударов, возникающих в трубопроводной сети в моменты включения — отключения;

схемная надежность электрогидроуправляемых устройств выше надежности систем с гидроуправляемыми устройствами, так как общая наработка этой системы за один полив равна числу механизмов в системе n , а не n^2 , как в гидроуправляемой. Принимая, как и раньше, что отказы устройств при нормальной эксплуатации носят не износный, а случайный характер и что наработка на отказ у гидроуправляемых и электрогидроуправляемых устройств равна (хотя согласно предыдущему это не соответствует действительности), можно сделать вывод, что системы с электрогидроуправляемыми устройствами при одинаковых требованиях к надежности по сравнению с гидроуправляе-

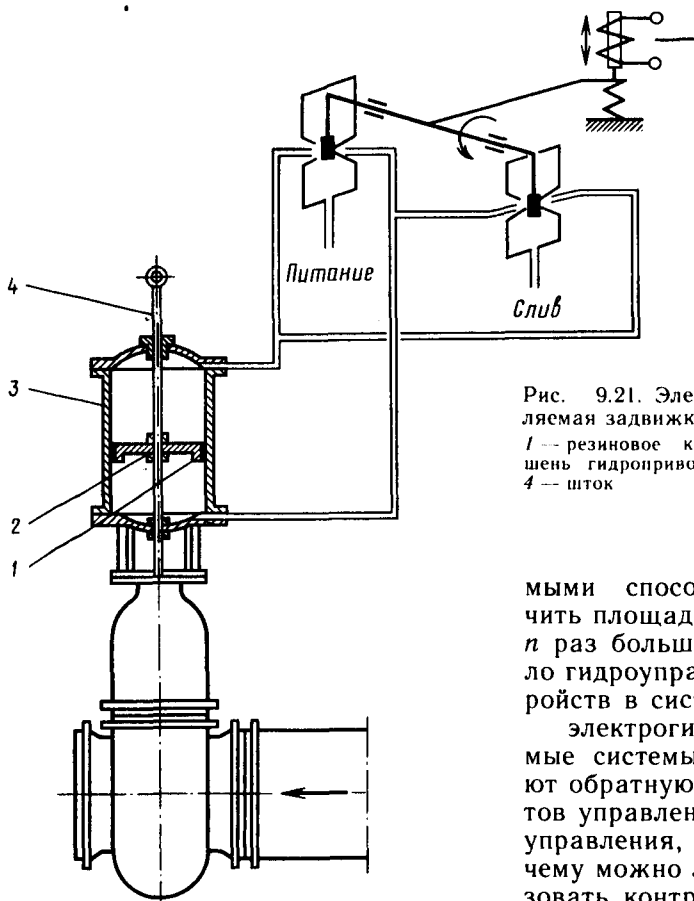


Рис. 9.21. Электрогидроуправляемая задвижка типа «Лудло»: 1 — резиновое кольцо; 2 — поршень гидропривода; 3 — цилиндр; 4 — шток

мыми способны обеспечить площадь орошения в n раз большую (n — число гидроуправляемых устройств в системе);

электрогидроуправляемые системы обеспечивают обратную связь объектов управления с пунктом управления, благодаря чему можно легко организовать контроль правильности выполнения команд;

изменяют программу, перенастраивают системы, если нужно изменить очередность и норму полива и т. д., на пункте управления без необходимости перенастройки в поле, как это требуется в случае применения гидроуправляемых водовыпускных механизмов;

в отличие от дождевальных систем с гидроуправляемыми клапанами, где трубопроводная сеть подвергается динамическим воздействиям при создании в ней управляемых импульсов, режим работы трубопроводной сети с электроуправляемыми механизмами намного благоприятнее;

анализ проведенных экспериментов показал, что наличие в управляющей среде взвешенных частиц на давление свыше 0,4 МПа на работе гидрореле не отражается. При управляющем давлении 0,2...0,3 МПа с увеличением мутности возрастает время, необходимое для полного открытия водовыпускного механизма.

Однако длительная работа гидропривода в подобных условиях, особенно если вода содержит песчаные фракции взвешенных насосов, приводит к стиранию уплотнительных колец, внутренней поверхности механизма и в итоге ухудшает рабочие характеристики гидропривода (времени открытия и закрытия, порога чувствительности и т. д.);

как уже отмечалось, системы полива с электрогидроуправляемыми задвижками требуют прокладки, как правило, кабельной линии связи. Однако здесь применяются маломощные и низковольтные устройства;

применение электрогидроуправляемых систем полива исключает необходимость организации технологических сбросов, связанных с созданием импульсов давления в трубопроводной сети и др.

Учитывая особенности электрогидравлических управляемых систем, можно утверждать, что они являются конкурентоспособными для применения. Необходимо лишь обеспечить комплекс средств, выпускаемых промышленностью серийно, предназначенных для работы в условиях орошаемого поля.

§ 9.13. Электрические водовыпускные механизмы

Электрические водовыпускные механизмы в качестве привода трубопроводной арматуры используют электрический привод. К ним относятся выпускаемая серийно общепромышленная трубопроводная арматура (задвижки, дисковые затворы, клапаны и др.), а также специальные электрические исполнительные механизмы типа МЭО, выпускаемые для преимущественного применения в системах автоматического регулирования в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств. Из технической характеристики унифицированных электроприводов промышленной серийной арматуры следует, что их можно эксплуатировать на орошаемом поле, если частота управления ими сравнительно невелика (не превышает 3...5 циклов в сутки). Однако следует учесть целесообразность создания специальной серии арматуры для использования на системах орошения. Применение электродвигателей приводов задвижек (асинхронные трехфазные короткозамкнутые, мощностью не менее 0,4...0,6 кВт) требует системы электроснабжения и использования блоков управления электроприводами. Это ограничивает распространение электрифицированных задвижек в системах автоматического полива. Во многих случаях, однако, их применение обоснованно, а затраты на электроснабжение и автоматизацию управления ими соизмеримы с затратами при использовании других систем автоматизации полива.

Применение поворотных дисковых затворов предпочтительнее не только потому, что они конструктивно проще задвижек, отличаются минимальной строительной длиной, но и потому, что

возможно применение их в качестве привода однооборотных исполнительных механизмов типа МЭО. Однооборотные исполнительные механизмы типа МЭО относятся к промышленной серии наиболее совершенных исполнительных механизмов с электроприводом. Их характеризует высокая надежность, малая потребляемая мощность, возможность работы в стопорном режиме, практическое отсутствие ограничений по продолжительности и частоте переключений, широкая номенклатура типоразмеров при достаточной их унификации. Основные технические данные некоторых типов исполнительных механизмов приведены ниже.

Параметры	МЭО-16-82	МЭО-40-82
Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	16	40
Номинальное время одного оборота вала, с	10,25	63, 160
Тип электродвигателя	ДСР-4/60	ДСР-10/120
Мощность электродвигателя, Вт	4	10
Частота вращения вала электродвигателя, мин ⁻¹	60	120
Напряжение питания однофазного переменного тока, В	220 $\pm 0,5\%$	
Частота, Гц	50	
Наибольшая потребляемая мощность, В·А	75	
Масса, кг	Не более 8	
Средний срок службы, лет	10	

Как видно, мощность, потребляемая механизмом, мала, благодаря чему облегчается их электроснабжение и управление. Механизмы типа МЭО рассчитаны для работы при темпера-

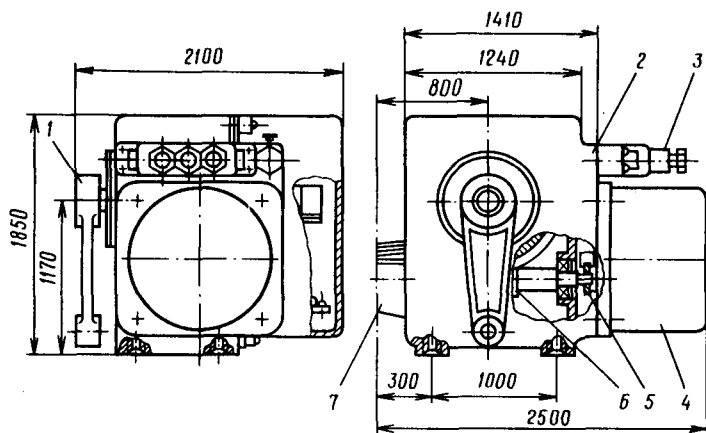


Рис. 9.22. Конструктивное исполнение механизма типов МЭО-16-82 и МЭО-40-82:

1 — рычаг; 2 — редуктор; 3 — штуцерный ввод; 4 — электродвигатель; 5 — зубчатая передача; 6 — червячная пара; 7 — ручка

турах окружающего воздуха минус $30 + 50$ °С, относительной влажности окружающего воздуха 30...95 %. Допускается вибрация частотой до 30 Гц с амплитудой до 0,2 мм, однако должны быть исключены прямые воздействия солнечной радиации и дождя.

Конструктивное исполнение механизмов типов МЭО-16-82 и МЭО-40-82 показано на рисунке 9.22. Механизм состоит из следующих составных частей: электродвигателя 4, редуктора 2, блока сигнализации положения индуктивного (БСПИ-10) или реостатного (БСПР-10) типа, ручного привода, штепсельного разъема со штуцерным вводом 3, рычага 1. Редуктор состоит из корпуса, зубчатой передачи 5, червячной пары 6. Ручное управление механизмом осуществляется с помощью ручки 7, установленной на червячном валу. Привод к блоку сигнализации осуществляется непосредственно от выходного вала. В связи с тем что механизмы типа МЭО устанавливаются на орошаемой площади и рассчитаны на напряжение 220 В, следует соблюдать соответствующие предписания техники безопасности.

§ 9.14. Программные устройства системы автоматического управления поливом

Программное устройство управления поливом в общем случае должно обеспечивать: начало функционирования системы по сигналам датчиков гидрометеопараметров и другим показателям согласно разработанному алгоритму управления; очередность и порядок работы дождевальных аппаратов и установок; выдачу на каждом цикле работы требуемой поливной нормы; отработку требуемого числа циклов; прекращение действия системы, после выдачи полной поливной нормы или по показаниям датчиков гидрометеопараметров; контроль работы системы в процессе полива; отключение системы в аварийных ситуациях и подачу в пункт управления аварийного сигнала.

Однако не все перечисленные функции выполняются всеми программными устройствами. Как будет показано, выполнение одних функций чрезвычайно усложняет устройство, выполнение других — не обеспечено соответствующим алгоритмом управления и аппаратурой.

Было установлено, что в случае применения гидроуправляемых и гидропневмоуправляемых водовыпускных механизмов трубопроводы оросительной воды используются в качестве канала связи при передаче команд управления с пункта управления (насосной станции) водовыпускным механизмам. Команды управления представляют собой периодические циклы снижения давления в сети и последующего его повышения до нормального уровня.

Технологическая схема такого программного устройства представлена на рисунке 9.23.

Циклы снижения давления и последующего его повышения

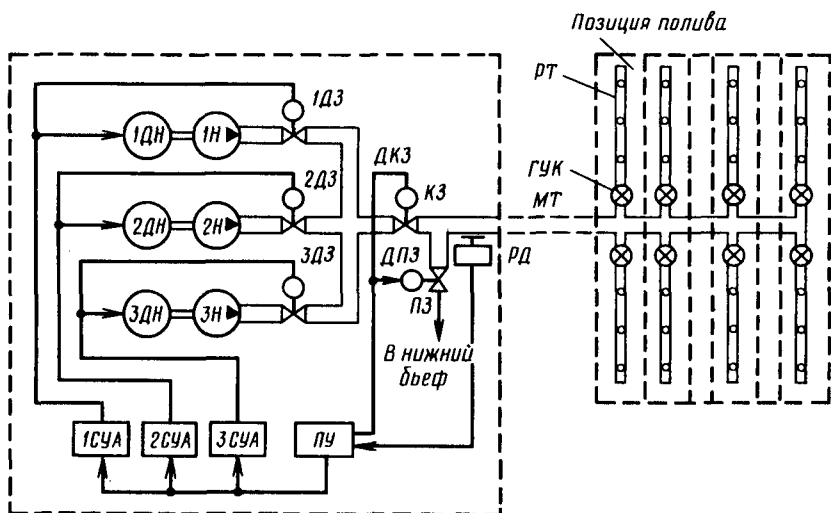


Рис. 9.23. Технологическая схема системы полива с программным управлением: ДН — двигатель насоса; Н — насос; ДЗ — двигатель агрегатной задвижки; ДКЗ — двигатель командной задвижки; КЗ — командная задвижка; ПЗ — перепускная задвижка; РД — реле давления; МТ — магистральный трубопровод; РТ — распределительный трубопровод; ГУК — гидроуправляемый клапан; ПУ — программное устройство; СУА — станция управления агрегатом; ДПЗ — двигатель перепускной задвижки

создаются при помощи двух задвижек — командной КЗ и перепускной ПЗ, установленных при насосной станции. Когда открыта командная задвижка, а перепускная закрыта, насосная станция подает воду в трубопроводную сеть. При кратковременном открытии перепускной и закрытии командной задвижек вода из трубопроводной сети сбрасывается в НБ, благодаря чему в сети постепенно снижается давление до установленного значения, при котором происходит срабатывание управляемых механизмов. Время открытого положения перепускной задвижки контролируется при помощи реле давления и времени. Последнее ограничивает время закрытого состояния командной задвижки и не допускает продолжительной работы насосов на закрытую командную задвижку, если по каким-либо причинам реле давления не выполнило своих функций. Программное устройство расположено на насосной станции в непосредственной близости от задвижек.

Передача команд управления по оросительному трубопроводу, наряду с присущим этому принципу достоинством, является одновременно слабым местом в системе, так как гидравлические удары, возникающие в моменты включения-отключения водовыпускных механизмов, зачастую приводят к ложным срабатываниям программных устройств и соответственно к расстройству выполнения программы. Одним из путей преодоления изложенного недостатка системы является прокладка специального

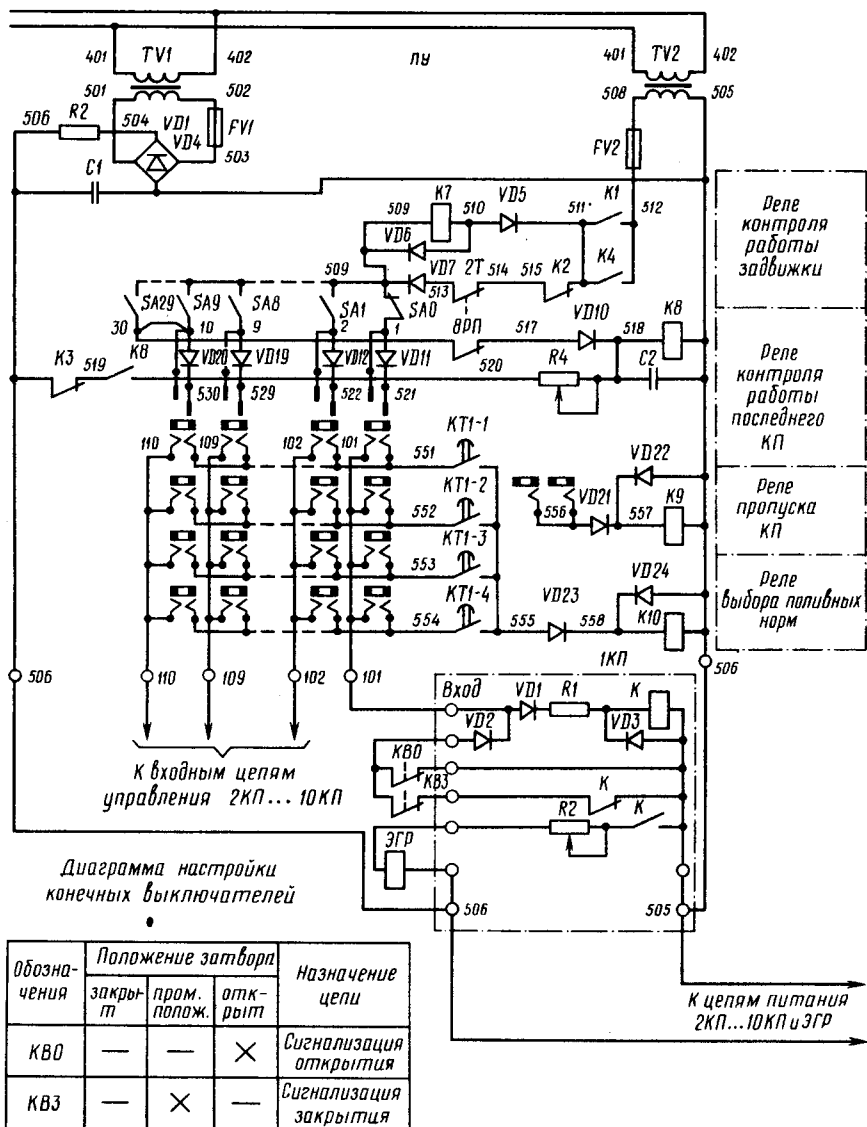


Рис. 9.24. Принципиальная электрическая схема устройства управления поливом

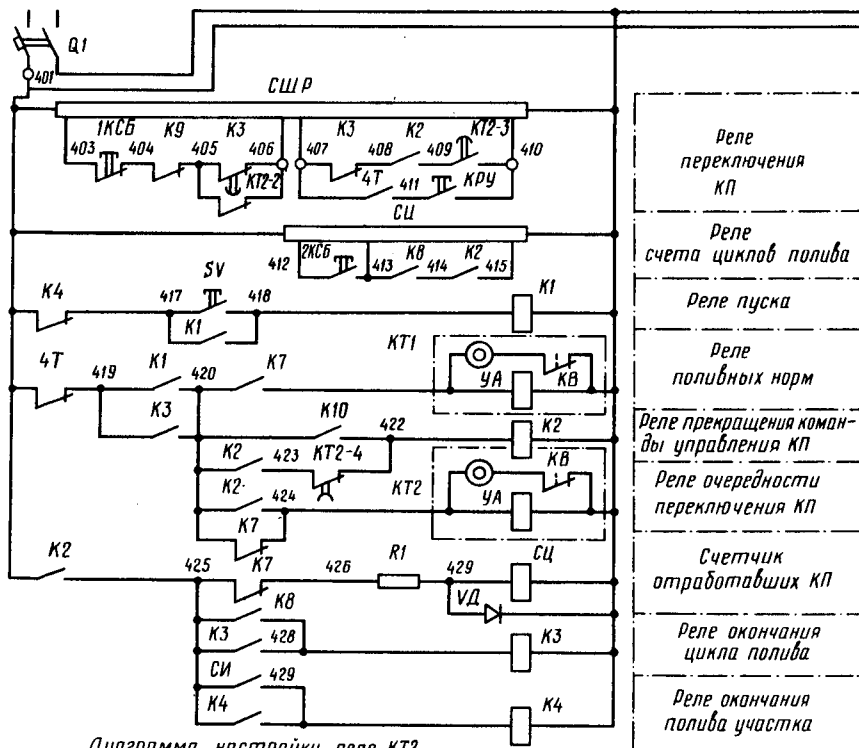


Диаграмма настройки реле КТ2

№№ контактов	Настройка срабатывания контактов	Назначение цепи
КТ2-1		Контроль закрытия задвижки
КТ2-1		блокировка сброса СШР
КТ2-3		Переход на следующую позицию
КТ2-4		Отключение реле К2
КТ2-5		Контроль открытия задвижки
КТ2-6		Резерв
—		—
—	$t_1 = t_{закр} + \Delta t$ $t_2 = t_{откр} + t_{закр} + 5\Delta t$	—

трубопровода управления, при котором действия гидравлических ударов в основном трубопроводе не сказываются на работе самостоятельного канала управления. Последний может быть выполнен полиэтиленовым, небольшого сечения.

Другое направление увеличения надежности гидроуправляемых систем — выбор сигнала управления, передаваемого по поливному трубопроводу, не реагирующего на гидравлические удары. В частности, к сигналам управления такого типа могут быть отнесены гидроакустические, над использованием которых в качестве передатчика команд управления проводятся экспериментальные работы.

Развернутая электрическая схема программного устройства дистанционного управления поливом при помощи электрогидроуправляемых задвижек приведена на рисунке 9.24. Водовыпускными электрогидравлическими механизмами управляют по командам, посылаемым автоматически с пункта управления (ПУ) на контролируемые пункты (КП), устанавливаемые у электрогидроуправляемых задвижек. Схема выполнена на электромагнитных реле применительно к 10 управляемым задвижкам. Сигналы управления задвижкой и информация о ее положении передаются по одному индивидуальному проводу между ПУ и КП, второй провод является общим для всех КП. Все электрогидравлические реле ЭГР снабжаются электроэнергией по одной двухпроводной кабельной линии. По индивидуальному проводу 101-110 на вход КП подается питание на реле К, которое своим замыкающим контактом включает катушку электромагнита ЭГР. Задвижка открывается. Когда она откроется полностью, замыкается конечный выключатель КВО, образуя цепь сигнализации этого положения. С ПУ можно управлять работой в любой заранее заданной последовательности; открывать задвижку на один из четырех возможных отрезков времени, соответствующих четырем различным поливным нормам; контролировать исполнение команд управления (открыть — закрыть); орошать при разовом или многократном циклическом режиме полива.

Полив проводят дождевальными аппаратами, установленными на одном трубопроводе, и, следовательно, во время полива открыта одна задвижка.

Очередность работы задвижек и их поливные нормы задают, устанавливая штепсельные вилки в определенные гнезда. Номер штепсельной вилки соответствует очередности подачи на него команды управления, а номер гнезда — номеру КП. На схеме показаны четыре вертикальных ряда штепсельных гнезд, соответствующих стольким же поливным нормам (четырем различным уставкам времени). Штепсельные вилки устанавливают в гнезда горизонтального ряда в порядке требуемой очередности их работы, а в гнезда вертикальных рядов — в соответствии с требуемыми поливными нормами.

Режим полива задается на реле счета циклов (СИ). Если,

например, на реле *СИ* установлена цифра 2, то каждая из задвижек будет открываться и осуществлять полив два раза. При нажатии кнопки *SV* срабатывает пусковое реле *K1* и становится на самоблокировку. Его замыкающие контакты *K1* включают двигатель основного насоса, реле времени *KT2* и реле *K* первого *КП*. Замыкающий контакт *K* подает питание на *ЭГР* первой задвижки. После полного открытия задвижки замыкается конечный выключатель *КВО* и срабатывает реле *K7* (509—510), переключаящий контакт которого отключает реле времени *KT2* и включает реле времени *KT1*.

После полива по норме, определяемой контактом *KT1* (*KT1*—4), срабатывает реле *K10*. Его замыкающий контакт включает реле *K2* (422—420), которое становится на самоблокировку. Размыкающий контакт реле *K2* отключает реле *K10* и *K* первого *КП*, а замыкающий контакт образует цепь 407—409 и включает реле *KT2*. В связи с отключением *K* и *ЭГР* первого *КП* задвижка закрывается; при ее крайнем положении размыкается конечный выключатель *КВЗ*, что приводит к потере питания реле *K7*.

Замкнутый контакт *KT2*—3 образует цепь 407—410, по которой на счетно-шаговое реле *СШР* подается входной импульс. Выходной контакт *SAO* этого реле размыкается, а *SA1* замыкается. При размыкании контакта *KT2*—4 реле *K2* обесточивается, поэтому питание поступает на *K* второго *КП*. Поскольку реле *K7* выключено, реле *KT2* продолжает работать. После полного открытия второй задвижки реле *K7* срабатывает вторично, что приводит к потере питания реле *KT2*. Аналогичным образом будет работать *ПУ* с остальными *КП* до девятого включительно. После того как замкнется выходной контакт *K8* и обесточится реле *K2*, срабатывает реле *K8* и реле *K* последнего (девятого) *КП*. Если штепсель номер 10 установлен в гнездо второго ряда, то продолжительность работы этой задвижки будет иной, поскольку по заданию последняя задвижка осуществляет полив с другой нормой, нежели девять задвижек. Так как реле *K8* включено в начале работы последнего *КП*, то после срабатывания реле *K2* его замыкающий контакт включает реле *K3*, которое становится на самоблокировку и лишает питания реле *K8*. Размыкающий контакт реле *K3* (407—410) предотвратит задачу входного импульса на реле *СШР*, а его размыкающий контакт (405—406) обеспечит сброс реле *СШР* в исходное положение (после размыкания контакта реле *KT2*—2). После того как питание потеряет *K2*, вновь образуется цепь для включения реле *K* первого *КП*, то есть начинается второй цикл работы.

Окончание второго цикла работы будет таким же, как и первого. Поскольку уставка реле счета импульсов *СИ* равна 2, то после срабатывания реле *K2* (окончена работа последнего *КП*) срабатывают реле *СИ* и *K4*. Реле *K4* становится на самоблокировку, отключает пусковое реле *K1*, что приводит к остановке программного устройства и двигателя насоса. Замыкающие кон-

такты реле *K3* в цепи 419—420 и *K4* в цепи 511—512 предназначены для поддержания питания реле *KT2* и *K2*, а также для сохранения цепи контроля за закрытием последней задвижки. Когда по техническим соображениям необходимо исключить из работы одну или несколько задвижек, штепсель в гнезда соответствующих *KП* не устанавливаются. Однако для пропуска данного *KП* его штепсель должен быть установлен в одно из гнезд пропуска, которые соединены с реле *K9*. При срабатывании реле *K9* его размыкающий контакт разрывает цепь 404—405, в результате чего щетка коммутатора начинает вращаться и пропускает тот *KП*, в гнезде которого нет штепселя. Если реле *K9* теряет питание, щетка коммутатора останавливается.

В рассмотренном программном устройстве использованы электромагнитные промежуточные реле (220 В переменного тока), *СШР* — счетно-шаговое реле (типа Е—526), *СИ* — реле счета импульсов (типа РСИ-1), *КТ1* и *КТ2* — реле времени программное (типов ВС-10-66 и ВС-10-62 соответственно).

Нетрудно видеть, что такого типа программные устройства дистанционного управления могут осуществляться на любой другой аппаратуре — бесконтактной, а также с применением микропроцессорной техники.

Для систем большой протяженности и обслуживаемых большой площади целесообразно применять телемеханическую систему.

§ 9.15. Гравитационная гидроавтоматика. Система «Гамма»

На базе элементов гравитационной гидроавтоматики построена комплексная система управления водораспределением и поливом «Гамма».

В системах гравитационной гидроавтоматики используют логические элементы, таймеры и элементы, обеспечивающие защиту устройств управления от загрязнения. В основе рассматриваемых устройств гидроавтоматики лежит использование логических гравитационных элементов, передающих и обрабатывающих гидравлические сигналы на базе Булевой алгебры (см. § 3.3).

В качестве информационных сигналов принимают наличие или отсутствие протока жидкости в специально создаваемых каналах связи.

Для реализации этого метода управления создан стандартный базовый набор гидравлических логических элементов, включая элемент «память», обеспечивающий запоминание гидравлических сигналов. Для приведения в действие элементов логики используется сила тяжести воды, протекающей по каналам связи, вследствие чего логические элементы получили наименование гравитационных. Эти элементы просты по конструк-

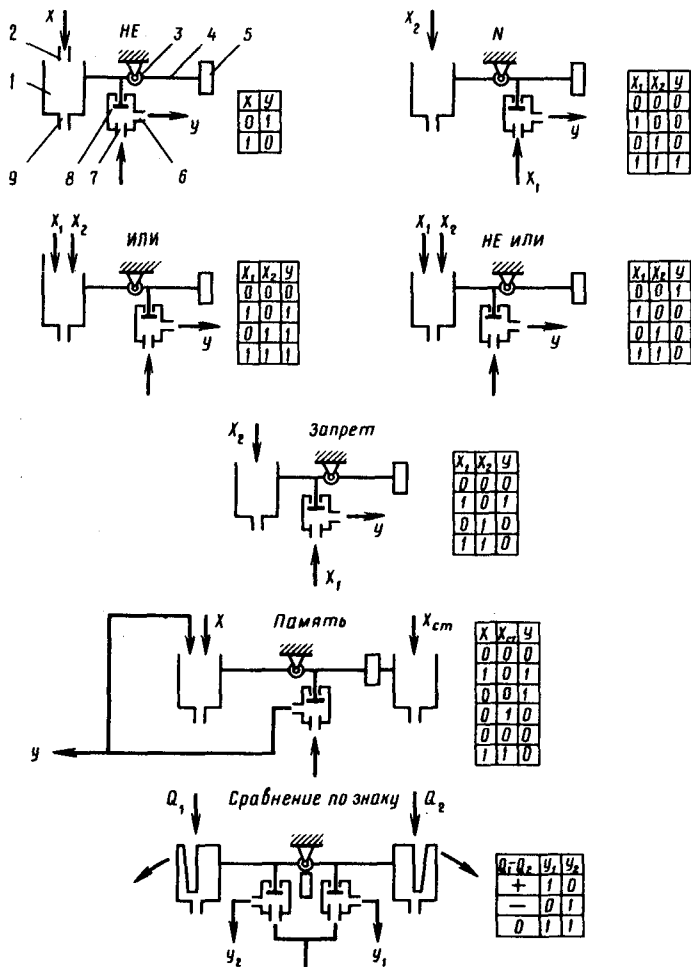


Рис. 9.25. Гидравлические логические элементы

ции. Схема наиболее часто используемых элементов приведена на рисунке 9.25.

Основной частью элемента, выполняющего логическую операцию НЕ, является двухплечная гравитационная передача с грузом 5 на одном ее конце и сосудом 1 на другом. В сосуде имеется сливное отверстие 9. Входным элементом устройства служит трубка 2, выходным — трубка 6, к которой вода подводится по трубе питания 7. Масса незаполненного сосуда меньше массы груза, а масса заполненного сосуда больше массы груза. С рычагом 4 гравитационной передачи, шарнирно укрепленным на опоре 3, связан клапан 8. При включении подачи воды с напором, кото-

рый может не превышать нескольких миллиметров, сосуд заполняется, закрывается клапан, и вода из трубки 7 в трубку 6 не протекает. При прекращении подачи воды по трубке 2 вода вытекает из сосуда 1 через отверстие 9 и клапан 8 открывается. Связь между значениями входного сигнала x и выходного сигнала y при работе описанного элемента указана в таблице, помещенной рядом с его схемой.

У элемента, реализующего логическую функцию ИЛИ, имеется два выходных канала, по одному из которых передается сигнал x_1 , по другому x_2 . У этого элемента иначе, чем у ранее рассмотренного, расположен относительно опоры клапан. Зависимость между входными сигналами x_1 и x_2 и выходным сигналом y , получаемая при работе элемента ИЛИ, указана на рисунке в таблице.

Схемы элементов, реализующих логические функции: запрет, И, ИЛИ, память, сравнение по знаку — представлены на рисунке 9.25. Указана там же в соответствующей таблице связь между входными и выходными сигналами при работе каждого из этих элементов.

При подаче входного сигнала x на элемент «память» открывается клапан и появляется выходной сигнал y . Последний сохраняется при снятии сигнала x благодаря тому, что в элементе имеется канал обратной связи. Если же подается сигнал $x_{ст}$ — стирание запомненного сигнала, то клапан закрывается и прекращается проток воды по выходному каналу. Последовательность этапов работы этого элемента приведена в соответствующей таблице на рисунке.

Приведена также схема сравнения по знаку непрерывно изменяющихся расходов Q_1 и Q_2 . Показанные на этом рисунке сосуды имеют боковые прорезы, и в зависимости от того, какой из них больше заполнен, создается проток жидкости на выходе y_1 или y_2 , а при равенстве расходов — в обоих выходных каналах. Некоторые из гравитационных гидравлических элементов используют вместе с мембранными клапанами.

Для обеспечения передачи информационных сигналов с большими временными паузами, измерения времени полива либо межполивного периода, а также для формирования гидравлических сигналов заданной частоты на той же элементной базе созданы таймеры, гидравлические генераторы импульсов и другие элементы. Имея небольшие габаритные размеры, таймеры и генераторы позволяют измерять паузы и генерировать гидравлические сигналы различной длительности, от нескольких секунд до десятков суток.

Гравитационная гидроавтоматика использует для своей работы потенциальную энергию воды, в которой практически всегда содержится большое количество неорганических и органических механических примесей. Несмотря на то что средства управления имеют диаметр проходных каналов не менее 4 мм, они

требуют защиты от попадания в них крупных механических примесей, содержащихся в поливной воде. Для этой цели создан набор средств очистки воды, используемой на управление. Средства очистки зависят от условий эксплуатации, ими могут быть различные устройства: с ручной периодической, периодической автоматической или непрерывно-автоматической промывкой. Эффективность их действия подтверждена в эксплуатационных условиях.

Посредством базового набора элементов гравитационной гидроавтоматики обеспечивается возможность создания большого ряда устройств управления с разнообразными программами в зависимости от требований гидромелиоративной системы и технологии и полива.

Использование потенциальной энергии поливной воды для приведения в действие средств гидроавтоматики обеспечивает возможность ее применения как на низконапорных, так и высоконапорных оросительных системах при рабочих давлениях 0,005...2 МПа.

Возможные изменения давления в сети трубопроводов на работу устройств управления не влияют.

Устройства управления автоматически включаются в работу при подаче воды в оросительную сеть. После окончания полива на орошаемом участке устройства управления автоматически приводятся в состояние готовности к работе на следующем цикле полива.

Наряду с непосредственным управлением работой автоматизированных водовыпусков и поливной техники, устройства обеспечивают дозирование поливных норм.

Устройства гравитационной гидроавтоматики позволяют управлять поливом различных систем: самонапорных; стационарных оросительных, оборудованных дождевальными аппаратами; капельного орошения. Устройства включают и отключают подачу воды в зависимости от гидрометеопараметров, проводят дискретный поверхностный полив.

Средствами гидроавтоматики создают большие (от сотен до нескольких десятков тысяч Ньютонов) перестановочные усилия на гидроприводах при наличии источника энергии в виде перепада уровней воды или напора начиная от 0,3 м.

Устройства гидроавтоматического управления водораспределением — система «Гамма». Особую сложность при автоматизации управления поливом с использованием традиционных средств гидроавтоматики представляют самонапорные оросительные системы, в которых в верхней части трубопроводов давление не превышает 0,01...0,02 МПа, а в нижней достигает 0,5...0,6 МПа, то есть изменяется в 50...60 раз. Устройства управления, разработанные на базе средств гравитационной гидроавтоматики, обеспечивают возможность полной автоматизации управления работой полива и поливной техники во всем диапазо-

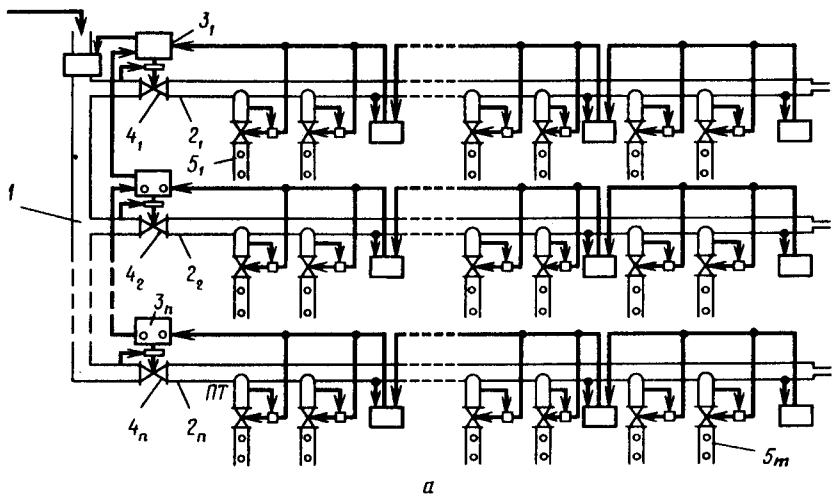
не изменения давления. Устройства управления состоят из блоков управления и информационных каналов связи. Каждый блок управления обеспечивает управление работой одного или нескольких исполнительных органов, включаемых одновременно. Между блоками управления вдоль основного трубопровода прокладываются информационные каналы связи, которыми могут служить трубки и шланги диаметром 6...8 мм.

В голове распределительного трубопровода устанавливаются гидрозадвижки со своим головным блоком управления, каждый из которых включает в работу один или группу одновременно работающих распределительных трубопроводов, связанных между собой информационным каналом связи. Система водораспределения на самонапорной оросительной сети работает следующим образом. По сигналу диспетчера либо системы автоматики первый головной блок управления включает в работу один распределительный трубопровод или группу распределительных трубопроводов. При поступлении воды в распределительные трубопроводы включаются в работу устройства управления, установленные на этой группе распределителей. Полив начинается с конца распределительного трубопровода. По окончании полива на конечных участках орошения включаются в работу исполнительные органы на предыдущих участках орошения — и так далее до окончания полива по всей длине распределительного трубопровода. По окончании полива на этой группе распределительных трубопроводов формируется команда на включение следующей группы распределителей — и так до окончания полива на всем массиве, после чего может быть выдан сигнал на отключение головного водозабора или насосной станции. В процессе работы блоки управления исполнительными органами обеспечивают дозирование подачи поливной нормы независимо от возможных изменений давления в трубопроводе. Возможно задание продолжительности полива по времени. Время полива регулируют при помощи установленных в каждом блоке управления таймеров — в диапазоне от 3 до 72 ч. При необходимости каждый блок управления может быть дополнен специальным устройством, обеспечивающим включение (выключение) исполнительных органов с периодом 0,1...0,7 ч. При этом осуществляется полив способом дискретной струи.

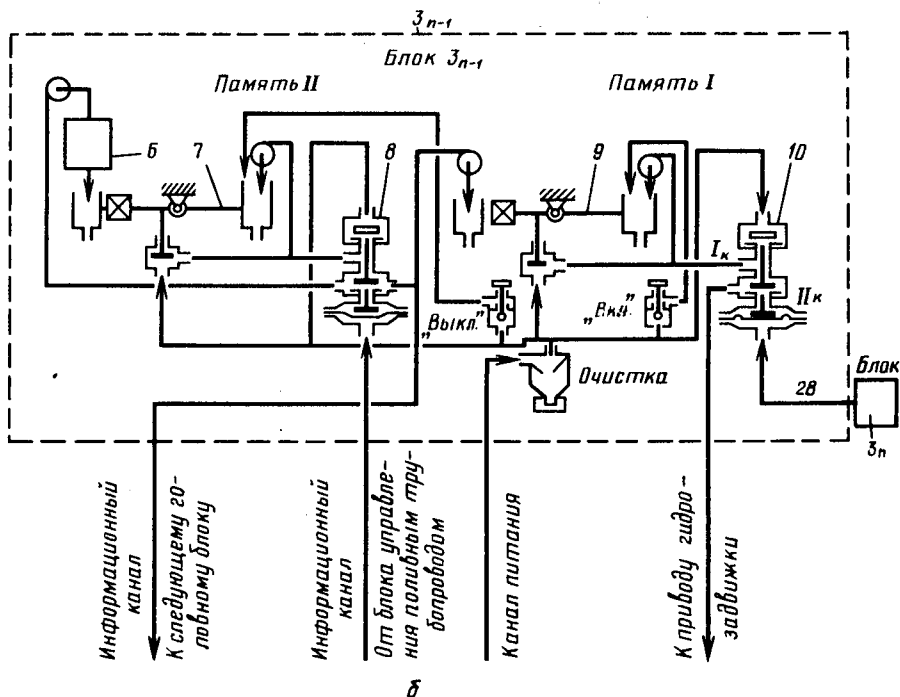
По окончании работы система автоматически возвращается в исходное состояние.

Совместно с устройствами управления используются исполнительные органы с гидроприводом. Для самонапорных систем разработан ряд типоразмеров $D_y = 50, 100, 150, 250$ мм гидрантов-водовыпусков и гидрозадвижек, работоспособных при управляющем давлении от 0,01 до 0,6 МПа. Арматура выполнена для работы как в двухпозиционном режиме, так и для использования ее в качестве регуляторов расхода воды.

Отличительная особенность этой арматуры — отсутствие в



а



б

Рис. 9.26. Система «Гамма» на закрытой оросительной сети поверхностного полива:

1 — трубопровод; 2₁...2_n — распределительные трубопроводы; 3₁...3_n — головные блоки управления; 4₁...4_n — гидрозадвижки; 5₁...5_m — поливные трубопроводы; 6 — элемент задержки сигналов; 7, 9 — гравитационные гидравлические элементы «память»; 8, 10 — переключатели

конструкциях сальников, а также других трущихся нагруженных деталей.

«Гамма» — универсальная система, обеспечивающая автоматическое управление водораспределением и поливом в различных типах оросительных и осушительных систем. Она в равной мере предназначена для управления поверхностным поливом, стационарным дождеванием, капельным и подпочвенным орошением.

В качестве примера на рисунке 9.26 показана закрытая оросительная система с поверхностным способом полива. После выдачи на каждом поливном участке заданной нормы система переключает воду на полив следующего участка и так далее, пока не будет полит весь массив. Полив заканчивается автоматически закрытием гидрозадвижки 4_1 распределительного трубопровода 2_1 .

При автоматическом управлении всей оросительной системой головные блоки распределительных трубопроводов соединены между собой так, как это показано на примере блоков 3_n и 3_{n-1} . В блоке 3_n канал, по которому передается информационный сигнал к блоку 3_{n-1} (канал 28), соединен со вторым рабочим каналом двухпозиционного переключателя 10. Включение в работу блока 3_{n-1} происходит при создании давления в канале 28. При этом переключатель 10 сообщает свой канал питания со своим же первым каналом и с входным каналом первого элемента «память» этого блока. При наполнении сосуда элемента «память» на его выходе появляется сигнал, по которому запоминается состояние элемента.

После того как снимается давление в канале 28, переключатель 10 закрывает свой канал питания и соединяет второй канал (IIк) первого элемента «память» с приводом соответствующей гидрозадвижки, которая открывается. Начинается полив на новом участке. В дальнейшем этот блок работает точно так же, как и предыдущий. Ручное включение и выключение блока, если оно оказывается необходимым, осуществляют кнопочным выключателем «Выкл.» и «Вкл.». Указанный выше процесс повторяется до окончания полива на всех участках оросительной сети. После окончания полива от первого головного блока во входной гидравлический канал устройства подачи воды в оросительную систему передается сигнал, по которому размыкается электрическая цепь в реле, блокирующем пусковые кнопки устройств (в частности, насосов), и оросительная система выключается из работы.

§ 9.16. Автоматизация полива полустационарными дождевальными системами

Степень автоматизации полустационарных дождевальных систем в большой степени зависит от типа применяемой дождевальной техники. Параметры дождевальных машин, степень ав-

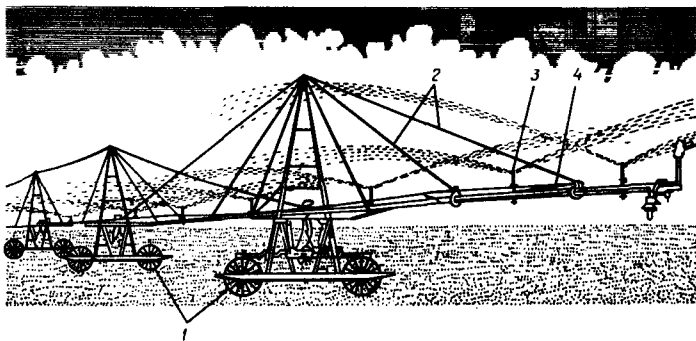


Рис. 9.27. Дождевальная машина «Фрегат»:
 1 — тележки; 2 — стяжки; 3 — дождевальные насадки; 4 — водопроводящий трубопровод

томатизации, режим их работы определяют технологию подачи к ним воды из оросительной системы и автоматизацию дождевальной системы в целом.

В стране используют различные типы дождевальных машин, однако непрерывно увеличивается доля высокопроизводительных широкозахватных дождевальных машин. Применительно к таким машинам, рассчитанным на орошение больших площадей, рассмотрим принцип и устройство автоматизации дождевальных систем с машинами «Фрегат» и «Кубань».

Дождевальная машина «Фрегат» (рис. 9.27) — одна из наиболее распространенных в нашей стране широкозахватных дождевальных машин.

Полив происходит в движении по кругу около неподвижного центра, которым служит гидрант закрытой трубопроводной сети. В сущности, эта машина представляет собой водопроводящий трубопровод, установленный на самоходные тележки, которые расположены через 25...30 м. При максимальной длине трубопровода 454,5 м он опирается на 16 тележек. Машина приводится в движение гидроприводами, установленными по одному на тележку, которые используют энергию оросительной воды. При отсутствии подачи воды машина не передвигается, что создает определенное неудобство в эксплуатации. Схема действия гидропривода показана на рисунке 9.28. Вода из поливного трубопровода по стояку 1 и армированному резиновому шлангу 2 поступает в дроссельный клапан 3, а из него — в распределительный клапан 13. Далее по пустотелому штоку 14 она попадает в верхнюю полость цилиндра 15. Поскольку шток 14 крепится к раме опоры, а сам цилиндр находится в свободном положении, то он под действием давления воды начинает подниматься (по стрелке А). Движение цилиндра через тягу 16 передается рычагу 17, который поворачивается, заставляя перемещаться по

горизонталь тяги 9, а те своими упорами вращают колеса 10 тележки. Цилиндр поднимается до тех пор, пока зацеп распределителя 7 не войдет в зацепление с тягой 16 и под действием пружины не перебросит рычаг 11, который опустит распределительный клапан 13 и перекроет подачу воды в гидроцилиндр, а сливное отверстие 12 — откроет. Усилием возвратной пружины 8 гидроцилиндр опускается, а находящаяся в нем вода через шток идет на слив. При этом толкающие тяги 9 переместятся назад и займут первоначальное положение, войдя в зацепление со следующим почвозацепом колеса (на рисунке не показан). Опустившись до конца, тяга 16 гидроцилиндра переведет рычаг 11 в первоначальное положение, а он поднимет распределительный клапан 13. Система приходит в исходное состояние, и далее процесс повторяется. Система автоматической синхронизации движения устанавливает различную скорость перемещения тележек, чтобы трубопровод не изгибался в горизонтальной плоскости. Эта скорость должна увеличиваться по мере удаления тележек от неподвижного центра пропорционально радиусу круга, по которому передвигается данная тележка. В рассматриваемую систему входит дроссельный клапан 3 с приводом. Если одна из тележек отстает, то трубопровод изгибается и тянет за собой тяги 6, которые прикрепляют к трубопроводу с обеих сторон тележек. Тяги заставляют перемещаться стержень 5, который своим скопом давит на ролик нажимного рычага, а рычаг — на стержень 4 клапана. Опускаясь при этом, стержень клапана увеличивает проходное сечение. Время на заполнение

цилиндра водой уменьшается, следовательно, повышается скорость движения, пока тележка не станет в линию с другими. После этого изгиб трубы постепенно ликвидируется, и в обратной последовательности уменьшается подача воды в гидроцилиндр.

Таким образом, система автоматической синхронизации движения, регулируя при помощи проволочных тяг и кинематической связи пропускную способность дроссельного клапана, обеспечивает каждой тележке требуемую скорость. Регулирование скорости движения предусматривает ручную ее установку перед началом работы посредством крана-регулятора, расположенного на пос-

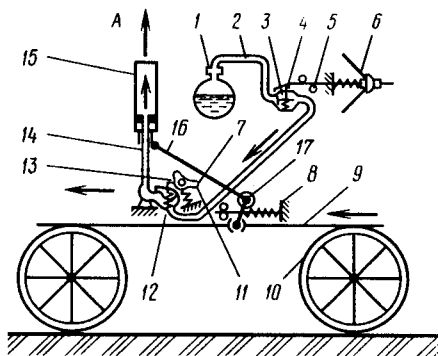


Рис. 9.28. Схема работы гидроривода тележки дождевальной машины «Фрегат»:

1 — стояк; 2 — резиновый шланг; 3 — дроссельный клапан; 4, 5 — стержни; 6, 9, 16 — тяги; 7 — зацеп распределителя; 8 — возвратная пружина; 10 — колеса; 11, 17 — рычаги; 12 — сливное отверстие; 13 — распределительный клапан; 14 — шток; 15 — цилиндр

ледней тележке, а скорость движения остальных тележек автоматически подстраивается описанным выше способом (при помощи системы автоматической синхронизации).

Таким образом, после включения машины в работу она движется по кругу с заданной скоростью автоматически без участия человека. Время полного оборота машины устанавливается от 50 до 250 ч. Соответственно меняется норма полива (240...1200 м³/га). За поливной сезон, в зависимости от модификации машины по длине, поливают площадь от 30 до 73 га. Системы аварийной защиты — механическая, гидравлическая или электрическая — предназначены для остановки машины и прекращения подачи воды, если произойдет недопустимый изгиб трубопровода машины.

Система механической защиты состоит из шарового клапана, расположенного на последней тележке, и проволочной тяги, проходящей по роликам вдоль всей машины. Один конец проволоки закреплен на фланце поворотного колена неподвижной опоры, другой — через стяжную гайку и пружину связан с тягой шарового клапана. При изгибе трубопровода проволока натягивается и поворачивает шаровой клапан. Его проходное сечение уменьшается, и в гидропривод последней тележки поступает меньше воды. Если сечение клапана окажется полностью перекрыто, то последняя тележка останавливается, а вслед за ней — через систему автоматической синхронизации — и вся машина.

Система гидравлической защиты (гидрозащиты) машины «Фрегат» приведена на рисунке 9.29. Принцип действия исполнительных клапанов и гидрореле показан на рисунке 9.29, а, б и в, а расположение всех элементов защиты на машине — на рисунке 9.29, г. Гидрозащита действует следующим образом. При нормальном движении машины приводы исполнительных клапанов 11 находятся в вертикальном положении, слив из них закрыт, и вода, отбираемая из трубопровода машины 7 у последней тележки, через фильтр защиты 9, обратный клапан 10 и исполнительные клапаны 11 поступает под давлением в полость мембранного привода гидрореле 4, поддерживая его во включенном состоянии. Управляющая вода через фильтр питания гидропривода задвижки 2, вентиля 3 и клапанную систему гидрореле 4 поступает в нижнюю полость гидропривода задвижки 5, поддерживая ее в открытом состоянии. При аварии машины привод одного (или нескольких) из исполнительных клапанов отклоняется от вертикального положения, он открывается, вода из него сливается, и давление на мембрану привода гидрореле падает. Гидро-реле переключается. Теперь управляющая вода через фильтр, вентиль и гидрореле поступает в верхнюю полость гидропривода задвижки 5 и закрывает ее, и машина останавливается. Обратный клапан 10 служит для запоминания включенного состояния машины при ее ручной остановке или выключения насосной станции. Он отключает полость мембраны гидрореле и испол-

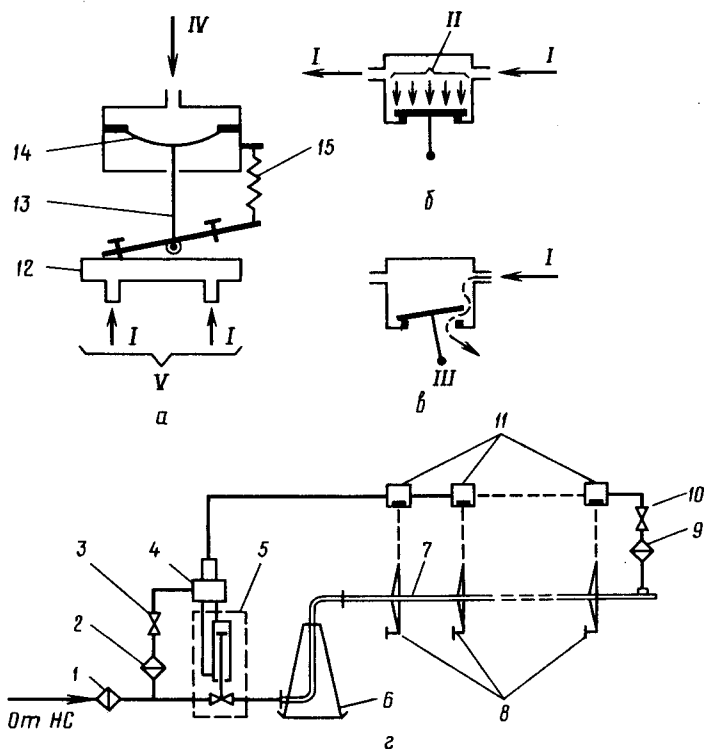


Рис. 9.29. Гидрозащита ДМ «Фрегат»:

a — гидрореле; *б, в* — исполнительный клапан в рабочем и аварийном состояниях; *г* — расположение защиты на машине; 1, 9 — фильтры машины и защиты; 2 — фильтр питания гидропривода задвижки; 3 — вентиль; 4 — гидрореле; 5 — задвижка; 6 — неподвижная опора; 7 — водопроводящий трубопровод; 8 — тележки; 10, 11 — обратный и исполнительный клапаны; 12 — клапанная система; 13 — шток; 14 — мембрана; 15 — возвратная пружина; I — вода; II — давление воды; III — привод от тележки машины; IV — управляющая вода; V — к гидроприводу задвижки

нительные клапаны от трубопровода машины. Описанная гидрозащита не требует посторонних источников энергии, достаточно надежна в работе и находит преимущественное применение. Однако для некоторых модификаций машины «Фрегат», в частности модификации для полива животноводческими стоками «Фрегат» ДМУ-Асс, применение гидрозащиты неэффективно вследствие засорения исполнительных клапанов. В этом и подобных случаях применяют электрическую защиту.

Для дождевальной машины «Фрегат» ДМУ-Асс разработано устройство электрозащиты ЭЗСБ-1, которое отличается высокой надежностью.

Система электрической защиты снабжена ртутными выключателями, установленными на специальных маятниках каждого механизма привода регулирующих клапанов тележек. При опреде-

ленном положении привода регулирующих клапанов маятники поворачиваются и опрокидывают ртутные выключатели, электрическая цепь системы аварийной защиты, в которой они последовательно включены, размыкается, и подача воды в машину прекращается.

Как показал опыт, ртутные выключатели в процессе эксплуатации могут менять свое сопротивление, нарушая тем самым работу защиты в целом, поэтому схема снабжена устройством для поддержания низкого переходного сопротивления цепи ртутных выключателей.

Принципиальная электрическая схема устройства ЭЗСБ-1 приведена на рисунке 9.30. ЭЗСБ-1 состоит из солнечной батареи, платы аккумуляторов, электронного блока и электрогидрореле.

При отсутствии опасных деформаций трубопровода машины цепь ртутных выключателей замкнута (сопротивление ее не должно превышать 500 Ом), электронный блок находится в «режиме ожидания», электрогидрореле — в рабочем положении (включено), чем обеспечивается открытое состояние дискового затвора. Машина «Фрегат» находится в движении. При этом в цепь ртутных выключателей подаются импульсы напряжения, поддерживающие ее сопротивление на низком уровне.

При возникновении опасных деформаций трубопровода машины цепь ртутных выключателей разомкнется (сопротивление разомкнутой цепи должно быть не менее 21 кОм). В этом случае в электронном блоке формируется кратковременный сигнал на выключение электрогидрореле, который, воздействуя на затвор, закрывает его и машина останавливается. Одновременно отключается устройство поддержания низкого переходного сопротивления цепи ртутных выключателей, и импульсы напряжения перестают подаваться в эту цепь.

При восстановлении синхронности хода тележек машины цепь ртутных выключателей замыкается, в электронном блоке формируется импульс на перевод электрогидрореле во включенное положение, что приводит к открытию дискового затвора и пуску машины. При этом включается устройство поддержания низкого переходного сопротивления цепи ртутных выключателей, и в нее начинают подаваться импульсы напряжения.

В качестве автономного источника питания защиты используют солнечную батарею *GB*, работающую в буферном режиме с батарей герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов *G1...G23*. В течение светового дня солнечная батарея заряжает аккумуляторную батарею и питает электрозащиту при работе ее в ждущем режиме. Аккумуляторная батарея покрывает пики электропотребления при срабатывании защиты, а также питает ее в темное время суток. Разделительный диод *VD24* предохраняет аккумуляторную батарею *G1...G23* от разряда на солнечную батарею в темное время суток.

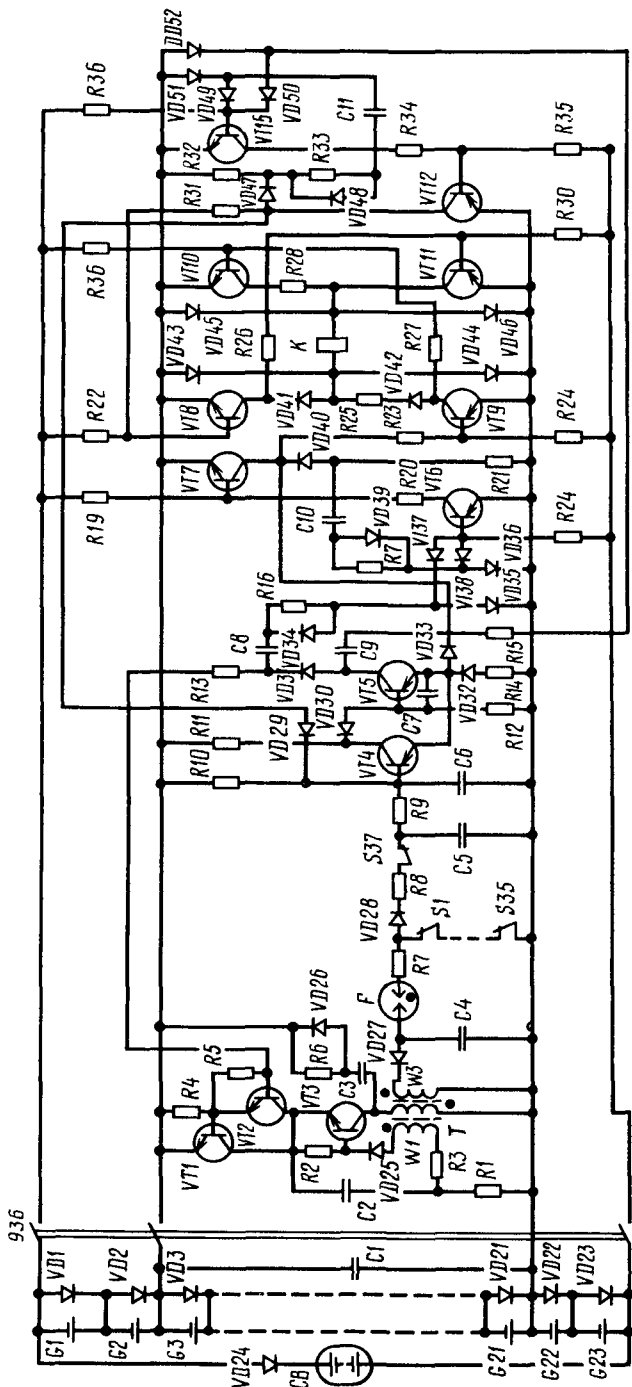


Рис. 9.30. Принципиальная развернутая схема электрической защиты типа ЭЗСБ-1 дождевальной машины «Фрегат»

Для защиты аккумуляторов от переплюсовки, которая может возникнуть в случае глубокого разряда отдельных последовательно включенных аккумуляторов $G1...G23$, каждый из них шунтирован обратно включенным диодом $VD1...VD23$, которые фиксируют напряжение переплюсовки на уровне $0,4...0,5 В$, что в три раза ниже напряжения разложения электролита, и поэтому на электродах разряженного элемента не происходит активного газовыделения. Кроме того, диоды $VD1...VD23$ позволяют сохранить работоспособность аккумуляторной батареи в целом при выходе из строя какого-либо аккумулятора, так как в этом случае ток разряда протекает через шунтирующий диод разряженного элемента.

Все эти меры позволили создать высоконадежный автономный источник электроэнергии для питания электрической схемы защиты, практически не требующей обслуживания в течение поливного сезона.

Для управления дисковым затвором в устройстве ЭЗСБ-1 в качестве реверсивного гидравлического переключателя используют электрогидрореле K типа КЭГ-И, которое при включении соединяет привод затвора с напорным трубопроводом и затвор открывается, а при выключении — со сливным патрубком и затвор закрывается. Время переключения этого гидрореле не превышает 1 с, поэтому, несмотря на то что при включении реле потребляет ток около 260 мА, потребление электроэнергии защитой невелико, что позволило использовать для питания солнечную батарею «Фрегат» мощностью 1 Вт и аккумуляторную батарею емкостью всего лишь $0,9 А \cdot ч$.

Электронный блок предназначен для формирования импульсов переключения электрогидрореле, а также для формирования импульсов пробоя цепи ртутных выключателей с целью поддержания низкого переходного сопротивления ее. Электронный блок содержит следующие функциональные элементы:

фильтр $R8, C5, R9, C6$ для защиты от наводок, создаваемых грозой, а также для защиты от случайных кратковременных размыканий цепи ртутных выключателей;

триггер Шмитта на транзисторах $VT4, VT5$, определяющий состояние цепи ртутных выключателей (замкнута — разомкнута);

формирователь длительности импульса включения электрогидрореле K на транзисторах $VT12, VT13$ и элементах $C11, R33$ с усилителем мощности на транзисторах $VT8, VT11$;

формирователь длительности импульса выключения электрогидрореле K на транзисторах $VT6, VT7$, элементах $C10, R17$ с усилителем мощности на транзисторах $VT9, VT10$;

цепи возврата в аккумулятор энергии, накопленной в индуктивности K (диоды $VD43...VD46$);

цепи взаимной блокировки $VD29$ и $VD33$, препятствующие одновременному формированию сигналов включения и выключе-

ния K при случайной кратковременной коммутации цепи ртутных выключателей;

устройство поддержания низкого переходного сопротивления цепи замкнутых ртутных выключателей, состоящее из электронного ключа на транзисторах $VT1$, $VT2$, генератора импульсов на транзисторе $VT3$ с трансформатором T , накопительного конденсатора $C4$ и разрядника F .

Для проверки работоспособности устройства электрозащиты ЭЗСБ-1 служит тумблер 37 , размыкание которого имитирует размыкание цепи ртутных выключателей.

Как указывалось, электрозащита ЭЗСБ-1 управляет дроссельным затвором с гидроприводом, подающим воду в машину. Гидропривод поршневой с горизонтальным расположением гидроцилиндра. Техническая характеристика дископоворотного затвора с гидроприводом приведена ниже.

Обозначение	ДПГЛ-200-1,0
Рабочая среда	Поливная вода
Температура рабочей среды, °С	1...45
Рабочее давление, мПа	0,3...1
Условный проход, мм	200
Габаритные размеры, мм:	
длина	735
ширина	305
высота	450
Масса затвора с гидроприводом, кг	61,7

Управление приводом может быть: ручное с использованием четырехходового крана; электрогидравлическое с использованием электрогидрореле типа КЭГ с ручным дублером; гидравлическое с использованием гидрореле с ручным дублером.

В начале открытия и в конце закрытия поворот диска затвора замедляется, что предотвращает гидроудары.

§ 9.17. Автономная полустационарная дождевальная система с машинами «Фрегат»

Для орошения больших массивов с применением дождевальных машин всю обслуживаемую площадь делят на участки, на каждом из которых сооружают свою автономную полустационарную дождевальную систему (АПДС). Автономной ее называют потому, что она является законченной технической системой со своим режимом работы и эксплуатации.

Оросительная система служит источником водоснабжения многих идентичных АПДС. Две схемы одной АПДС с поливом машинами «Фрегат» приведены на рисунке 9.31. Схему a , получившую широкое распространение, применяют при сооружении высконапорной трубопроводной сети. В данном случае сооружают одну насосную станцию, забирающую из оросительной сети воду и подающую ее к дождевальным машинам, создавая при

этом напор, который расходуется на обеспечение нормальной работы установки «Фрегат», преодоление разности геодезических высот и на компенсацию потерь в сети при наиболее неблагоприятном с точки зрения потерь сочетании одновременно работающих машин:

$$H_1 = H_d + H_r + H_c,$$

где H_d — напор на входе дождевальной машины; H_r — геодезическая высота подъема воды; H_c — потеря напора в трубопроводах.

В схеме б, которую применяют, если нет высоконапорных труб, головная насосная станция, забирающая воду из оросительной сети, предназначена лишь для преодоления геодезической высоты подъема воды и компенсации потерь в сети $H_2 = H_r + H_c$, а напор H_d для работы машины создают при помощи дополнительной насосной установки, устанавливаемой, как показано на схеме, непосредственно у места подключения «Фрегата». Ее обычно выполняют передвижной и одновременно с дождевальной машиной перемещают с одной позиции на другую.

Осуществление схемы б связано с применением дополнительных насосных установок и созданием системы их электроснабжения.

В зависимости от принятой схемы в состав АПДС входят: насосная станция подкачки или одна насосная станция для подачи воды до дождевальных машин и группа индивидуальных для каждой дождевальной машины; подземная трубопроводная сеть с гидрантами на ней для присоединения дождевальных машин (см. рис. 9.31, а) или последовательно насосных установок и дождевальных машин (см. рис. 9.31, б); дождевальные машины, число которых определяется производительностью одной машины и числом позиций, на которых каждая машина работает; аппаратура для стабилизации напора на входе в дождевальную

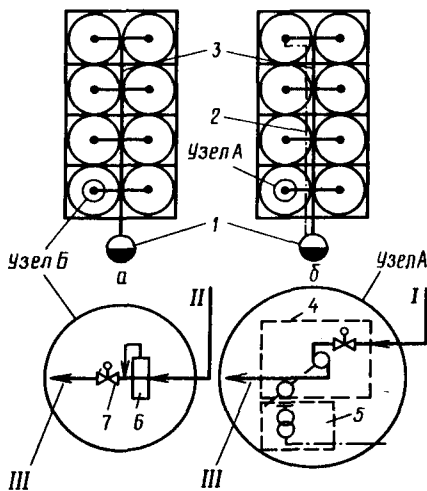


Рис. 9.31. Схемы автоматизированных полустационарных дождевальных систем с машинами «Фрегат»:

а — с одной насосной станцией подкачки; б — с одной общей насосной станцией подкачки и индивидуальными насосными установками подкачки; 1 — насосная станция; 2 — кабельная линия электроснабжения; 3 — закрытая трубопроводная сеть; 4 — индивидуальная насосная установка; 5 — понизительная трансформаторная подстанция; 6 — регулятор давления «после себя»; 7 — электрогидравлическая задвижка для присоединения «Фрегата»; I, II — низконапорный и напорный трубопроводы; III — к дождевальной машине

машину (при отсутствии стабилизации напор изменяется по длине трубопровода за счет переменных H_f и H_c). Постоянство же напора на входе в машину обеспечивает заданную норму полива и равномерность ее подачи, а также содействует более надежной работе гидропривода; система защиты, которая при возникновении аварийных состояний автоматически прекращает подачу воды; система электроснабжения.

Оптимальную орошаемую одной АПДС площадь обычно определяют технико-экономическими расчетами с учетом минимума затрат на ее сооружение и эксплуатацию. Применительно к поливу машинами «Фрегат» площадь на одну АПДС, выполненную по схеме *a*, в среднем принимают 1000 га.

§ 9.18. Стабилизация напора трубопроводной сети АПДС

Автоматическая стабилизация напора позволяет поддерживать постоянным давление на входе в дождевальную машину с целью обеспечения заданной нормы полива и равномерной ее подачи. Как упоминалось ранее, напор изменяется по длине трубопровода за счет потерь в нем, а также в зависимости от общего числа работающих дождевальных машин и мест их присоединения. В этих условиях для стабилизации напора применяют автоматические регуляторы давления «после себя».

Выпускаемые серийно регуляторы давления прямого действия не вполне отвечают предъявляемым требованиям, поэтому были разработаны специальные типы регуляторов и среди них регулятор давления РД-1 для стабилизации напора на входе в дождевальные машины «Фрегат» при их групповой работе. В сочетании с электрогидрореле он служит запорным органом при срабатывании внешней аварийной защиты машины.

Регулятор (рис. 9.32) объединяет исполнительный орган и датчик. Исполнительный орган состоит из корпуса 1, крышки 2, конической пружины 3, мембраны 11, клапана 12, тарелки 10, стяжного винта 9 с калиброванным сквозным отверстием для пропуска воды из подводящего патрубка в рабочую камеру. Основные части датчика: корпус 4, мембрана 6, конический клапан 7. Он соединен импульсной трубкой 8 с отводящим патрубком корпуса исполнительного органа и является обратной связью регулятора. На импульсной трубке установлен пробковый кран. Регулятор работает следующим образом. Вода из трубопровода сети поступает в подводящий патрубок регулятора, поднимает запорный клапан 12 исполнительного органа и попадает в отводящий патрубок и в питающий трубопровод дождевальной машины. Одновременно вода из подводящего патрубка поступает в полость над мембраной и далее через кольцевой зазор клапана 7 датчика в импульсную трубку, откуда вытекает в отводящую полость корпуса исполнительного органа. Если дав-

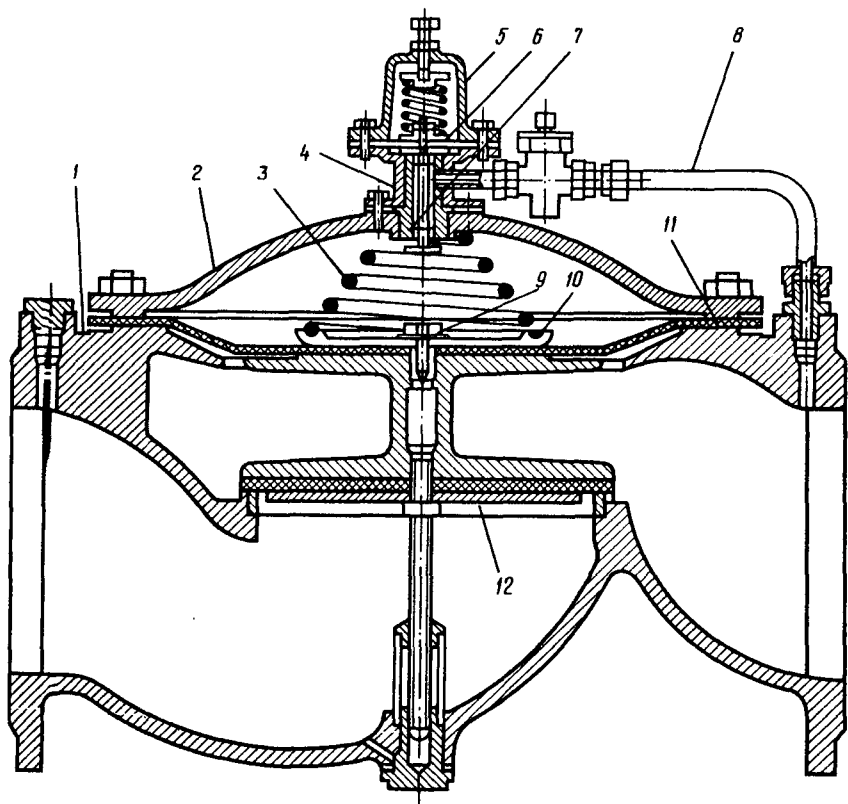


Рис. 9.32. Конструктивная схема регулятора давления РД-1:

1 — ко рпус; 2 — крышка; 3 — пружина; 4 — корпус; 5 — корпус пружины; 6 — мембрана; 7, 12 — конический и запорный клапаны; 8 — импульсная трубка; 9 — стяжной винт; 10 — тарелка; 11 — мембрана

ление за регулятором выше заданного, то под его действием пружина датчика сжимается. Мембрана вместе с клапаном перемещается вверх, и сечение кольцевой щели под клапаном уменьшается. Вследствие этого повышается давление воды в рабочей камере, и мембрана исполнительного органа опускается вместе с запорным клапаном, сужая проходное сечение. Это приводит к уменьшению расхода через регулятор и снижению давления в трубопроводе за ним. Если давление за регулятором станет меньше заданного, пружина датчика переместит мембрану с конусным клапаном вниз, проходное сечение клапана датчика увеличится, расход воды через него возрастет. Тогда давление в рабочей камере уменьшится и мембрана вместе с клапаном поднимется, увеличив проходное сечение. Это вызовет увеличение расхода через регулятор и возрастание давления в трубопрово-

воде за ним. Процесс регулирования заканчивается, когда установится заданное давление в трубопроводе за регулятором. Настраивают регулятор на требуемое давление, изменяя регулировочным винтом степень затяжки пружины датчика.

Нетрудно заметить, что если заменить установленный на импульсной трубке пробковый кран электрогидравлическим реле типа КЭГ, то в аварийных ситуациях будет перекрыта импульсная трубка, регулятор закроется и прекратит подачу воды в машину.

§ 9.19. Дождевальная машина «Кубань»

Дождевальная машина «Фрегат» хорошо зарекомендовала себя в эксплуатации. Однако она не обеспечивает полив 17 % площади, имеет высокую энергоемкость, а образуемая ходовыми колесами колея препятствует нормальной работе сельскохозяйственных машин.

Современный этап развития поливной техники характеризуется, наряду с усовершенствованием машин кругового действия, созданием машин нового поколения — широкозахватных многоопорных фронтальных дождевальных машин (МФДМ), работающих в движении с забором воды из открытого канала или от гидрантов закрытой оросительной сети. Например, электрифицированная и автоматизированная дождевальная фронтальная машина «Кубань» с забором воды из открытого канала (рис. 9.33). Применение этой машины позволило повысить сезонную нагрузку на оператора до 160 га, что выше по сравнению с нагрузкой оператора ДМ «Фрегат» в 2,5 раза. Коэффициент земельного использования на 17...21 % выше, чем при использовании ДМ «Фрегат», а энергозатраты при этом ниже более чем в 2 раза.

Одна машина может обслужить участок размером 800 × 2000 м (800 м — ширина захвата машины, 2000 м — длина канала орошаемого участка). Водозабор осуществляется из открытого облицованного канала шириной по верху 3,8 м, по дну 0,6 м, глубиной 1,1 м, с уклоном до 0,0001. Канал делит орошаемый участок вдоль на две равные части.

При уклонах более 0,0001 предусматривают передвижные перемычки или стационарные перегораживающие сооружения. На рисунке показана машина с расположением центральной тележки сбоку канала (в отличие от варианта надканального расположения центральной тележки). На раме центральной тележки расположены дизельный двигатель, насос, электрический генератор и шарнирный водозаборник поплавкового типа.

Вдоль канала в зоне прохода колес центральной тележки спланирована полоса укатанного грунта. Для задания и контроля направления движения машины вдоль канала натягивают трос. На первых ходовых тележках, колеса которых отстоят друг

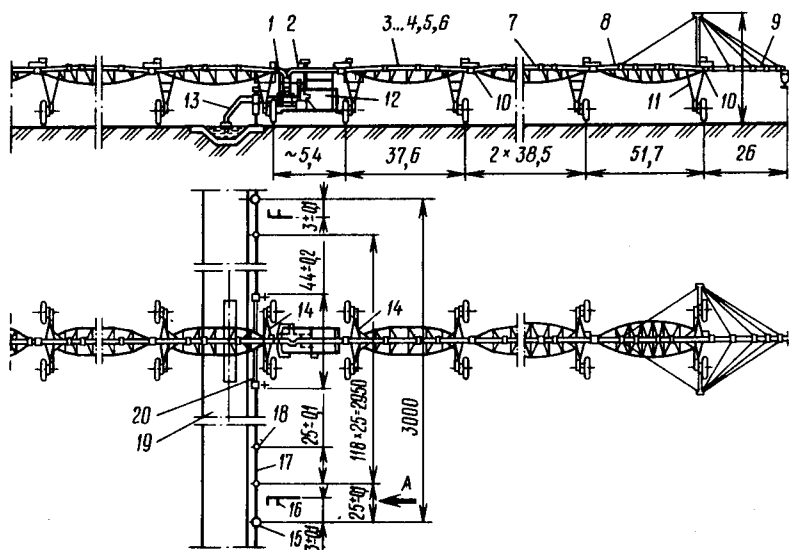


Рис. 9.33. Схема общего вида дождевальной машины «Кубань»:

1 — шарнир пролета; 2 — центральная ферма; 3...8 — фермы; 9 — консоли; 10 — система синхронизации; 11 — опорная тележка; 12 — энергетическая установка; 13 — магистраль всасывающая и байпасная; 14 — центральная тележка; 15 — тумба; 16 — упоры ограничения хода машины; 17 — система стабилизации; 18 — стойка поддерживающая; 19 — канал; 20 — трос направляющий (размеры в м)

от друга на 6 м, устанавливают топливные баки, щиты управления движением машины по курсу в линию и в зависимости от заданного режима работы.

Машина имеет 16 опорных электроприводных тележек, каждая с двумя колесами на пневматическом ходу, привод которых осуществляется от электрического мотор-редуктора посредством карданов и червячных передач. Две крайние тележки имеют меньшее передаточное число, благодаря чему движутся быстрее промежуточных. Крайними тележками задается средняя скорость движения машины и, следовательно, величина поливной нормы. По ним выравливается движение всех тележек и крыльев машины в одну общую линию. Реверсивность движения машины позволяет осуществлять различные технологические режимы, а возможность передвижения машины без одновременного полива — выборочные поливы и полив участков орошения, на которых размещено несколько культур. Машина снабжена системой автоматического управления движением и системой автоматического управления синхронизацией движения ходовых тележек в режиме работы. Система аварийной защиты машины предотвращает недопустимые смещения опор, обеспечивает автоматическую остановку машины при сходе с курса, при нарушении ре-

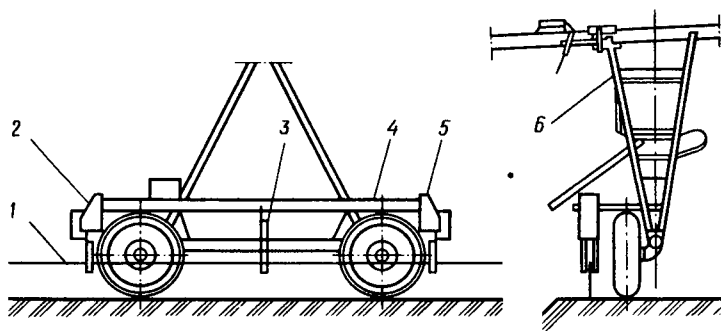


Рис. 9.34. Копирующее устройство системы стабилизации курса МФДМ «Кубань»:

1 — трос; 2, 3, 5 — вертикальные шупы; 4 — брус; 6 — опорная тележка

жимов смазки и охлаждения дизеля, при прекращении подачи воды насосом в водопроводящий трубопровод и т. д.

Система автоматической стабилизации курса. Копирующее устройство системы стабилизации курса, включающее направляющий трос 1, брус 4, установленный на центральной опорной тележке 6 с размещенными на нем тремя парами вертикальных шупов, показано на рисунке 9.34. Две пары — 2 и 5 — являются рабочими, а третья пара 3 контролирует аварийные отклонения. Одна пара рабочих шупов действует в прямом направлении, а вторая — в обратном. При отклонении машины от заданного направления движения шупы, отклоняясь, воздействуют на микропереключатель и выдают команду на коррекцию скорости крайних опорных тележек, которые задают среднюю скорость крыла машины.

Система автоматического управления синхронизацией ходовых тележек (рис. 9.35). Выбегание или отставание опорной тележки относительно соседних изменяет угол между пролетами 1 и 3 в точке шарнирного соединения 2. Поперечная тяга 11, к которой крепятся тросы, рычагом 10 поворачивает кулачок 5 датчика 4, воздействующий на рабочий микропереключатель 6, посылающий команду на щит управления для включения или отключения электропривода тележки 9. При превышении допустимого угла излома в шарнирном соединении 2, вследствие отказа этой системы или мотор-редуктора или пробуксовки колеса, кулачок 5 воздействует на микропереключатель 7 аварийной защиты, которая отключает машину. Как следует из описания, эта система защиты, так же как и система автоматической стабилизации курса, является электромеханической. Отклонения опорных тележек оцениваются по взаимному угловому положению смежных пролетов машин в точках их шарнирного соединения.

Дизельнасосный агрегат предназначен для подачи воды из канала в поливной трубопровод машины. Одновременно он

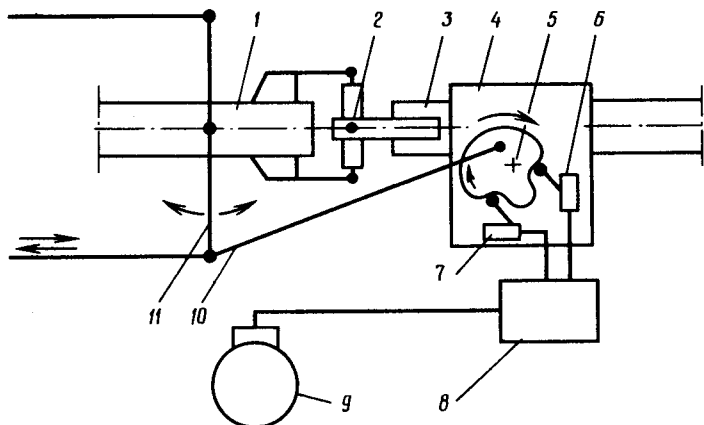


Рис. 9.35. Датчик углового смещения смежных водопроводящих пролетов системы синхронизации движения тележек МФДМ «Кубань»:

1, 3 — пролеты; 2 — шарнирное соединение; 4 — датчик; 5 — кулачок; 6, 7 — рабочий и аварийный микропереключатели; 8 — ящик электрооборудования; 9 — электропривод тележки; 10 — рычаг; 11 — поперечная тяга

через редуктор приводит в движение электрический трехфазный генератор, предназначенный для питания электроприводов тележек, приборов и устройства системы управления. Щит энергетической установки служит для управления и защиты. В нем расположены логическая часть системы автоматики, органы управления, показывающие контрольные приборы, лампы индикации и исполнительные элементы защиты.

Опорные тележки предназначены для поддержания и перемещения трубопровода по орошаемому участку. Промежуточные опорные тележки состоят из опор, мотор-редукторов, пневмоколес, карданных валов, колесных редукторов. Мотор-редуктор состоит из электродвигателя и редуктора и служит для привода в движение тележки. Электродвигатель — асинхронный, трехфазный, специальный. Редуктор — одноступенчатый, червячный, с передаточным числом 50.

В ручном управлении выбирают направление движения, задают скорость движения, пуск и остановку машины. Далее она управляется автоматически: стабилизация движения по курсу; синхронизация движения тележек в линию; остановка машины при достижении края обрабатываемого поля или заданного оператором места; аварийная остановка при недопустимых выбегах или отклонениях от курса, при отсутствии движения предпоследней тележки более 10 мин; при срабатывании любой из защит (от перегрузки при стопорении электродвигателей мотор-редукторов опорных тележек; от коротких замыканий в силовых цепях и цепях управления; от поражения электрическим током при открывании лицевых панелей шкафа управления; от пере-

напряжения в электрических цепях, вызванного атмосферными разрядами). Система автоматики энергетической установки обеспечивает автоматическую остановку двигателей и машины в следующих режимах: при снижении давления насоса; при поступлении сигнала аварии от системы управления электроприводом; от неисправностей в силовой установке.

Краткая техническая характеристика МФДМ «Кубань-М»

Расход воды, л/с	184...186
Ширина захвата дождем, м	805
Расстояние между опорами, м	52,5
Масса машины без воды и топлива, т	50
Давление в насосе, МПа	0,32...0,34
Скорость движения машины, м/мин	0,2...2
Поливная норма, м ³ /га	60...600
Мощность дизеля, кВт	158
Расход (подача), л/с	200
Мощность генератора, кВт	30
Мощность электродвигателей тележек, кВт	0,75 и 1,1
Орошаемая площадь в зависимости от зоны применения, га	140...176
Кoeffициент земельного использования	0,98
Производительность за 1 ч работы при поливной норме 600 м ³ /га, га	1
Обслуживающий персонал, чел.	1 на четыре машины
Срок эксплуатации, лет	10
Часовой расход топлива, кг:	
под нагрузкой	25,4...29,3
при холостом ходе	9,78

Машина «Кубань» по мере накопления опыта эксплуатации совершенствуется. На смену модификациям «Кубань-М1» и «Кубань-М2» разработаны «Кубань-Л» и «Кубань-Л-1». Каждая последующая модификация отличается конструктивными особенностями, составом оборудования, материалов и направлена на увеличение надежности работы, улучшение качества полива и снижение металлоемкости.

Централизованное электроснабжение машины «Кубань». Использование в качестве силового источника энергии машины «Кубань» дизельного двигателя связано со складированием и бесперебойным подвозом топливно-смазочных материалов, организацией технического обслуживания и ремонта дизеля. Кроме того, заправка машин дизельным топливом и маслами непосредственно в поле связана с некоторым риском загрязнения почвы и растений. Поэтому отказ от силового дизельного двигателя и электроснабжение машины от электрической системы — актуальная задача. Следует учесть, что «Кубань» расходует в сезон примерно 45 т дизельного топлива и 2 т смазочных масел.

«Кубань» с централизованным электроснабжением в качестве

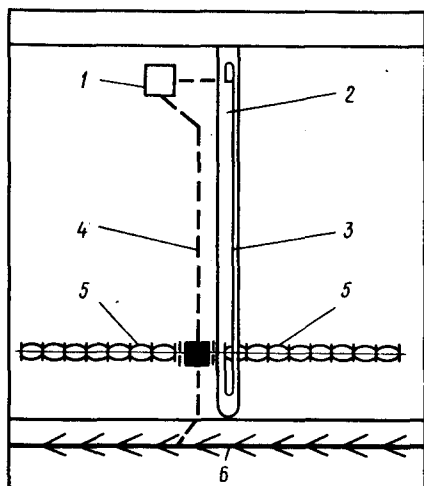


Рис. 9.36. Схема централизованного электроснабжения ДМ «Кубань-М»: 1 — трансформаторная подстанция; 2 — канал; 3 — кабель (свободно в канале); 4 — кабель в земле; 5 — ДМ «Кубань»; 6 — высоковольтная линия

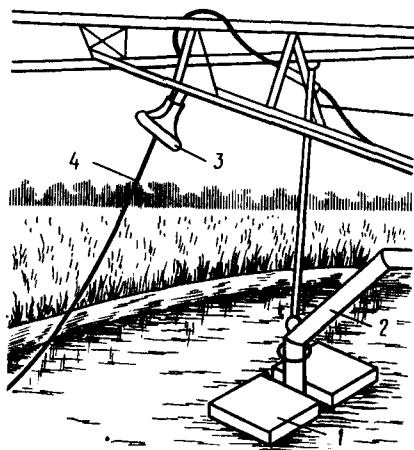


Рис. 9.37. Ввод гибкого электрокабеля в ДМ «Кубань-М»: 1 — поплавок; 2 — подающая труба; 3 — наконечник; 4 — гибкий кабель

источника энергии промышленностью не выпускается. Однако некоторые организации водного хозяйства переоборудуют машину «Кубань» на централизованное энергоснабжение. Например, в Армении «Кубань» переоборудована на электроснабжение с помощью троллейной линии переменного тока.

Представляет интерес схема централизованного электроснабжения с питанием машины в движении по гибкому кабелю (рис. 9.36). Как показано на рисунке, от линии электропередачи 6...10 кВ, проложенной по краю орошаемого поля, кабель проложен в земле до середины длины водоподводящего канала. В этом месте (за пределами полосы движения центральной пролета машины) устанавливают комплектную понижающую трансформаторную подстанцию 6-10/0,66 кВ. От нее по трубе на дно канала выводят гибкий кабель длиной, превышающей половину хода машины на 10...15 м. Свободный конец кабеля вводят в машину через специальный маятниковый раструб (рис. 9.37), подвешенный в пролете над каналом. Далее кабель ведут по трубопроводу к силовому блоку.

Взамен силового блока, состоящего из дизеля и генератора, устанавливают электродвигатель мощностью 110 кВт, водяной насос и трансформатор. Шкаф генератора переоборудован в шкаф управления двигателями насосов.

Во время работы машины гибкий кабель свободно скользит по дну канала. Уменьшение усилия на перетаскивание и предо-

хранение оболочки кабеля от стирания достигают, надев на него через каждые 3 м поплавки с таким расчетом, чтобы придать кабелю плавучесть, близкую к нулевой.

При подходе машины к краю поля кабель вытягивается на полную длину, и усилие на его перемещение максимально возрастает. Для этого случая должны быть предусмотрены меры предохранения от разрыва кабеля и опрокидывания несущей фермы машины. Предусматривают также специальные меры защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током.

Экономический эффект от использования полностью электрифицированной машины вместо машины с дизельным приводом составил 31561 р. в год. Возросла надежность работы основных агрегатов машины. Заслуживает внимание экологическая чистота переоборудованной машины. Есть основание предполагать, что после накопления эксплуатационного опыта будет выбран вариант переоборудования и промышленного выпуска полностью электрифицированной машины с централизованным электроснабжением.

Осваивается серийный выпуск многоопорных фронтальных машин типа «Кубань», работающих от закрытой оросительной сети. В этом случае мощность машины снижается до требуемой на ее передвижение и составляет 25 кВт. Очевидно, что централизованное электроснабжение такой машины будет во много раз легче.

§ 9.20. Автоматизация водораспределения из оросительной сети и водоподача при поливе дождевальными машинами «Кубань»

Степень автоматизации самой ДМ «Кубань» достаточно высока, однако при отсутствии автоматизации подачи к ним воды эффективность их применения значительно снижается. В этом случае имеет место нерациональное использование оросительной воды, сброс которой достигает 30 %. При этом предусматриваются водосбросные сооружения, стоимость которых зачастую достигает 10 % стоимости оросительной сети. Под отчуждения нередко приходится отводить площади, пригодные для выращивания сельскохозяйственных культур.

В каналах для обеспечения полива ДМ «Кубань», расход которой 170 л/с, скорость изменения водопотребления при включении-отключении машины большая, в то время как скорость изменения режима работы каналов ограничена. В этом случае для регулирования подачи расходов воды в оросительные каналы по потребности машин требуются специальные мероприятия.

Типовые решения автоматизации оросительной сети к ДМ «Кубань» отсутствуют. Рекомендована к применению известная схема стабилизации уровня НБ, обычно применяемая при авто-

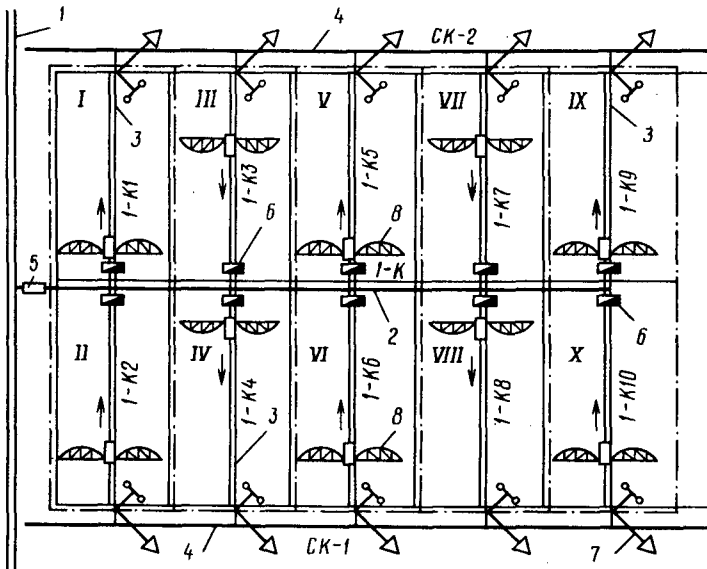


Рис. 9.38. Внутрихозяйственная оросительная сеть на десятипольном севооборотном участке при поливе дождевальными машинами «Кубань»:

1 — магистральный канал; 2 — внутрихозяйственный и распределительный канал; 3 — оросительный канал; 4 — сбросной канал; 5, 6 — регуляторы расхода и уровня; 7 — конечной сброс с пересздом; 8 — дождевальная машина «Кубань»; I...X — номера полей

матизации магистральных и межхозяйственных каналов. Однако из-за специфических особенностей данного объекта автоматизации эта рекомендация недостаточно эффективна. Поэтому были предложены схемы автоматизации оросительной сети, подающей воду к ДМ «Кубань», при групповой их работе.

Анализ предлагаемых схем показывает, что большинство из них — это комбинированные системы автоматического регулирования по возмущению и отклонению (см. § 2.1), часто с созданием специальной резервной емкости, в которой накапливаются излишки воды, используемые затем в этой же системе.

Внутрихозяйственная сеть при групповой работе дождевальных машин «Кубань» без создания дополнительных резервных емкостей показана на рисунке 9.38. Здесь основной параметр регулирования оросительной сети — уровень воды. Для безуклонного оросителя максимальный объем воды W_{\max} получают при максимальном уровне h_{\max} , определяемом водосливом, предотвращающим переполнение оросителя. Минимальный рабочий объем определяется уровнем воды h_{\min} , при котором водозаборное устройство ДМ «Кубань» допускает ее работу. Резервным

объемом оросителя является объем, заключенный между максимальным и минимальным уровнями $h_{\max} - h_{\min}$.

Воду в ороситель подают из распределительного канала РК. Учитывая транспортное запаздывание расходов и практическое отсутствие резервного объема регулирования в распределительном канале, система автоматического регулирования предусматривает максимальное использование имеющегося резервного объема оросителей. Для этого в оросителе устанавливают регулятор уровня с гистерезисной характеристикой. Необходимый резервный объем регулирования задается зоной нечувствительности регулирования $h_{\max} - h_{\min}$.

Применение подобного регулятора позволяет при включении ДМ на период добегающего измененного расхода от источника орошения использовать предварительно накопленный резервный объем в оросителе, а при отключении ДМ — аккумулировать транзитный объем воды распределительного канала. Головное водозаборное сооружение оснащают регулятором расхода с радиоприемником. Все ДМ «Кубань» оснащают радиосигнализаторами состояния (включена — отключена). Последовательность работы этой схемы следующая. При включении — отключении любой дождевальной машины радиосигнализатор передает сигнал, который принимает радиоприемник головного водозаборного сооружения и использует для формирования задания регулятору на изменение расхода. При добегании измененного расхода от источника орошения к створу соответствующего оросителя в последнем срабатывает регулятор уровня, обеспечивая подачу расхода в ороситель или, наоборот, прекращение ее.

В системе устанавливается баланс расходов

$$\pm \Delta Q = Q_{\text{вх}} - \sum_{n=1}^n Q_{\text{м}},$$

где ΔQ — небаланс расходов, возникающий вследствие возможного отклонения фактического расхода ДМ от паспортного значения, а также наличия погрешности в элементах системы; $Q_{\text{вх}}$ — расход, подаваемый в распределительный канал из источника орошения; $Q_{\text{м}}$ — расход, потребляемый машиной, n — число работающих ДМ.

Наличие небаланса расхода $\pm \Delta Q$ приводит при $+\Delta Q$ к повышению уровня воды в самом крайнем от головы распределительного канала оросителе или к снижению уровня при $-\Delta Q$.

Появляется необходимость корректировки подачи расхода в распределительный канал. При колебаниях уровня относительно отметок, контролируемых реле уровня, они срабатывают, изменяя тем самым уставку задания регулятора на величину, равную расходу одной ДМ (имитируется соответствующее включение или отключение одной дождевальной машины). Измененный расход подается за время

$$t = \Delta W_{\text{рез.изб}} / Q_{\text{м}},$$

где $\Delta W_{\text{рез.изб}}$ — часть резервной емкости оросителя, используемая для накопления при избыточном расходе $+\Delta Q$ или срабатывания при $-\Delta Q$.

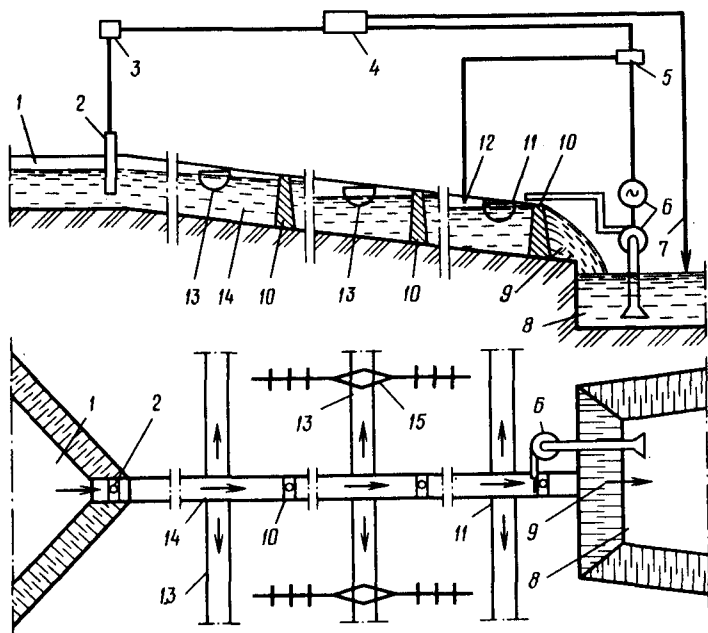


Рис. 9.39. Автоматическая система водораспределения для ДМ «Кубань» с резервной емкостью:

1 — источник орошения; 2, 3 — регулятор водопада (2 — затвор; 3 — логический блок управления); 4 — блок общесистемной обратной связи; 5 — блок управления; 6 — насосная установка; 7, 12 — датчики; 8 — резервная емкость; 9 — водосброс; 10 — стабилизатор уровня ВБ; 11 — оросители нижнего яруса; 13 — ороситель; 14 — распределительный канал; 15 — дождевальная машина

Технологическая схема этой системы автоматического регулирования приведена на рисунке 9.39.

В этой системе вода забирается из источника орошения 1 в распределительный канал 14, из которого она подается в оросители 11 и 13. В конце распределительного канала сооружают резервную емкость с автоматизированной насосной установкой, а в голове устанавливают регулятор водопада 2, 3. Уровни воды в оросителях дождевальных машин, необходимые для нормальной работы, поддерживают стабилизаторами 10 уровня ВБ, а излишки воды накапливают в резервной емкости 8. В установившемся режиме водозабор из источника орошения превышает расход ее работающими машинами незначительно (на 5... 10 л/с), что контролируется на водосбросе 9. Уровень воды в резервной емкости не достигает предельного значения, и состояние управляющих элементов схемы не изменяется. По истечении некоторого времени после отключения какой-либо машины расход через водосброс возрастает на величину расхода этой машины, равного 170 л/с. При этом через блок обратной связи 4 и

логический блок 3 регулятору расхода — затвору в голове распределительного канала 2 посылается команда на уменьшение подачи воды в систему. При включении какой-либо дождевальной машины с определенной выдержкой времени формируется команда на открывание затвора 2.

В период добегания машина работает за счет резервных объемов оросителей. Если начинают работу дождевальные машины оросителей нижнего яруса 11 при наличии значительного объема воды в резервной емкости, команда на увеличение расхода воды с помощью затвора 2 не подается, а включается в работу насосная установка 6.

Описанную схему автоматизации системы водоподачи целесообразно применять в системе с безуклонными оросителями, выполняющими функции резервной емкости. При этом исключаются сбросные каналы и концевые водосливы на оросителях. Вода, сбрасываемая в резервную емкость, используется в этой системе при минимуме энергозатрат. Как следует из описания, эта схема регулирования также построена на принципе комбинированного регулирования по возмущению и отклонению.

Техническая характеристика регулятора РУ-300, который можно применять для регулирования водоподачи из подводящего трубопровода в канал-ороситель, приведена ниже.

Тип	Гидравлический
Принцип действия	Поршневого
Диаметр водовыпуска, мм	300
Напор, м	4...40
Максимальный расход, л/с	450
Точность регулирования уровня, см	±2
Масса регулятора с датчиком, кг	140

Конструктивная схема регулятора РУ-300 приведена на рисунке 9.40. К стояку 1 подводящего трубопровода приваривают патрубок с фланцем 2, на котором закрепляют четыре стойки 3. На них крепят цилиндр 5 с втулкой 8, в резьбе которой перемещается винт 7, и отражатель воды 4. Во втулке перемещается направляющая 9 поршня 6. Рабочая камера цилиндра трубкой 10 соединена с датчиком уровня, который состоит из поплавка 13, штока 14, переключателя 17, гильзы 18 и монтируется в поплавковой камере.

Регулятор работает следующим образом. При подаче воды к выпускному патрубку поршень поднимается вверх, и вода свободно изливается через зазор между поршнем и фланцем патрубка. По мере повышения регулируемого уровня поплавков перемещается вверх и соединяет подводящий трубопровод через стояк, вентиль, переключатель и соединительные трубки с рабочей камерой цилиндра. За счет повышения давления воды в рабочей камере и большей площади поршня по сравнению с про-

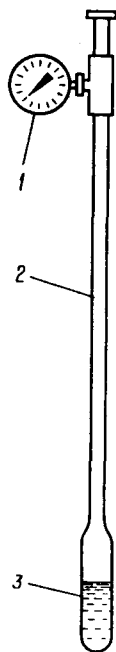


Рис. 9.41. Тензометр с вакуумметром:

1 — прибор, измеряющий величину разрежения; 2 — трубка; 3 — мелкопористый блок

бывают датчики влажности. Наиболее распространены датчики влажности, использующие измерение омического сопротивления почвы, капиллярного натяжения почвенной влаги, радиоактивности почвы.

Метод измерения влажности почвы по электрическому сопротивлению основан на том, что с уменьшением влажности ее электрическое сопротивление возрастает. О влажности судят по измеренному сопротивлению почвы между погруженными в нее электродами. Однако электрическое сопротивление зависит не только от влажности почвы, но и от ее температуры, концентрации почвенного раствора, плотности частиц и некоторых других факторов. Поскольку количественно учесть их влияние на влажность почвы не представляется возможным, тарируют каждый слой почвы, в котором определяют влажность.

Метод определения влажности почвы по капиллярному натяжению использует физическое явление возрастания капиллярного натяжения с увеличением влажности почвы. Влажность почвы по этому методу определяют по показаниям прибора, измеряющего вакуум, который возникает в трубке вследствие отсасывания воды почвой. Датчики этого типа называют тензометрами. Они также требуют тарировки.

Радиоактивные методы определения влажности почвы основаны на применении потока нейтронов или гамма-лучей. Нейтронный метод использует свойство замедления быстрых нейтронов и превращения их в медленные (тепловые) при прохождении через влажную среду. Быстрые нейтроны превращаются в медленные, когда сталкиваются с атомами водорода. Таким образом, здесь по существу измеряется не количество влаги в почве, а число атомов водорода. Поэтому на точность измерения влажности влияют вещества в почве, содержащие атомы водорода (например, органические).

Метод гамма-лучей основан на том, что лучи, проходя через слой почвы, ослабляются. Снижение интенсивности излучения зависит от количества находящейся в почве влаги. Этот метод требует особо строгого соблюдения правил техники безопасности как при измерении, так и при хранении прибора.

При автоматизации полива наиболее часто применяют метод определения влажности по капиллярному натяжению. Используемые датчики-тензометры просты по конструкции, надежны в работе и не нуждаются в высококвалифицированном обслуживании. Тензометр (рис. 9.41) представляет собой заполненную водой трубку 2, на нижнем конце которой находится мелкопористый

блок 3, а к верхнему присоединяется прибор 1, измеряющий величину разрежения. Если же почва сильно увлажнена, происходит обратный процесс и разрежение в трубке уменьшается. По показаниям прибора, измеряющего разрежение в трубке, но протарированного в единицах влажности, судят о содержании влаги в почве. Тензометры, применяемые в системах автоматического управления поливом, снабжают электрическим выходом (0...5 мА и др.).

Тензометры рекомендуют устанавливать на огражденных контрольных участках, характерных для орошаемого массива, учитывая при этом вид выращиваемой культуры, механический состав почвы, рельеф местности. Для монокультуры влажность контролируют на площади в 20...40 га одной группой тензометров, устанавливаемых на контрольном участке. Если рельеф ровный и почва однородна, то в этом случае площадь доводят до 60...100 га. При выращивании нескольких культур число контрольных участков обычно соответствует числу культур. В центре каждого контрольного участка в рядах растений рекомендуют располагать два комплекта тензометров, по три датчика в каждом (рис. 9.42). Один комплект закладывают в почву, чтобы центр пористого элемента находился на глубине, равной $\frac{1}{4}$ глубины распространения основной массы корней, а второй комплект — на $\frac{3}{4}$ этой глубины. Расстояние между тензометрами в каждом комплекте принимают $a = 15$ см, а расстояние между комплектами — 20 м. Достоверными в каждом комплекте считают среднее показание трех приборов. Для автоматического управления поливом применяют также омические датчики влажности.

Однако во многих случаях сведений о влажности почвы недостаточно для определения сроков полива. Например, при неглубоком залегании грунтовых вод растения питаются за их счет, при этом влажность почвы остается относительно постоянной.

Возможно определение сроков полива тепловодобалансовым методом, при котором поливная норма является функцией влажности, температуры и солнечной радиации. Для измерения этих параметров в системе автоматизации полива используют три датчика температуры манометрического типа: один устанавливают в почву на глубине активного слоя, второй — на поверхности почвы, а третий — в емкости с водой, располагая их над орошаемой культурой. Разностный сигнал первых двух датчиков является функцией относительной влажности и температуры, а третьего датчика — интегральной величины солнечной радиации и температуры воздуха.

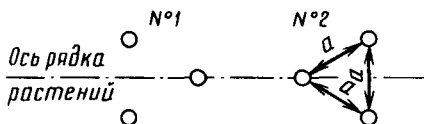


Рис. 9.42. Схема размещения тензометров на контрольном участке

Для контроля и автоматического регулирования параметров в указанных пределах (оптимальных для данной культуры — температура приземного воздуха, относительная влажность воздуха, влажность почвы) разработано специальное устройство, в качестве основного управляемого параметра принята влажность приземного слоя воздуха. Влажность почвы является корректирующим параметром; в зависимости от ее значения корректируют время полива. Возмущающие факторы (температура и влажность атмосферного воздуха) использованы как задающие элементы в контурах включения системы. Система автоматического управления поливом включается автоматически при температуре атмосферного воздуха более 20 °С, то есть поливают в жаркое время дня.

В системе непрерывно измеряются управляемые параметры с дискретностью 33 с и сравниваются с заданным значением. В зависимости от результатов сравнения устанавливают режим и сроки полива. Опыт работы этой системы на чайных плантациях показал, что она автоматически обеспечивает требуемые микроклимат и водный режим почвы с достаточной точностью.

§ 9.22. Автоматизация систем полива с водосберегающими технологиями

К наиболее разработанным водосберегающим технологиям относят системы синхронно-импульсного и мелкодисперсного дождевания, а также капельное орошение. Для рассматриваемых способов полива характерно непрерывное на протяжении вегетации снабжение растений водой в соответствии с их водопотреблением. При этом поливная норма или разовая водоподача достигает предельно малого значения, приближаясь по своей величине к текущему водопотреблению растений.

Накопленный опыт показывает, что существенно снижается поливная норма и увеличивается урожай. Например, при капельном орошении оросительная норма снижается на 40..60 % по сравнению с традиционными поверхностным орошением и дождеванием, а урожай увеличивается соответственно: хлопчатника на 21 и 18 %, картофеля на 13 и 33, табака на 30 и 20, овощей на 117 и 107, винограда на 20 и 17, апельсинов на 61 и 15, яблок на 30 и 20 %.

Осуществление рассматриваемых технологий возможно лишь при условии механизации и автоматизации. Применяют специальное технологическое оборудование и средства автоматизации, без которых такие способы полива в промышленных масштабах не могут быть реализованы.

Синхронно-импульсное дождевание. При этом способе дождевания используют специальные импульсные аппараты, которые работают в режиме непрерывно чередующихся пауз (накопление в гидропневмоаккумуляторах воды) и периодов выплеска ее под

действием сжатого воздуха. Аппараты работают одновременно на всей площади. Для обеспечения подачи воды, равной водопотреблению растений, продолжительность пауз может быть в 50...200 раз больше периодов выплеска. При этом средняя интенсивность дождя составляет 0,001...0,005 мм/мин.

ВНПО по механизации орошения «Радуга» разработало оборудование для оснащения локальных участков автоматизированного управления с синхронно-импульсными дождевателями КСИД-10, техническая характеристика которых приведена на стр. 324, а схема такого участка — на рисунке 9.43.

Импульсный дождеватель КСИД-10 показан на рисунке 9.44. Гидроаккумулятор дождевателя представляет собой водовоздушный бак, разделенный перфорированным сводом 4 и эластичной мембраной 5 на две части. Нижняя часть предварительно заполняется сжатым воздухом. В верхнюю часть поступает вода. Гидроуправляемый запорный орган 2 — поршневого типа со сбросом воды из подпоршневой камеры в дождевальную насадку 3, в качестве которой применен среднеструйный дождевальный аппарат «Роса-3».

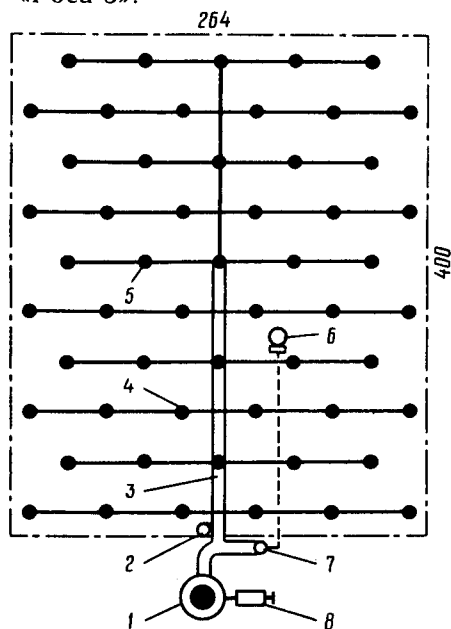


Рис. 9.43. Схема автоматизированного участка синхронного импульсного дождевания КСИД-10:

1 — насосная станция; 2 — гидроподкормщик; 3, 5 — трубопроводная сеть; 4 — импульсный дождеватель; 6 — датчик; 7 — генератор командных сигналов; 8 — пульт управления (размеры в м)

Генератор командных сигналов служит для периодического понижения давления в трубопроводной сети с целью создания сигнала, обеспечивающего одновременный выплеск импульсными дождевателями накоплен-

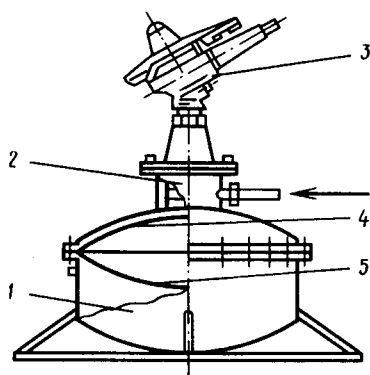


Рис. 9.44. Импульсный дождеватель «Коломна 15»:

1 — гидроаккумулятор; 2 — запорный орган; 3 — дождевальная насадка; 4 — перфорированный свод; 5 — эластичная мембрана

Площадь полива, га	10...10,6
Подача воды в сут, м ³ /га	20...100
Рабочий напор, м	60...65
Число дождевателей	51...55
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,001...0,005
Продолжительность рабочего цикла, мин	1
Удельная протяженность трубопрово- дов, м на 1 га	210...250
В том числе полиэтиленовых	160...200
Обслуживающий персонал, чел.	1 на 8...10 ком- плектов

ного объема воды. Он состоит из датчика, исполнительного механизма и гидравлических каналов связи. Исполнительный механизм является органом, создающим понижение давления в трубопроводной сети при кратковременном соединении напорной линии с атмосферой. Датчик водоподачи автоматически управляет насосной станцией в зависимости от запасов воды в почве, соответствующих определенному уровню воды в водном испарителе (датчике). Сигнализатор положения уровня воды в водном испарителе передается на пульт управления, с которого автоматически управляют работой комплекта.

Комплект оборудован контрольно-измерительными приборами (водосчетчик, счетчик импульсов, счетчик мото-часов), аварийной защитой.

Система работает следующим образом. При включении насосного агрегата вода подается всем импульсным дождевателям комплекта. Через запорные органы она поступает в верхние полости гидроаккумуляторов и сжимает находящийся под эластичной мембраной воздух. После наполнения всех дождевателей водой до расчетного объема генератор командных сигналов на короткое время соединяет трубопроводную сеть с атмосферой. Давление в трубопроводах резко снижается. При этом дождеватели срабатывают одновременно на всей орошаемой площади. После выплеска дождевательные насадки поворачиваются на угол 3...5°, и рабочий цикл накопление — выплеск повторяется. В случае неисправности (разрыв трубопровода, отказ генератора импульсов и др.) система аварийной защиты выключает комплект. Загорается сигнал «Авария».

При этом способе дождевания поддержание влажности активного слоя почвы и приземного воздуха на оптимальном уровне происходит без резких колебаний, свойственных обычным периодическим поливам. Исключается водооборот, что упрощает водопользование на системе и исключает потребность в водораспределительной арматуре.

Для управления группой автономных установок возможна объединенная система управления с одного пульта. Синхронно-импульсное дождевание по сравнению с периодическим дожде-

ванием позволило повысить урожайность кормовой свеклы до 830 ц/га против 59,4 т/га, сахарной свеклы 45...54 против 36...42, ранней капусты 61,2 против 20,9, зеленого чайного листа 5,06 против 3,77 т/га.

Мелкодисперсное дождевание. Суть мелкодисперсного дождевания состоит в том, что для эффективного регулирования микроклимата приземного слоя воздуха применяют аэрозольное увлажнение — периодическое распыление небольшого объема воды в жаркое время, то есть создание искусственного тумана, обеспечивающего оптимальный микроклимат на орошаемом массиве и смачивание листовой поверхности растений. Нанесенная на листовую покров диспергированная вода постепенно испаряется, охлаждает его, при этом влажность приземного слоя воздуха повышается, а испарение воды из почвы снижается. Поливная норма составляет 100...500 л/(га·ч).

Внедрение мелкодисперсного дождевания сдерживается отсутствием высокопроизводительных технических средств, которые не требовали бы больших капитальных вложений. Поливы этим способом осуществляют распылителями минеральных удобрений, опрыскивателями ядохимикатов.

Система мелкодисперсного дождевания состоит из насосной станции, трубопроводной сети и мачты высотой 9...25 м, на которой монтируют шланги с распыливающими форсунками. Во ВНПО «Радуга» разработана конструкция основного элемента стационарной системы мелкодисперсного дождевания — мачты с самоустанавливающейся штангой с распыляющими форсунками.

Высота мачты 10 м, общий расход распыляющих форсунок 0,3...0,85 л/с, рабочий напор 50...40 м, число распыливающих форсунок 22.

Капельное орошение. При этом способе полива сельскохозяйственных культур оросительная вода специальными микроводовыпускниками (капельницами) подается малыми расходами непосредственно в корнеобитаемую зону растений, поддерживая на протяжении всей вегетации влажность почвы на уровне, близком к оптимальному. Кроме того, вместе с водой при необходимости подают элементы питания и ядохимикаты.

Достоинства капельного орошения — значительная экономия оросительной воды (20...30%), локальное увлажнение почвы, возможность увлажнения крутых склонов. Отпадает необходимость в дренаже.

Основные недостатки — засоряемость отверстий капельниц твердыми примесями и отложениями солей. Пластмассовые трубопроводы могут повреждаться грызунами.

Применять капельное орошение экономически целесообразно при дефиците водных ресурсов и невозможности использования другой техники полива из-за водной эрозии, при возделывании

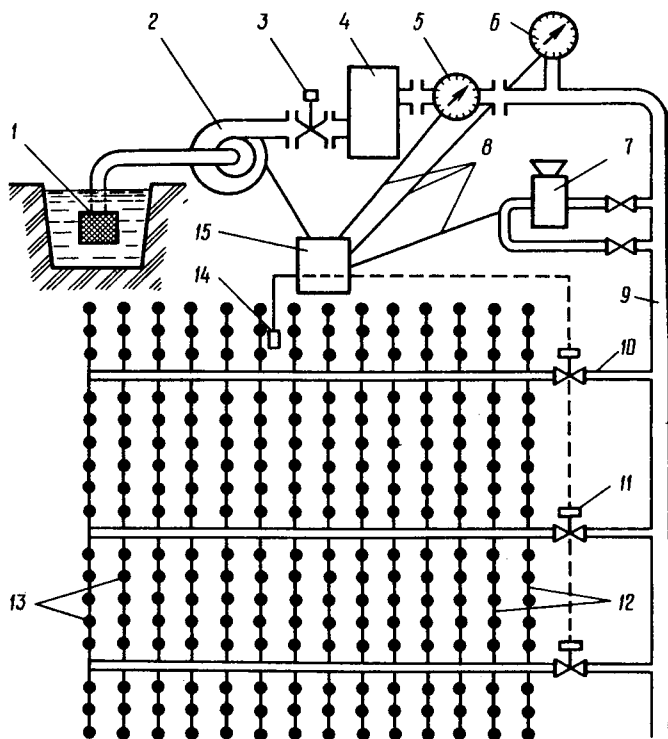


Рис. 9.45. Принципиальная схема системы капельного орошения:

1 — водозаборный узел; 2 — напорообразующий узел; 3 — головная задвижка; 4 — фильтр; 5 — водомерное устройство; 6 — манометр; 7 — устройство для приготовления и подачи в трубопроводную сеть удобрений; 8 — каналы связи; 9, 10, 12 — магистральный, распределительный и поливной трубопроводы; 11 — дистанционно управляемая задвижка; 13 — капельницы; 14 — датчик необходимости полива; 15 — пульт управления

высокодоходных культур (плодовые, виноград, ягодные и другие — в основном многолетние насаждения).

Принципиальная схема автономной системы капельного орошения приведена на рисунке 9.45. Эта система также механизирована и автоматизирована. Режим работы капельниц определяется агротехническими требованиями и осуществляется автоматически при помощи датчика влажности. Система снабжена устройством очистки оросительной воды во избежание засорения капельниц.

Из-за вероятности засорения капельниц окислами железа рекомендуют применять в качестве магистральных и распределительных трубопроводов асбестоцементные трубы, а в качестве участковых и поливных — полиэтиленовые.

Возможно управление с одного центрального пульта группой автономных установок.

§ 9.23. Автоматизация полива риса

Для успешного роста и развития риса требуется специальный водный режим. Прорастают семена риса во влажной, но не насыщенной водой почве. С начала кущения до созревания на рисовом поле необходимо поддерживать слой воды. В мировой практике рисосеяния используют четыре типа водных режимов: непрерывное затопление, укороченное затопление, прерывистое затопление и периодическое увлажнение без создания слоя воды. В нашей стране преимущественное распространение получил способ возделывания риса с укороченным затоплением. График такого затопления рисового поля (рекомендуемый Кубанской рисовой опытной станцией) приведен на рисунке 9.46.

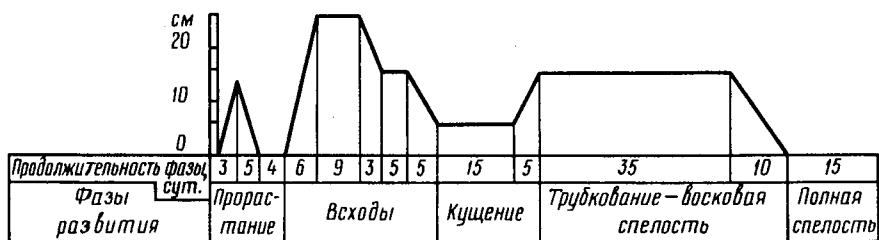


Рис. 9.46. График укороченного затопления рисового поля

Необходимый слой воды поддерживают специальными автоматическими водовыпусками, непрерывно пополняющими чеки водой и автоматически прекращающими ее подачу при достижении заданного слоя.

Способ автоматизированного орошения наряду с точным выполнением его режима повышает также производительность труда поливальщиков. Таким образом, главным объектом автоматизации при поливе риса и получения урожая является чек, в котором регулируется водный режим, а регулируемым параметром является слой воды в чеке.

В зависимости от почвенных и погодных условий, состояния растений потребление ими воды может меняться в широких пределах. Для регулирования уровня воды рисовых чек в основном применяют гидроавтоматы. Выпускают регуляторы уровня воды типов РУР-200/300 и РУРО-400/600, основные параметры которых приведены ниже.

Параметр	РУР-200/300	РУРО-400/600
Диаметр условного прохода трубчатого водовыпуска, мм	200, 300	400, 600
Диапазон рабочего гидравлического перепада, м	0,1...1,5	0,1...0,7

Параметр	РУР-200/300	РУРО-400/600
Абсолютная погрешность регулирования заданного уровня, м	0,02	0,025
Диапазон изменения положения установки регулирования уровня воды, м	0...0,3	0...0,07
Нерегулируемая протечка через регулирующий орган в закрытом положении при максимальном перепаде, м ³ /с	0,005	0,025
Масса регулятора, кг	6	30

Конструкция регулятора РУР-200/300 показана на рисунке 9.47. Он состоит из гибкого затвора 3, имеющего двойную стенку, образующую эластичный клапан затвора и датчика уровня 11, представляющего собой поплавковый клапан, размещенный в корпусе-успокоителе. Датчик уровня вместе со стойкой 8 и закрепленной на ней контрольной шкалой 9 образует настроечное устройство. В отвороте затвора расположено опорное кольцо 2. Через полость эластичного клапана пропущена импульсная трубка 5 с отверстиями 4 перед выходом из затвора. На входе импульсной трубки расположена резиновая втулка (жиклер), защищенная от засорения фильтром 1.

Стойку датчика устанавливают так, чтобы нулевая отметка контрольной шкалы совпала со средней отметкой поверхности чека. Требуемый уровень получают, перемещая датчик уровня до появления в контрольном отверстии необходимого цифрового значения. При открытом затворе вода из ВБ через трубчатый водовыпуск 6 и отверстие 7 сливной трубки датчика уровня изливается в НБ. При достижении заданного уровня поплавок датчика 10 всплывает, и ленточный клапан перекрывает отверстие сливной трубки. Вода из ВБ через отверстие 4 заполняет внут-

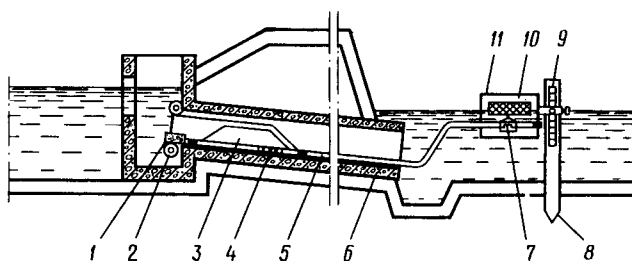


Рис. 9.47. Конструкция регулятора РУР-200/300:

1 — фильтр; 2 — опорное кольцо; 3 — затвор; 4 — отверстия импульсной трубки; 5 — импульсная трубка; 6 — водовыпуск; 7 — отверстие сливной трубки; 8 — стойка; 9 — контрольная шкала; 10 — поплавок; 11 — датчик уровня

ренную полость эластичного клапана, сечение водовыпуска перекрывается, и поступление воды в НБ прекращается. По мере расхода воды (на испарение и фильтрацию) уровень ее в чеке падает, поплавков датчика опускается, и ленточный клапан открывает сливное отверстие, через которое по импульсной трубке начинается интенсивный излив воды. Под давлением ВБ эластичный клапан сжимается, полностью открывая водовыпуск. Таким образом в НБ поддерживается заданный уровень. Существует ряд других типов чековых гидроавтоматов различных конструкций, но с идентичным назначением поддержания требуемого уровня воды в чеках.

Чековые автоматы — низшая ступень автоматизации рисовых оросительных систем в целом.

Контрольные вопросы и задания

1. Какое значение имеет вода в развитии и росте сельскохозяйственных культур?
2. Какой влажности почвы соответствуют коэффициент увядания и предельная полевая влагемкость и почему их называют критическими?
3. Расскажите, что представляет собой кибернетическая система управления поливом и какова современная исходная программа автоматизации полива.
4. Охарактеризуйте известные Вам способы полива и современное состояние их автоматизации.
5. Какие технологии полива называют «водосберегающими» и какие водосберегающие технологии Вам известны?
6. Изложите известные Вам принципы автоматизации поверхностного полива.
7. Перечислите известные Вам датчики для измерения влажности почвы. Какой из них получил преимущественное распространение в системах автоматизированного полива?
8. Какой способ полива по бороздам называют дискретным, в чем его достоинство?
9. Перечислите сравнительные характеристики гидравлических, пневматических, электрогидравлических и электрических водовыпускных механизмов.
10. Охарактеризуйте известные Вам типы дождевальных систем. Почему применяют преимущественно полустационарные дождевальные системы?
11. Что Вам известно о гравитационной гидроавтоматике и системе автоматизации полива «Гамма»?
12. Расскажите о дождевальной машине «Фрегат» и ее автоматизации.
13. Расскажите о дождевальной машине «Кубань», о системе ее автоматизации и автоматизации водоподачи к ней.
14. Почему датчики влажности не дают исчерпывающей информации, необходимой для автоматизации полива? Какую информацию можно считать достаточной?
15. Поясните принцип действия тензомера, его конструкцию и рекомендуемую схему размещения на контрольном участке.
16. В чем основные особенности автоматизации полива риса?
17. Какая связь между известными Вам водосберегающими технологиями и автоматизацией?
18. В чем заключается импульсное дождевание, его преимущества и почему оно не получило пока широкого распространения?
19. Расскажите о способах автоматизации стационарных дождевальных систем.

Глава 10. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

§ 10.1. Основные понятия и определения

Термин «телемеханика» состоит из двух греческих слов: теле — расстояние и механика — мастерство. Телемеханика — это область науки и техники, занимающаяся изучением и построением устройств, преобразующих информацию в сигналы и передающих их на большие расстояния по линии связи для измерения, сигнализации и управления без участия человека или с его участием не более чем по одной стороне передачи.

Для систем местной автоматизации с дистанционным управлением характерно то, что пункт управления и объекты управления расположены недалеко друг от друга. Расстояние между ними измеряется, как правило, десятками и сотнями метров. В этом случае каждый приказ управления или передача извещения о состоянии объекта управления посылается по самостоятельному проводу. Общее число проводов, необходимое для передачи всего объема информации, $n = m + m'$, где m — общее число команд и извещений; m' — число обратных проводов. Часто все обратные провода соединяют в один, то есть принимают $m' = 1$. Однако в случаях, когда объекты удалены от пункта управления на расстояние десятков и сотен километров, практически невозможно прокладывать индивидуальные провода для передачи каждой из команд и извещений. Кроме того, при передаче команд и извещений на большие расстояния сигналы могут искажаться вследствие утечек и затуханий в линии связи. Поэтому для управления столь отдаленными объектами и контроля их работы с одного пункта управления (ПУ) применяют специальные устройства, которые исключают прокладку для каждой команды индивидуальных проводов и обеспечивают большую достоверность передачи информации. Такие устройства получили название системы телемеханики.

В системах телемеханики в отличие от систем местной автоматики разработаны способы и устройства, позволяющие во много раз уменьшить число проводов по сравнению с числом команд и извещений. В предельном случае для управления любым числом объектов используют одну двухпроводную линию связи. Она может быть проводной или радиолнией. Последующей экономии электрических цепей достигают, уплотняя, то есть используя для одновременной передачи многих сигналов, одну и ту же линию. Совокупность технических средств, обеспечивающих независимую передачу сообщений, называют каналом связи. Таким образом по одной линии связи образуют много каналов связи.

Системам телемеханики присущи особенности, некоторые из них приведены ниже:

недопустимость большого запаздывания в передаче информа-

ции при управлении производственным процессом, так как это может в ряде случаев привести к аварии;

необходимость большой надежности в передаче команд, так как передача ложной команды может привести к аварии. В телеуправлении, например, допустимая вероятность возникновения ложной команды составляет $10^{-8} \dots 10^{-13}$, что намного выше требований к достоверности передачи других видов связи;

необходимость большой точности информации телеизмерения (до 0,1 %).

По выполняемым функциям различают следующие телемеханические устройства: устройства телеуправления (ТУ) — передают команды управления, в частности, производственными объектами, команды включения, отключения, изменения положения и т. п.; устройства телесигнализации (ТС) — передают извещения о состоянии контролируемых объектов, о возникновении аварийных ситуаций или достижении параметром каких-либо предельных значений; устройства телеизмерения (ТИ) — передают непрерывные значения измеряемых величин.

Учитывая, что практически невозможно управление объектами без знания и контроля их состояния, в большинстве случаев функции телеуправления и телесигнализации сочетают в единой телемеханической системе, называемой системой ТУ—ТС.

Применяют также комплексные системы телемеханики, в которых при использовании одной общей линии связи выполняются все функции ТИ, ТС, ТУ, а часто и телефонная связь.

Расширился объем передаваемой информации системами телемеханики. Наряду с системами ТУ, ТС, ТИ стали передаваться телеизмерения интегральных параметров (ТИИ), команды телерегулирования (ТР), производственно-статистические показатели, а также кодовые команды для регуляторов. Чаше стали использовать системы телемеханики совместно с вычислительными машинами в телеавтоматических и автоматизированных системах управления. Все это значительно усложнило средства воспроизведения и регистрации принимаемой системами телемеханики информации. Для построения систем телемеханики применяют интегральные схемы и микропроцессоры, что в значительной степени повлияло на развитие телемеханики. Потребовалась разработка аппаратуры передачи данных (АПД), предназначенной для передачи разнообразной производственной информации в АСУ. В тех случаях, когда объекты территориально разобщены и требуется автоматическая телепередача информации, системы телемеханики выполняют функции систем автоматического сбора и передачи для АСУ информации с нижних ступеней контроля и управления.

Для современного этапа развития характерен переход к программируемым средствам телемеханики, содержащим встроенные микропроцессоры или микро-ЭВМ. Создание аппаратуры

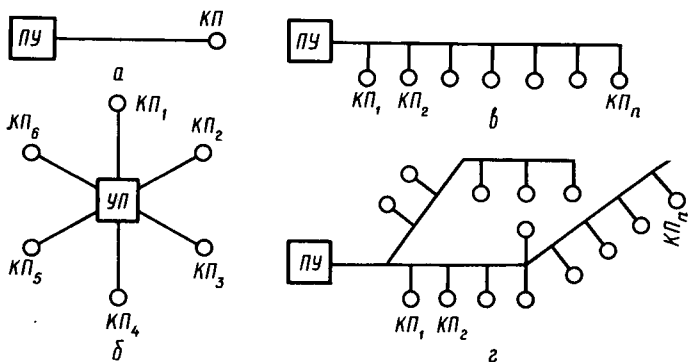


Рис. 10.1. Структура линий связи телемеханических систем с сосредоточенными (а) и рассредоточенными (б, в и г) объектами

телемеханики со встроенными микро-ЭВМ — новый этап в развитии телемеханики — значительно расширило ее возможности, улучшило технические показатели эффективности, достоверности и достижимой максимальной информационной емкости контролируемого или управляемого производственного процесса.

В зависимости от числа объектов, сосредоточенных на одном контролируемом пункте, от взаимного расположения контролируемых пунктов (КП) и пункта управления (ПУ) телемеханические системы подразделяют на системы для сосредоточенных или рассредоточенных объектов. Телемеханическая система для обслуживания одного или нескольких КП с большим числом управляемых объектов на каждом называют системой с сосредоточенными объектами. Пример сосредоточенного расположения в гидромелиоративных системах — насосные агрегаты в насосных станциях. Характерная структура линии связи для сосредоточенных объектов показана на рисунке 10.1, а, б.

Телемеханическую систему, в которой общее число обслуживаемых КП много больше числа управляемых объектов на каждом КП, называют системой с рассредоточенными объектами. Примером рассредоточенного расположения объектов служит оросительная система. Каждое управляемое водовыпускное, вододелительное или перегораживающее сооружение является контролируемым пунктом. Телемеханическая система в этом случае связывает ПУ с большим числом таких рассредоточенных КП. Для рассредоточенных объектов структура линии связи может быть цепочечной и в наиболее общем случае древовидной (рис. 10.1, в, г).

§ 10.2. Структура системы телеуправления и телесигнализации

Рассмотрим структуру построения системы телемеханики ТУ—ТС независимо от типа конкретного устройства и принятой аппаратуры.

Все системы ТУ—ТС состоят из функциональных блоков, участвующих в процессе формирования и передачи сигналов, соответствующих командам управления объектами и извещениями об их состоянии. На обобщенной структурной схеме (рис. 10.2) блок 1 содержит индивидуальные командные элементы, при воздействии на которые посылаются команды управления с ПУ на КП. Эти элементы представляют собой различные включающие аппараты (кнопки, ключи, контакты различных датчиков и автоматических устройств), замыкающие цепь передачи команд. В блоке 2 команды преобразуются в электрический сигнал, удобный для передачи на КП по каналу связи. Процесс образования сигналов называют *формированием*. На КП в избирательном блоке 3 происходит расшифровка сигнала, после чего в блоке 4 срабатывает индивидуальный элемент исполнения данной команды, воздействующий на соответствующий исполнительный орган 5 объекта управления (включает или отключает последний, изменяет его положение, состояние и пр.). Процесс приема и расшифровки сигналов называют *избиранием*. Изменение состояния объекта фиксируется на КП контактами реле, конечными выключателями и другими элементами. С помощью датчиков сигнализации 6 включаются индивидуальные элементы сигнализации блока 7. Далее в блоке 8 формируется известительный сигнал, который передается с КП на ПУ, где расшифровывается избирательным устройством 9. После этого срабатывает соответствующий данному извещению исполни-

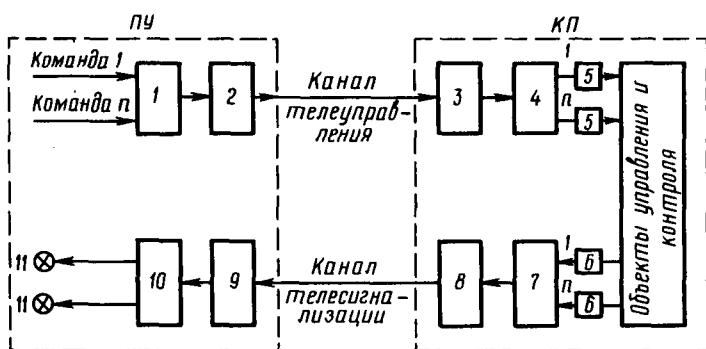


Рис. 10.2. Обобщенная структурная схема системы телеуправления и телесигнализации ТУ—ТС:

1...4, 7, 8 — блоки; 5 — исполнительный орган; 6 — датчики сигнализации; 9 — избирательное устройство; 10 — исполнительный элемент сигнализации; 11 — сигнальная лампа

тельный элемент сигнализации 10 и включает индивидуальную сигнальную лампу 11. Как видно из рассмотренной структуры схемы, в системах ТУ—ТС как при телеуправлении, так и при телесигнализации осуществляются однотипные функции: формируются сигналы, соответствующие командам или извещениям, и передаются по каналам связи с ПУ на КП и с КП на ПУ. На приемных пунктах сигналы расшифровываются с целью включения исполнительных элементов для воздействия на исполнительные органы или включения индикаторов сигнализации.

§ 10.3. Телемеханические сигналы

Команды управления и извещения, как было сказано выше, передаются в виде соответствующих им электрических сигналов. Следовательно, сигналом называют физический процесс передачи электрических импульсов или электрических колебаний определенных частот, однозначно соответствующих данному сообщению. Передаваемые извещения и команды бывают непрерывными и дискретными. Например, команды «Открыть», «Заккрыть» или извещения о достижении предельных уровней в канале являются дискретными; в отличие от них контроль уровня жидкости в канале, позволяющий следить за его изменением во времени, — непрерывный.

Подобно двум типам извещений, образуются также два типа сигналов — непрерывные и дискретные.

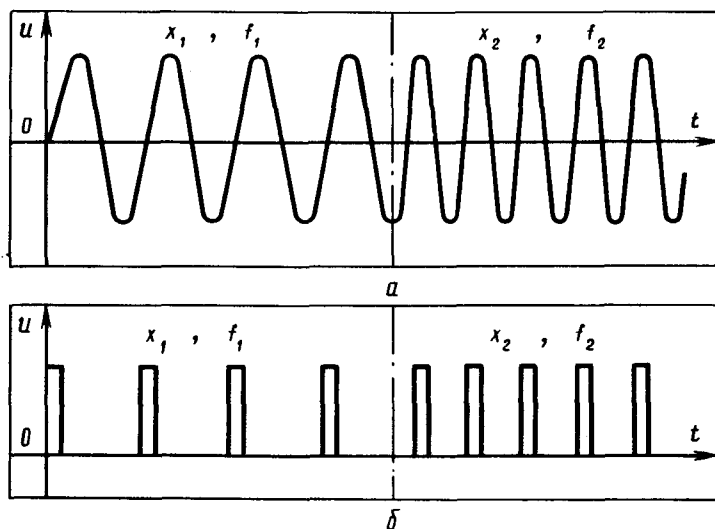


Рис. 10.3. Частотные модуляции:
 а — синусоидальное напряжение; б — периодическая последовательность импульсов (частотно-импульсная модуляция)

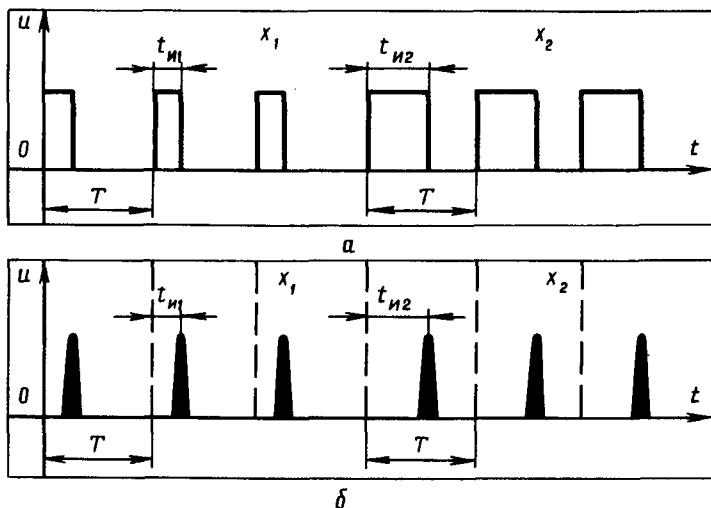


Рис. 10.4. Времяимпульсная модуляция:
 а — широтно-импульсная; б — фазоимпульсная

Непрерывные сигналы. В простейших случаях телемеханических систем, аналогично автоматическим системам, при передаче непрерывных сообщений непрерывными сигналами используют величину тока или напряжения. С изменением сообщения сигнал изменяется по линейному закону. Таким образом осуществляют телеизмерение параметров на сравнительно небольших расстояниях. Однако в большинстве случаев в качестве параметров сигнала выбирают частоту или время с функциональной зависимостью параметров сигнала и извещения.

Характер изменения частоты синусоидального переменного тока или частоты следования импульсов в зависимости от изменения сообщения, то есть $f_n = \varphi(x)$, показан на рисунке 10.3.

На рисунке 10.4 параметром сигнала является время. В зависимости от изменения сообщения меняется ширина импульса, или смещение его положения (фазы): $t_n = \varphi(x)$. Изменение параметра сигнала зависит от изменения сообщения, и этот процесс называют *модуляцией*.

Дискретные сигналы. Рассмотрим сигналы, рассчитанные на передачу определенного числа дискретных сообщений. Сигналы передаются импульсами тока, различающимися качественными признаками: амплитудой, полярностью, продолжительностью, частотой и фазой (рис. 10.5). Чтобы более четко различать сигналы, как правило, используют только два значения качественных признаков импульса тока: два направления постоянного тока в линию, или две полярности выпрямленного переменного тока; два временных признака — короткий и длинный импульсы,

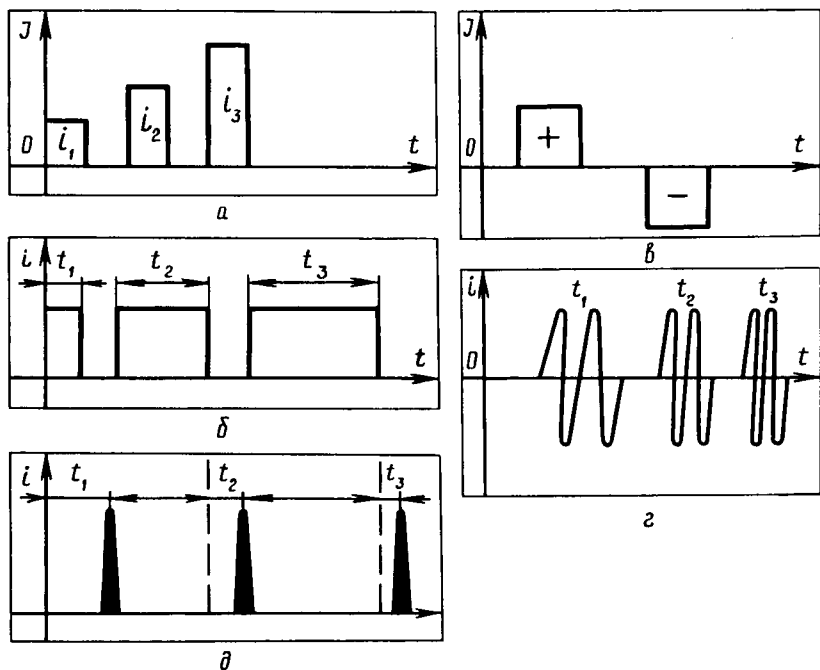


Рис. 10.5. Качественные признаки дискретных импульсов:
 а — амплитудный; б — продолжительность импульса; в — полярный; г — частотный;
 д — фазовый

или короткая и длинная пауза и т. д. В зависимости от способа избирания отдельным командам соответствуют значения какого-нибудь определенного качественного признака (например, «Включить» — положительная полярность, «Отключить» — отрицательная) либо сигналы, образуемые условными комбинациями электрических импульсов, которые называют кодовыми комбинациями, или кодами. Процесс преобразования сообщений в условные дискретные сигналы называют кодированием.

В телемеханике кодированию и соответственно декодированию, то есть расшифровке кода на приемной стороне, уделяют большое внимание. В зависимости от требований к надежности передач применяют коды, обеспечивающие различную степень помехоустойчивости. Простейшая система кодов — система, в которой для передачи сигналов используют все возможные сочетания из n элементов кода с k значениями импульсного признака. При этом общее число кодовых комбинаций $N = k^n$. Обычно $k = 2$, в этом случае $N = 2^n$. Например, при трех элементах кода (импульсах тока 1 и 0), отличающихся двумя значениями качественного признака, число кодовых комбинаций $N = 2^3 = 8$. Комбинации элементов кода с двумя значениями импульсного признака

удобно рассматривать как числа, записанные в двоичной числовой системе, соответствующие порядковым номерам кода. Такая запись получается, если знаки «минус» и «плюс» заменить соответственно цифрами 0 и 1. Эта система кодов приведена в таблице 10.1. Каждый элемент кода может передаваться по индивидуальному проводу, а все элементы — параллельно по нескольким проводам или по одному и тому же проводу последовательно во времени.

10.1. Система кодов при трех элементах

Порядковый номер кода	Номер элемента кода			Числовая запись кода
	1Л ₁	2Л ₂	3Л ₃	
0	—	—	—	000
1	—	—	+	001
2	—	+	—	010
3	—	+	+	011
4	+	—	—	100
5	+	—	+	101
6	+	+	—	110
7	+	+	+	111

Однако было бы ошибочно представлять, что дискретные сообщения всегда передаются дискретными сигналами, а непрерывные — непрерывными. Непрерывные сообщения могут быть переданы дискретными, а дискретные — непрерывными.

§ 10.4. Передача и прием сигналов

Итак, известны принципы образования сигналов и наиболее употребительные их типы. Теперь следует решить задачу передачи и приема многих сигналов по одной линии связи. Существуют два основных способа разделения многих сигналов при их передаче по одной линии связи: временной способ, при котором сигналы передаются последовательно во времени, и частотный, когда сигналы могут передаваться не только последовательно, но и параллельно во времени, то есть одновременно.

Временной способ разделения сигналов. Принципиальная схема временного способа разделения сигналов показана на рисунке 10.6. На ПУ и КП устанавливаются одноступенчатые переключатели (распределители), которые вращаются с одинаковой угловой скоростью (синхронно) и с заданной последовательностью, то есть у них одинаковое угловое расположение щеток (синфазно). Для передачи команды включения какого-нибудь объекта на ПУ нажимают соответствующую кнопку и запускают распределители Р1 и Р2, которые по специальной схеме переключаются синхронно и синфазно. В момент, когда распределители присоединяют к линии нажатую кнопку на ПУ и соответствующую

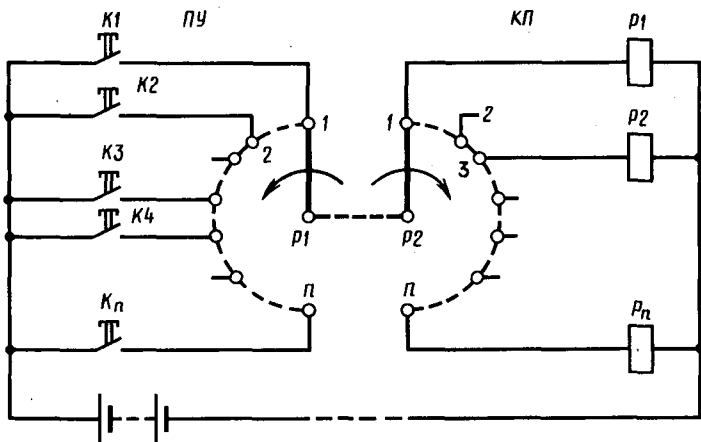


Рис. 10.6. Временной способ разделения сигналов:
1...n — номера ламелей

реле на КП, произойдет передача команды. Если предварительно нажать на ПУ все кнопки и включить распределители, то за один оборот распределителей, то есть за один цикл, будут переданы все команды. Такие устройства называют циклическими в отличие от устройств спорадического действия, в которых передача команд осуществляется не непрерывно, а по необходимости.

Частотный метод разделения сигналов. Частотный метод заключается в том, что каждому из n сигналов, подлежащих передаче, присваивают свою частоту. На передающей стороне ПУ устанавливают генераторы Γ (рис. 10.7), каждый из которых генерирует синусоидальное колебание частотой f_1, f_n . На приемной стороне КП установлены частотные избиратели, выбираю-

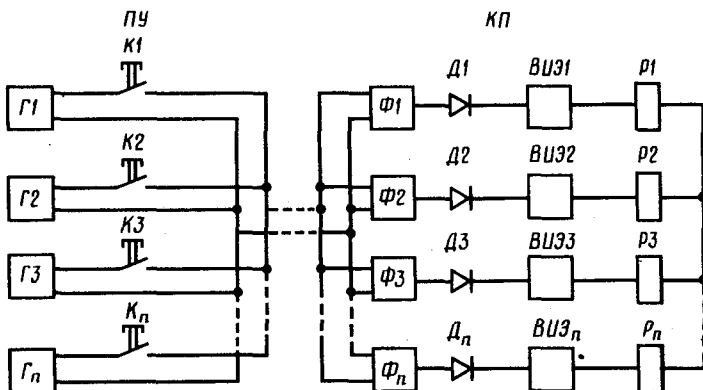


Рис. 10.7. Частотный метод разделения сигналов

щие сигналы соответствующей частоты и направляющие его к соответствующему объекту.

Частотные избиратели состоят из частотного фильтра Φ и выходного исполнительного элемента $ВИЭ$, работающего в релейном режиме и срабатывающего при достижении сигналом определенной величины. Таким образом, на приемной стороне каждый из посланных сигналов выделяется фильтром, настроенным на данную частоту, выпрямляется детектором D , после чего постоянный ток через выходной исполнительный элемент $ВИЭ$ включает реле P . В зависимости от порядка замыкания ключей K на $ПУ$ осуществляется последовательная во времени передача или параллельная посылка сигналов. Если замкнуть все ключи одновременно, то в линию связи будут посланы одновременно сигналы всех частот и включаются сразу все реле; при этом за время, равное длительности одного сигнала, передаются все сигналы.

Групповой способ избирания сигналов. Выше рассмотрены непосредственные способы выбора, которые характерны тем, что каждому передаваемому сигналу или объекту управления на $ПУ$ устанавливается свой ключ, а на приемной стороне — свое исполнительное устройство. Наряду с этим существует и групповой способ, отличительной особенностью которого является то, что исполнительную цепь данного объекта выбирают в несколько приемов. Например, первой командой выбирают группу объектов, второй командой — подгруппу, а третьей — сам объект.

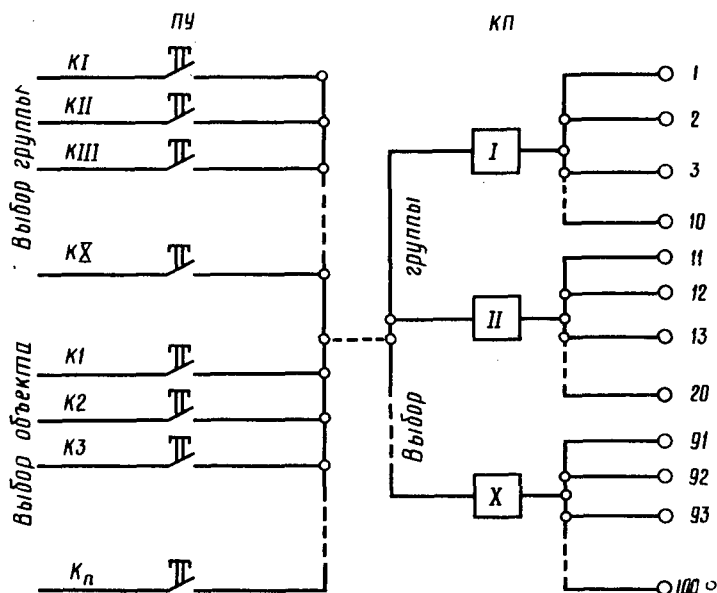


Рис. 10.8. Групповой способ выбора исполнительных цепей

Число ступеней выбора может быть различным. На рисунке 10.8 показан двухступенчатый выбор одного из 100 объектов. Для этой цели на ПУ устанавливают всего двенадцать ключей. Объекты на КП, в свою очередь, разбиты на 10 групп по 10 объектов в каждой. При помощи десяти ключей «выбора группы» выбирают одну из групп, в каждой из которых 10 объектов; десять ключей группы «выбора объекта» выбирают данный объект в группе. Например, для включения какого-нибудь объекта сначала на КП выбирают групповое исполнительное устройство, замыкая на ПУ ключ КП в группе «выбор группы». Далее замыкают кнопку К2 в группе «выбор объекта», что обеспечит выбор объекта 12. Нетрудно заметить, что групповой выбор дает значительную экономию в аппаратуре, хотя при этом устройство КП несколько усложняется. Однако при большом числе управляемых объектов с временным разделением сигналов он намного повышает быстродействие системы.

§ 10.5. Методы избирания сигналов

Под избиранием сигналов понимают выбор данного сигнала из многих для адресной передачи. Разделение и избирание сигналов обеспечивают их передачу и точный прием. Рассмотрим некоторые конкретные методы избирания при параллельной и последовательной посылках сигналов.

Качественный метод. Этот метод избирания характеризуется передачей по одному и тому же проводу сигналов (импульсов тока), различающихся качественными признаками.

Рассмотрим схему управления и сигнализации для одного объекта, например контактора (рис. 10.9, а, б). В этой схеме использованы два качественных признака — амплитудный и полярный. При отключенном контакторе благодаря полярному признаку избирания образуется цепь: лампа сигнализации «Откл.» — реле включения РВ — размыкающий блок-контакт К. Сила тока, проходящего через эту цепь, благодаря амплитудному признаку достаточна для зажигания лампы, но недоста-

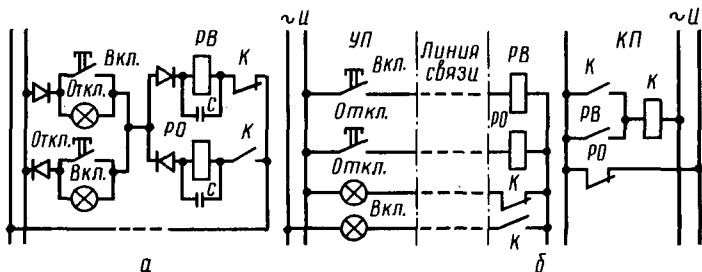
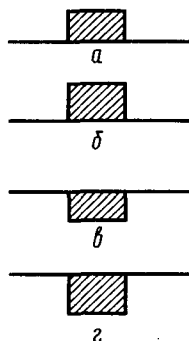


Рис. 10.9. Схема управления контактором с амплитудно-полярным избиранием (а) и с дистанционным управлением (б)

Рис. 10.10. Использование качественных признаков при амплитудно-полярном избирании:

a — сигнализация включенного объекта; *b* — включение объекта; *в* — сигнализация отключенного объекта; *г* — отключение объекта



точно для срабатывания реле *PВ*. При нажатии кнопки «Вкл.» лампа шунтируется, цепь замыкается только через реле *PВ*, в котором ток возрастает, и оно срабатывает. При этом включается контактор *K*, его блок-контакты переключаются, и зажигается лампа «Вкл.». Так как в данной схеме происходит однополупериодное выпрямление тока, то для устранения колебаний реле зашунтированы конденсаторами *C*. Таким образом, управление и сигнализация для одного объекта выполняются по одному прямому проводу. В схеме же дистанционного управления (рис. 10.9, б) для осуществления тех же функций требуется четыре прямых провода. Число проводов на схеме *a* меньше в четыре раза благодаря использованию для передачи сигналов двух качественно различных импульсов тока (амплитуда и полярность) с двумя значениями каждого признака согласно рисунку 10.10.

В общем случае наименьшее число прямых проводов при качественном методе избирания определяют из выражения

$$n = m/k_1, k_2, \dots, k_n,$$

где *m* — число передаваемых признаков управления и сигналов; *k*₁, *k*₂, ..., *k*_{*n*} — произведение чисел импульсных признаков в каждом виде качественного признака. Как указывалось, обычно *k*₁ = *k*₂ = 2.

Комбинационный метод. Данный метод избирания заключается в том, что каждый приказ передается комбинацией нескольких импульсов, одновременно проходящих по нескольким проводам. В системах с комбинационным избиранием увеличение числа объектов управления не вызывает пропорционального увеличения числа соединительных проводов.

При посылке различных импульсных признаков тока по проводам (*n* элементов кода) число распоряжений определяют по формуле

$$m = k^n.$$

Рассмотрим принципиальную схему (рис. 10.11) комбинационного метода избирания для схемы с тремя проводами *1Л*, *2Л*, *3Л* и двумя полярными признаками для передачи восьми команд (*N* = 2³). В этой схеме соединительные провода и реле *H* используются вместе для передачи любого из сигналов. При нажатии, например, ключа *KI* на диспетчерском пункте выбирается первая комбинация и исполняется соответствующая этой комбинации команда, то есть на *KП* включаются реле *H1*, *H2*, *H3* и *P1*. Таким же образом при нажатии любого из восьми ключей осу-

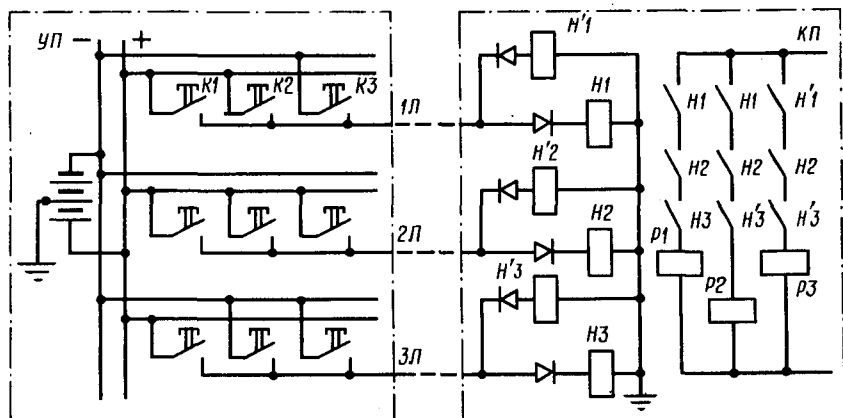


Рис. 10.11. Принципиальная схема комбинаторного метода избирания

ществляется одна из восьми кодовых комбинаций (табл. 10.2) и передается соответствующая команда.

10.2. Система кодов для схемы с тремя проводами

Провода	Номера команд							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1Л	+	+	+	+	-	-	-	-
2Л	+	+	-	-	-	-	+	+
3Л	+	-	+	-	+	-	+	-

Если известно требуемое число сигналов, то необходимое число соединительных проводов определяют из формулы

$$\lg m = n \lg k,$$

откуда

$$n = \lg m / \lg k.$$

Так как обычно используются только два значения качественного признака, то

$$n = \lg m / \lg 2.$$

Между числом проводов и числом возможных комбинаций при $k=2$ имеется следующая зависимость:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m	2	4	8	16	32	64	128	256	612	1024

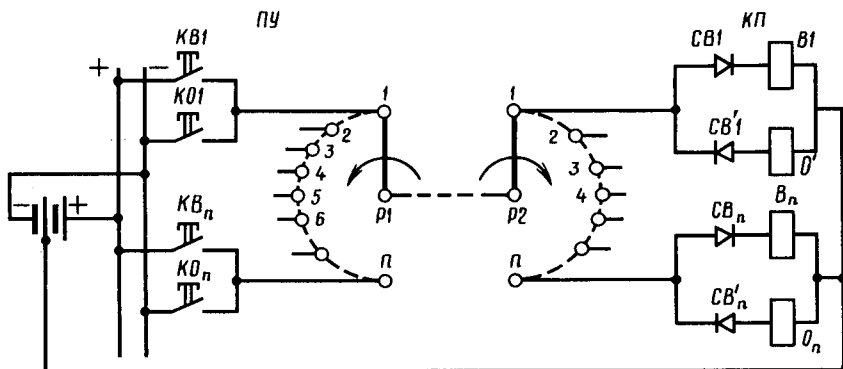


Рис. 10.12. Принципиальная схема распределительного (временного) метода избирания

С увеличением числа проводов число комбинаций возрастает очень быстро. Таким образом, при комбинационном методе избирания общее число соединительных проводов с увеличением числа объектов, так же как и при качественном методе избирания, возрастает, но они не связаны между собой пропорциональной зависимостью.

Распределительный метод избирания. В таких системах распределители на ПУ и КП переключаются синхронно и последовательно во времени по одной двухпроводной линии поочередно, образуя цепи для передачи команд отдельным объектам. Число команд, которые могут быть переданы по одному каналу связи: $m = k\delta$, где m — число команд; k — число импульсных признаков тока; δ — число ламелей распределителя.

Принцип распределительного метода избирания показан на рисунке 10.12.

Для включения первого объекта следует на ПУ нажать на кнопку $KB1$, запустить распределители $P1$ и $P2$, которые по специальной схеме (на рисунке не показана) переключаются синхронно и синфазно. В момент, когда распределители присоединяют к линии свои первые контакты, через линию с ПУ на КП посылается положительный импульс, включается реле $B1$ и своим контактом подключает первый объект. Для отключения этого же объекта вместо кнопки $KB1$ следует нажать кнопку $KO1$, тогда в линию будет послан отрицательный импульс, срабатывает реле $O1$ и отключает объект.

Комбинационно-распределительный метод избирания (кодовый). Этот метод — сочетание комбинационного и распределительного. Если представить, что кнопки KB , KO и реле B и O (рис. 10.12) не относятся к отдельным объектам, а используются вместе для передачи кодовых комбинаций, как это выполнялось при комбинационном способе избирания, то осуществляется ком-

бинационно-распределительный метод. В отличие от комбинационного избирания, при котором все импульсы передаются одновременно по нескольким проводам, то есть параллельно во времени, здесь все импульсы, образующие кодовую комбинацию, передаются по одному прямому проводу поочередно, последовательно во времени. Распределительно-комбинационный метод часто называют кодовым вследствие применения для передачи команд многоимпульсных кодов.

Число передаваемых приказов определяют по формуле

$$m = k^q,$$

где k — число импульсных признаков тока; q — число импульсов кода.

Так как число импульсов кода может быть принято достаточно большим, то число объектов, присоединяемых к одному каналу связи, соответственно может быть тоже очень велико.

Многоканальные и малоканальные системы ТУ—ТС. В зависимости от принятых методов избирания различают два типа устройств телемеханики — многоканальный и малоканальный. В многоканальных устройствах число проводов, связывающих пункт управления и контролируемые пункты, зависит от общего числа передаваемых команд и сигналов: с увеличением последних число проводов возрастает. Такие системы получают при качественном и комбинационном методах избирания. Многоканальные системы часто называют системами ближнего действия, так как при больших расстояниях между ПУ и КП использование подобных систем экономически невыгодно.

В малоканальных системах число проводов (до определенного предела) не зависит от числа передаваемых команд. Одна

10.3. Основные сравнительные характеристики методов избирания

Метод избирания	Число проводов	Быстродействие, с	Зависимость импульсов
Качественный	Многопроводная система, $n = m/k_1 k_2 \dots k_n$	0,02...0,03	Импульсы независимы, возможно одновременное управление объектами
Комбинационный	Многопроводная система, $n = lgm/lgk$	0,02...0,03	Импульсы зависимы, одновременное управление объектами невозможно
Распределительный	Малопроводная система, $n = 1$	2...6	Импульсы передаются последовательно во времени, возможно одновременное управление объектами
Кодовый—распределительно-комбинированный	Малопроводная система, $n = 1$	1...2	Импульсы зависимы, одновременное управление объектами невозможно

Примечание. Быстродействие указано с учетом применения релейно-контактной (электромагнитной) аппаратуры.

линия связи, состоящая практически из двух проводов, является общей для всех исполнительных пунктов, подключаемых к линии параллельно. Малоканальные системы образуются при использовании распределительного и распределительно-комбинированного методов избирания.

Малоканальные системы целесообразно применять при передаче команд на большие расстояния, поэтому их часто называют системами дальнего действия.

Сравнительные характеристики рассмотренных методов избирания по времени действия, числу проводов, возможности одновременного управления объектами приведены в таблице 10.3.

§ 10.6. Элементная база устройств телемеханики

Элементная база систем телемеханики отражает общее состояние развития технических средств автоматизации, и ее нельзя рассматривать как нечто установившееся. Одновременно с развитием элементной базы совершенствуют сами системы, которые в процессе своего развития претерпели несколько радикальных изменений и продолжают совершенствоваться. На первых этапах развития телемеханики преимущественно применялись электромагнитные реле и электромеханические шаговые переключатели. Слаботочные реле позволяют осуществить большое число разнообразных функций: формирование импульсных сигналов, элементарные логические функции (И, ИЛИ, НЕ), переключение и размножение цепей, создание временных задержек, функции дискретной памяти любой длительности, усиление сигналов и многое другое.

Первое поколение телемеханических устройств создавалось преимущественно на электромагнитных, электромеханических реле и переключателях, частично применяли также вакуумные электронные лампы. Недостатки электромагнитных реле: в контактных элементах имеются подвижные части и размыкаемые контакты, а в лампах — нити накаливания, которые быстро изнашиваются и соответственно имеют ограниченный срок службы; ограниченное быстродействие; ненадежная работа контактов, особенно в условиях повышенной влажности и запыленности. Между тем в системах телемеханики имеются устройства типа распределителей, которые, как правило, должны работать с достаточной скоростью, а иногда непрерывно.

Второе поколение систем телемеханики возникло на основе полупроводниковой электроники. Системы этого поколения имеют более высокую надежность и долговечность, а сама аппаратура выполняет более сложные функции и во много раз меньше по габаритам.

Для построения систем телемеханики применяют большое число функциональных узлов и блоков, к которым, например, относятся: формирователи импульсных признаков; шифраторы

и дешифраторы, используемые в системах с комбинационным избором; распределители и генераторы импульсов в системах с частотным разделением; пусковые узлы; выходные блоки управления и сигнализации и т. д.

Функциональные узлы собирали из типовых логических и функциональных элементов и узлов с полупроводниковыми диодами и транзисторами. Слабым местом элементной базы второго поколения являются электрические соединения между сопротивлениями, диодами, транзисторами в каждом элементе или узле, что требовало специальных проводников, паек и контактных соединений, снижая надежность аппаратуры и требуя много ручного труда для производства и эксплуатации аппаратуры.

Дальнейшим развитием элементной базы явился переход на интегральные микросхемы, в которых соединения между ее элементами заключены в объеме полупроводника и не подвергаются вредным воздействиям окружающей среды. Интегральную микросхему на одном кристалле изготавливают автоматически без прикосновения рук человека. В результате резко возрастают надежность и быстродействие аппаратуры и уменьшаются габариты. На этой элементной базе возникло третье поколение телемеханики устройств. Большинство созданных устройств телемеханики третьего поколения работает совместно с ЭВМ. Применение ЭВМ резко расширило возможности устройств телемеханики и позволило обрабатывать информацию программным путем; выполнять математические операции для получения таких показателей, как суммарная мощность, действительное значение расхода воды, средние значения параметров со скользящим временем начала интегрирования, масштабирование при большом числе масштабных коэффициентов, усреднение, воспроизведение буквенно-цифровой и графической информации с помощью дисплеев, компоновка информации для передачи ее на более высокий уровень иерархии и т. д.; сравнивать контролируемые параметры с изменяющимися во времени уставками и уставками, зависящими от значений других параметров; вести поиск неисправностей в системе и диагностировать повреждения; составлять статистическую плановую и другую отчетную информацию, а также обрабатывать и выдавать другую информацию.

Дальнейшим этапом развития интеграции явилось создание микропроцессоров и на их базе микро-ЭВМ (см. гл. 4).

Широкое развитие микропроцессоров и серийное их производство вносят революционные изменения для разработки систем телемеханики. Создание аппаратуры телемеханики четвертого поколения со встроенными микро-ЭВМ значительно расширило ее возможности, улучшило технические показатели по эффективности, достоверности, скорости и информационной емкости управляемого и контролируемого производственного процесса. До применения микропроцессоров, чтобы получить конкретную систему телемеханики, разрабатывали индивидуальные технические устройства.

При использовании микро-ЭВМ индивидуальная по техническим требованиям логика для каждой конкретной системы осуществляется путем разработки алгоритма, который задается в памяти микропроцессора. В результате сокращаются время и труд, необходимые на разработку и наладку телемеханической системы, и при этом можно создавать системы, выполняющие более сложные функции.

Принципы построения отдельных функциональных узлов и блоков, а также устройств телемеханики в целом изучают подробно в специальных курсах телемеханики.

Здесь был рассмотрен лишь общий технический уровень устройств телемеханики, в большой степени определяемый элементной базой, на которой они создаются. Необходимо отметить, что смена поколений телемеханических устройств и широкое внедрение микропроцессоров не означают полного прекращения выпуска предыдущих поколений систем и отказ от применения элементной базы более ранних поколений. Существует многообразие задач, которые нерационально решать путем применения микропроцессорной техники. Во многих случаях для решения простых задач более эффективно пользоваться микросхемами меньшей интеграции. Потребность в таких элементах, как транзисторы и диоды, конденсаторы и сопротивления, всегда сохраняется. Применение электромагнитных реле даже в современных устройствах телемеханики не исключается в части, где они включаются редко — несколько раз в час, а иногда и реже, тем более что срок их службы определяется миллионами включений и их совершенствование также продолжается. Нецелесообразно во всех случаях усложнять устройство и заменять, например, выходные, исполнительные электромагнитные реле бесконтактными устройствами.

§ 10.7. Устройство сопряжения системы телемеханики с ЭВМ

Большинство систем телемеханики, начиная с третьего поколения, работает совместно с ЭВМ, что существенно расширяет возможности системы телемеханики. Однако специфика работы ЭВМ не позволяет непосредственно подключить к ней систему телемеханики. Для согласования работы системы телемеханики и ЭВМ применяют устройство сопряжения, структурная схема которого изображена на рисунке 10.13. Скорость обработки информации в ЭВМ во много раз больше скорости передачи в канале телемеханики. С целью согласования их скоростей устройство сопряжения оборудуют буферной памятью (БП), к которой в нужный момент обращается ЭВМ и считывает информацию с требуемой повышенной скоростью: системы телемеханики подключают к ЭВМ через коммутатор КМ, устанавливающий очередность ввода информации в ЭВМ и согласующий интервал

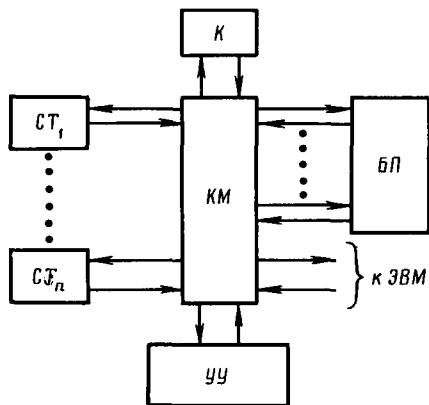


Рис. 10.13. Устройство сопряжения системы телемеханики с ЭВМ:

СТ — система телемеханики; КМ — коммутатор; БП — буферная память; К — кодирующее устройство; УУ — управляющее устройство

ЭВМ информация из БП по команде управляющего устройства УУ переписывается в оперативную или долговременную память ЭВМ.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют системой телемеханики и чем она отличается от системы дистанционного управления?
2. В чем отличие систем телемеханики для рассредоточенных объектов от систем для сосредоточенных объектов?
3. Перечислите известные Вам методы избирания и передачи сигналов в телемеханических системах.
4. Какой метод избирания называют распределительным?
5. На какой элементной базе выполняются системы телемеханики?
6. Что Вам известно о применении микропроцессоров в устройствах телемеханики и какие функции они выполняют?
7. Как устроено устройство сопряжения системы телемеханики с ЭВМ?
8. Расскажите о поколениях устройств телемеханики.

Глава 11. СИСТЕМЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

§ 11.1. Общие сведения

При обычных способах дистанционного измерения предельное расстояние между местом измерения и измерительным прибором составляет от десятков до нескольких сотен метров. Передача параметров на большие расстояния невозможна из-за значительных потерь в линии связи и возникновения погрешностей вследствие изменения сопротивления линии и ее изоляции при колебаниях температуры и влажности окружающей среды. Кроме того,

времени работы ЭВМ с работой данной системы телемеханики.

Кодопреобразователь К применяют для согласования кодов используемого в системе телемеханики, — помехозащищенного (или любого иного) и двоичного, подаваемого на вход ЭВМ.

Всей коммутацией и распределением сигналов управляет управляющее устройство УУ, устанавливающее приоритет и последовательность работы. Таким образом устройство сопряжения записывает информацию, поступающую из n -й системы телемеханики в буферную память БП, при необходимости перекодированную в кодирующем устройстве, и по сигналу

для передачи большого объема измеряемых параметров соответственно потребовалось бы увеличение числа проводов.

Телеизмерение — измерение на больших расстояниях — применяют для передачи на ПУ непрерывных значений большого числа технологических параметров, контролируемых объектов по существенно меньшему числу линий связи. Телеизмерение имеет свои особенности и методы, позволяющие уменьшать погрешности, возникающие при передаче измеряемых величин на большие расстояния, а также многократно использовать линию связи.

В отличие от систем ТУ—ТС, в которых передаются преимущественно дискретные команды и сообщения («Включить», «Отключить» и т. д.), в системах телеизмерения передаются непрерывные значения измеряемых величин. Параметры сигнала выбираются так, чтобы искажения при передаче были минимальными.

Принцип действия системы телеизмерения показан на рисунке 11.1.

В первичном измерителе-датчике 1 измеряемый параметр X преобразуется в электрическую величину Z . В телемеханическом датчике 2 происходит преобразование электрической величины Z в сигнал U_1 , который передается в линию связи. На приемной стороне сигнал после воздействия на него помех в линии связи может несколько отличаться от переданного сигнала U_1 и получать значение U_2 . В приемнике 3 телеизмерения сигнал U_2 преобразуется в ток или напряжение, значение которого эквивалентно измеряемой величине. На выходном приборе 4 измеряемая величина воспроизводится в единицах измеряемого параметра (давление — в паскалях, уровень — в метрах и т. д.). В ряде случаев телеизмерительное устройство снабжают механизмом 5, автоматически печатающим через заданные интервалы времени значения измеряемой величины.

Главное требование, которое предъявляют к системе телеизмерения, — минимальная погрешность, под которой понимают степень приближения показаний прибора на приемной стороне к истинному значению измеряемой величины.

По дальности передачи различают телеизмерительные системы ближнего (10...20 км) и дальнего действия (сотни километров). К системам ближнего действия относятся системы интенсивности, а дальнего — импульсные и частотные системы переменного тока с непрерывными сигналами и кодоимпульсные системы с дискретными сигналами. Все эти системы могут быть одноканальными или многоканальными. В одноканальных системах по одной линии связи передается только одно измерение, в многоканальных — множество измерений. Многоканальности до-

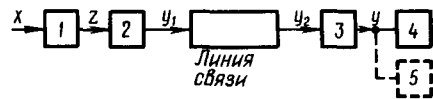


Рис. 11.1. Принципиальная схема телеизмерения

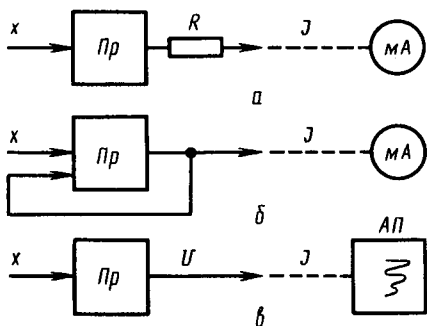


Рис. 11.2. Структурные схемы телеизмерительных систем интенсивности: а — небалансная система токов; б — балансная система токов; в — потенциометрическая система напряжения

правило, преобразуются в соответствующие им значения тока или напряжения. Такие сигналы называют системами интенсивности, так как в них используется интенсивность сигнала, в качестве которого выступает величина тока или напряжения. Как правило, передача показаний осуществляется постоянным током, что заметно снижает влияние изменения индуктивности и емкости линии связи на показания приемного прибора. Кроме того, в этом случае в качестве приемных устройств можно использовать магнитно-электрические приборы, обладающие большой точностью.

В системах интенсивности показания приемного прибора в определенной степени зависят от изменения параметров линии — проводимости изоляции и сопротивления. Чтобы погрешность телеизмерения не превышала 1,5...2,5 %, допустимая протяженность воздушной линии связи не должна быть более 10...15 км, а кабельных линий, в которых утечка практически отсутствует, — 25...35 км.

Применяют три модификации телеизмерительных систем интенсивности.

1. Небалансовая система тока (рис. 11.2, а). На передающей стороне устанавливают преобразователь *Пр* измеряемой величины X в ток I . Для ограничения погрешности от изменения сопротивления линии в цепь включают последовательно большое балластное сопротивление R с малым температурным коэффициентом (R во много раз больше сопротивления линии).

2. Балансовая система тока (рис. 11.2, б). В этой системе на передающей стороне устанавливают преобразователь с отрицательной обратной связью по току выхода. Такой преобразователь называют балансовым. Он автоматически поддерживает значение тока на выходе в линию в заданной зависимости от измеряемой величины X . В результате этого устраняется зависи-

стигают теми же методами, что и при телеуправлении, то есть способами временного и частотного разделения сигналов. Во многих случаях (если по условиям контроля технологического процесса это допустимо) в целях упрощения аппаратуры применяют телеизмерение по вызову, когда датчики телеизмерения подключаются (при вызове) поочередно к одной линии связи.

Системы ближнего действия. В этих системах измеряемые параметры для передачи их по линии связи, как прави-

мость тока в линии от изменения ее сопротивления. Однако погрешность от утечки, как и в предыдущем случае, не устраняется.

3. Потенциометрическая система напряжения (рис. 11.2, в). Изменяемая величина X преобразуется в напряжение, которое контролируется на приемной стороне автоматическим потенциометром $АП$. Здесь так же, как и в предыдущем случае, изменение сопротивления на точность телеизмерения не влияет. Погрешность от утечек сказывается на точности измерений лишь при значительном сопротивлении линии.

Системы дальнего действия. Эти системы характеризуются тем, что обеспечиваемая ими точность измерения лишь в малой степени зависит от колебаний параметров линии связи. Это обстоятельство позволяет значительно увеличить расстояние передачи — до сотен километров.

В измерительных системах дальнего действия с непрерывными сигналами используют импульсные и частотные системы, где расстояние передачи определяется уровнем сигнала, поступающего на вход приемного устройства, чувствительностью последнего и превышением уровня сигнала над уровнем помех.

К *временным импульсным телеизмерительным системам* относятся системы с использованием широтно-импульсной и фазоимпульсной модуляций, рассмотренные в § 10.3.

Применяют различные типы преобразователей измеряемой величины в длительность импульса. Простейший пример механического преобразователя приведен на рис. 11.3. Пер-

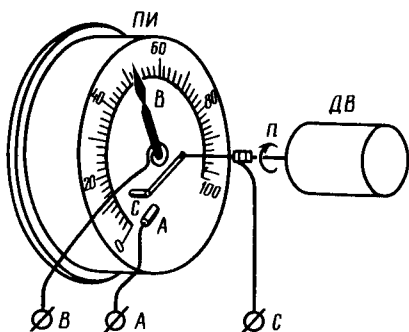


Рис. 11.3. Временный импульсный преобразователь угла отклонения первичного измерительного прибора

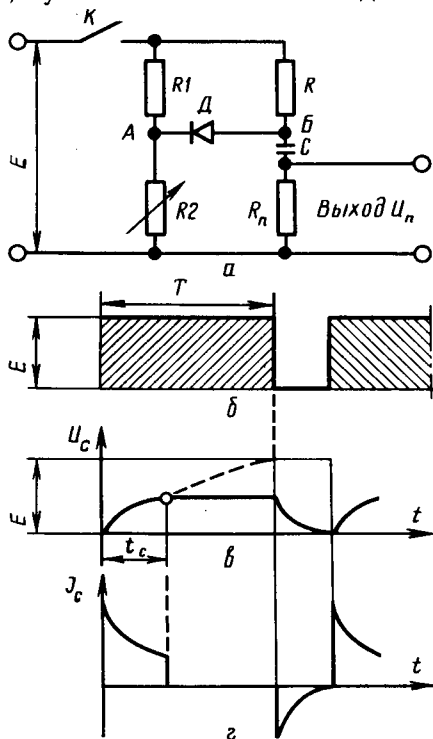


Рис. 11.4. Экспоненциальный преобразователь

вичный измерительный прибор *ПИ* снабжают контактами, к которым подводится напряжение питания. Неподвижный контакт закрепляют левее нулевой отметки шкалы, а контакт *B* — на стрелке прибора. Щеточный контакт *C* приводится во вращение с постоянной частотой маломощным синхронным двигателем *ДВ*. Промежуток времени между моментами касания вращающимся контактом *C* контактов *A* и *B*

$$t = (\alpha_0 + \alpha) / 360n ,$$

где α_0 — начальный угол (от контакта *A* до начальной отметки шкалы), град; α — угол отклонения стрелки прибора, град; n — частота вращения двигателя, мин⁻¹.

Импульсы при замыкании контактов используются для передачи сигналов по фазоимпульсному методу либо сигналов, моделированных по длительности. Рассмотренный способ преобразования используют в медленнодействующих времяимпульсных системах.

В оросительных системах применяют телеизмерительную систему, принцип действия которой основан на экспоненциальном преобразователе (рис. 11.4). При замыкании ключа *K* на схему поступает импульс напряжения *E* длительностью *T*, и через сопротивления *R* и *R_n* начинается заряд конденсатора *C*. Процесс заряда будет продолжаться до тех пор, пока напряжения *U_a* и *U_b* не сравняются. В этот момент, равный *t₁* (рис. 11.4, б), открывается диод *D*, образуется цепь тока через *R*, *D*, *R₂*, и дальнейший рост *U_c* прекращается. Соответственно в этот момент зарядный ток *I_c* и напряжение *U_n*, снимаемое с сопротивления *R_n*, падают до нуля (рис. 11.4, в). Во время протекания тока с сопротивления *R_n* снимается импульс напряжения длительностью *t_c*. Величина измеряемого параметра определяется отрезком времени от момента начала передачи импульса напряжения прямоугольной формы до момента прихода сигнала о прекращении заряда конденсатора.

При изменении измеряемой величины потенциометрический датчик поворачивается и меняет величину *R₂*, посылая при этом в линию импульсы различной длительности, пропорциональные измеряемой величине и определяемые по формуле

$$t_c = RC \ln(1 + R_1/R_2) .$$

В момент, когда ключ *K* размыкается, конденсатор разряжается через диод *D*, сопротивления *R₂* и *R_n*, и получается отрицательный всплеск тока (рис. 11.4, г). Затем вновь включается ключ *K* и процесс повторяется.

§ 11.2. Кодоимпульсные системы телеизмерения

В кодоимпульсных системах телеизмерения измеряемая величина передается в виде определенной комбинации импульсов (кода).

Измеряемая величина квантуется по уровню и времени, и осуществляется кодоимпульсная модуляция. Как показано на рисунке 11.5, каждый дискретный уровень передается с помощью кода в дискретные моменты времени, отстоящие друг от друга на равные отрезки времени. Взамен непрерывной (*a*) образуется ступенчатая (*b*) функция, которую передают по линии связи.

С первого взгляда кажется, что передача непрерывной функции позволяет точно ее воспроизвести, однако легко убедиться, что кодовая система обеспечивает бóльшую точность телеизмерения и имеет ряд преимуществ по сравнению с остальными системами, главные из которых приведены ниже.

1. Большая помехоустойчивость и, следовательно, возможность передачи телеизмерения на большие расстояния. При использовании помехозащищенных кодов, в которых исключается погрешность за счет ошибочного приема нуля вместо единицы и наоборот, погрешности при передаче и приеме исключаются.

2. Большая точность телеизмерения. Точность преобразователей, преобразующих измеряемые величины в код, может быть меньше 0,1 %, что выше точности преобразователей других систем телеизмерения, которая лежит в пределах 0,5...0,15 %.

3. Получать информации в цифровой форме и осуществлять индикацию в цифровой форме, обеспечивающую меньшую погрешность при считывании и простоту цифровой регистрации данных. Кроме того, без всяких преобразователей вводится цифровая информация в ЭВМ.

Наиболее часто измеряемую величину представляют в двоичном коде или в его модификации. Однако часто применяют двоично-десятичный код, облегчающий перевод двоичного кода в десятичную форму, в которой происходят отсчет и регистрация измеряемой величины.

Применяют два основных способа преобразования величины в код: по первому способу измеряемая величина преобразуется в угол поворота, который затем преобразуется в код; по второму способу — сначала в ток (напряжение), а затем в код.

Для преобразования угла поворота в код используют кодирующие диски. На вал измерительного прибора, совершающего определенные угловые перемещения в соответствии с измеряемой величиной, насаживают диск, на концентрических окружностях которого (их число равно числу разрядов кода) нанесено изображение кода. Каждому положению вала соответствует определенная комбинация из 0 и 1, которая фиксируется неподвижным считывающим устройством. Кодирующие диски бывают с контактным либо (чаще) с фотоэлектрическим считывающим уст-

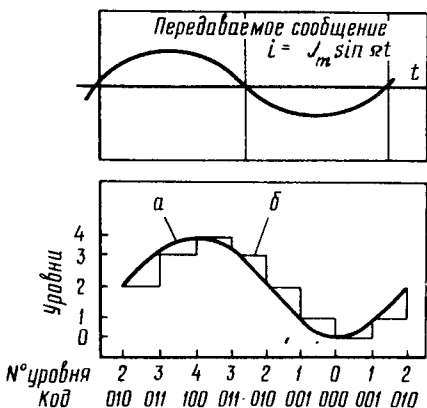


Рис. 11.5. Кодоимпульсная модуляция (КИМ)

диска расположены источники света *ИС* с оптическими системами *Л*, направляющими пучки света через отверстия в диске на фотоэлементы *ФЭ* (рис. 11.6, *а*), где показан диск в разрезе по линии 2—10 согласно рисунку 11.6, *б*. Сигналы возникают на выходе тех фотоэлементов, которые в данный момент времени не перекрываются непрозрачными (нулевыми) участками диска. При том положении диска, который указан на рисунке, считывается цифра 2, так как на первый, третий и четвертый фотоэлементы луч света не попадает, что соответствует нулю в младшем и двух старших разрядах, а засветка второго фотоэлемента посылает на выход одну единицу. Таким образом на выходе регистрируется кодовая комбинация 0010. В таблице 11.1 приведен циклический код Грея для десятичных чисел от 0 до 17, а на рисунке 11.6, *в* — соответствующий ему кодирующий диск. Код Грея имеет преимущество перед двоичным кодом — в нем при переходе от числа к числу изменяется всякий раз только один разряд чисел, а в двоичном коде — несколько. Например, в простом дво-

ройством. В контактном считывающем устройстве код наносит с помощью проводящих и непроводящих дуг, соответствующих единицам и нулям кода, а считывающее устройство выполняют в виде скользящих по дугам контактов. Для фотоэлектрического считывания кодовый диск делают из прозрачного материала (например, стекла), рисунок кода — кодовую маску — наносят фотографическим путем в виде прозрачных участков, соответствующих единицам, и непрозрачных, соответствующих нулям кода. С одной стороны

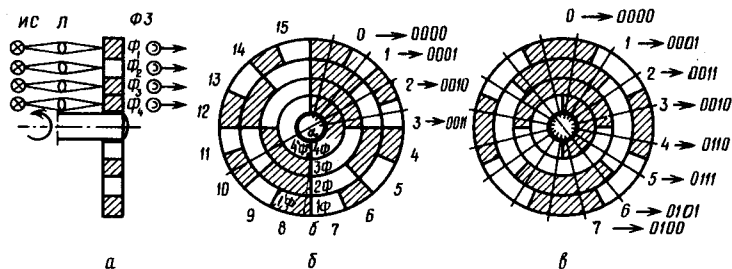


Рис. 11.6. Кодирующие диски для кодов:
 а — считывание показаний с диска; б — двоичного; в — диск с маской четырехразрядного кода Грея

11.1. Двоичный и циклический коды

Десятичное число	Двоичное число	Циклический код Грея	Десятичное число	Двоичное число	Циклический код Грея
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000
			16	10 000	11 000
			17	10 001	11 001

ичном коде при переходе от числа 0111 к следующему большому числу 1000 одновременно изменяются все четыре разряда числа. Для двоичного кода на границе перехода от одного кода к другому могут возникнуть ошибки при считывании. Так, коды соседних чисел могут различаться несколькими разрядами, считываемый код содержит часть разрядов, относящихся к одному пограничному коду, а часть — к другому. Например, на границе от кода 0111 к коду 1000 (положения фотоэлементов $1\Phi \dots 4\Phi$) будет сниматься число 0111 (линия $a-b$ на рис. 11.6), то есть 7 в десятичном эквиваленте. Если фотоэлемент 4Φ будет при неточной установке выдвинут несколько вперед (положение 4Φ) по отношению к остальным трем фотоэлементам, то будет считано число 1111 (вместо 0111), то есть 15 в десятичном исчислении. Соответственно могут быть погрешности в установке других фотоэлементов. Таким образом, при использовании маски обычного двоичного кода ошибка, если она возникает в старшем разряде, будет максимальной. В общем случае, если старший разряд имеет номер n , то максимальная ошибка составит 2^{n-1} . Во избежание подобных ошибок вместо обычного двоичного кода применяют код Грея, в котором при переходе от одного числа к другому кодовая комбинация изменяется только в одном разряде, причем кодовая маска составляется так, что это изменение в разряде может дать погрешность только на единицу, то есть в младшем разряде.

Обычный двоичный код преобразуется в код Грея суммированием по модулю 2 данной комбинации с такой же, но сдвинутой вправо на один разряд без переноса единиц в следующий разряд. Например, двоичные числа 1101 и 1010 и код Грея преобразуются следующим образом:

$$\begin{array}{r}
 1101 \\
 1101 \\
 \hline
 1011
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 1010 \\
 1010 \\
 \hline
 1111
 \end{array}$$

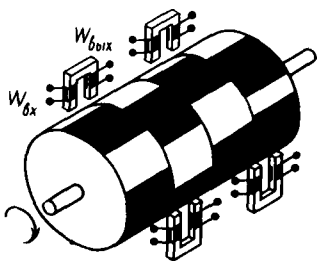


Рис. 11.7. Схема индукционного кодирующего преобразователя

При сложении единица в младшем разряде первой суммы и нуль, также в младшем разряде второй суммы, отбрасываются. Двоичное число в код Грея можно преобразовать и по следующему принципу. Если в старшем, соседнем по отношению к данному, разряде двоичного числа стоит 0, то в данном разряде кода Грея сохраняется цифра, записанная в двоичном коде, если же 1, то цифра меняется на обратную. Например, при переводе двоичного кода 1101 в младшем разряде кода Грея сохраняется единица,

так как в соседнем (втором) разряде двоичного кода записан 0. Во втором разряде кода Грея 0 изменяется на единицу, так как в третьем разряде двоичного кода записана 1. В третьем разряде 1 заменяется на нуль из-за того, что в четвертом разряде двоичного кода стоит 1, а в четвертом разряде кода Грея останется 1, так как подразумевается, что левее четвертого разряда двоичного числа стоит 0. В итоге перевода двоичного кода 1101 в код Грея получим 1011.

Применяют и другие способы преобразования величины угла в код и его считывание. Например, бесконтактный преобразователь «вал — код» индукционного типа, в котором кодирование проводится с помощью кодовой маски из ферромагнитного материала и считывающих трансформаторов с разомкнутыми П-образными сердечниками. На сердечниках считывающих трансформаторов имеются по две обмотки $W_{вх}$ и $W_{вых}$ (рис. 11.7), в зависимости от угла поворота входного вала кодовая маска замыкает соответствующие сердечники.

Код считывается с помощью распределителя импульсов. Импульсы распределителя, подаваемые на входы замкнутых сердечников, трансформируются в выходные обмотки, образуя единицы кода, а в разомкнутых магнитопроводах вследствие большого сопротивления магнитной цепи образуются нули кода.

Структурная схема одного из кодирующих преобразователей по схеме «напряжение — время — число — код» (второй способ преобразования измеряемых величин в код) представлена на рисунке 11.8. Напряжение, соответствующее измеряемому параметру, преобразуется с помощью временимпульсного преобразователя ВИП в импульс соответствующей длительности t_n . В течение этого времени подсчитывается число импульсов, создаваемых генератором ГИ, со стабильной частотой f . Сосчитанное число импульсов, пропорциональное интервалу времени t_n и напряжению, соответствующему измеряемой величине, преобразуется в код для передачи по линии связи.

По сравнению с первым второй способ преобразования слож-

нее, однако он более точен и универсален. Область применения преобразователей угла перемещения в код ограничена, так как его измерительное устройство лимитирует точность измерения и имеет ограниченное быстроедействие. Интерес представляют устройства, которые предназначены для

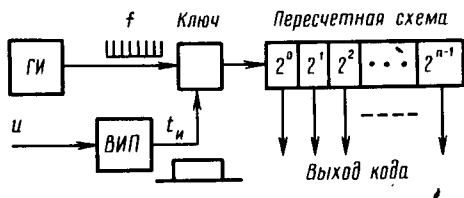


Рис. 11.8. Структурная схема кодирующего преобразователя по схеме: напряжение — время — число — код

обратного преобразования переданного кода в измеряемую величину. Этот процесс называют декодированием. Две схемы декодирующих устройств для перевода двоичного кода в десятичную форму и цифрового воспроизведения показаний (цифровые дешифраторы) приведены на рисунке 11.9. Схема цифрового дешифратора для одного десятичного разряда показана на рисунке 11.9, а. Схема построена на электромагнитных реле. Каждому двоичному коду отвечает один из 10 выходов.

Приведенная на рисунке 11.9, б диодная матрица выполняет аналогичную задачу. Матрица имеет четыре выхода (2^3 , 2^2 , 2^1 , 2^0) и десять выходов. В цепи выходов включены большие сопротивления R . При отсутствии управляющего потенциала на горизонтальной шинке диоды, связывающие ее с вертикальными, открыты. Соответствующие вертикальные шины соединены с минусом источника питания через небольшое сопротивление r , и напряжения на выходах близки к нулю. При подаче управляющего потенциала все диоды запираются. Когда диоды, соединенные

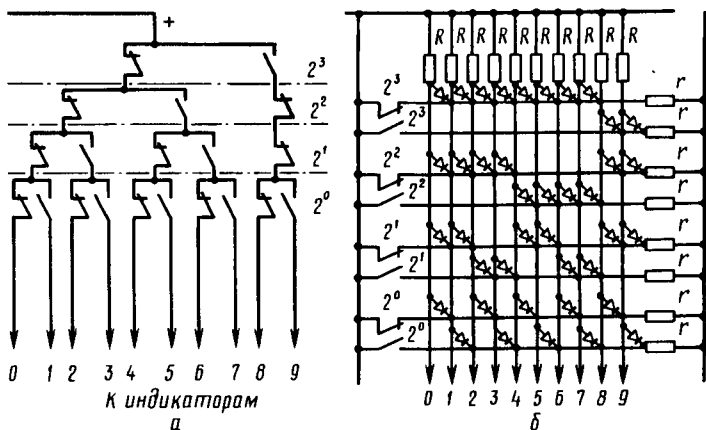


Рис. 11.9. Схемы дешифратора двоично-десятичного кода: а — схема дешифратора для одного десятичного разряда на релейно-контактной аппаратуре; б — диодная матрица

с данной вертикальной шинкой, заперты, на выходе возникает рабочее напряжение.

Из сказанного выше о кодоимпульсных системах телеизмерения следует:

кодоимпульсные системы телеизмерения относятся к системам телеизмерения дальнего действия;

погрешность при передаче и приеме не возникает при условии применения помехозащищенных кодов;

точность преобразователей, преобразующих измеряемые величины в код, практически выше точности всех других рассмотренных систем телеизмерения.

§ 11.3. Частотные системы телеизмерения

Частотные устройства телеизмерения составляют группу устройств с частотной и частотно-импульсной модуляцией, у которых измеряемая величина пропорциональна и функционально связана с частотой синусоидального или импульсного сигнала в канале связи. Передатчиком частотно-импульсного устройства служит управляемый импульсный генератор, частота которого пропорциональна или функционально связана со значением параметра, подаваемого на вход. Следовательно, этот управляемый импульсный генератор является преобразователем значения телеизмеряемого параметра (напряжения, тока, мощности и т. п.) в частоту импульсных колебаний.

Структурная схема частотной системы телеизмерения приведена на рисунке 11.10. В этой схеме первичный преобразователь ПП преобразует измеряемую величину x в унифицированную z (ток, напряжение и др.). В передающем устройстве величина z преобразуется в частоту f . В приемном устройстве происходят обратные превращения частоты f в напряжение U , ток I или число импульсов N при цифровом отсчете. Для примера на рисунке 11.11 приведена схема простейшего частотно-импульсного устройства телеизмерений

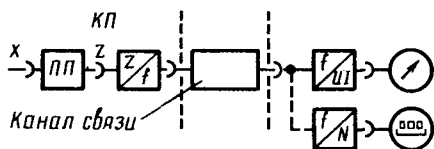


Рис. 11.10. Структурная схема частотной системы телеизмерения

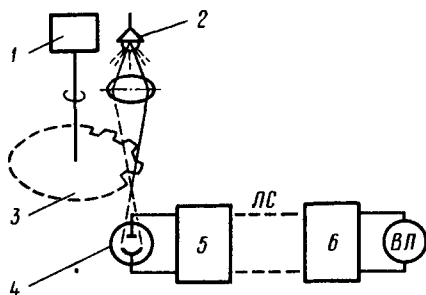


Рис. 11.11. Схема частотно-импульсного устройства телеизмерения электрической мощности:

1 — электрический счетчик; 2 — источник света; 3 — диск с прорезями; 4 — фотоэлемент; 5 — усилитель; 6 — частотомер

мощности электрического тока, в котором на оси электрического счетчика энергии *1* установлен диск с равномерными прорезями *3*. В этом фотоэлектрическом преобразователе частота импульсов на выходе фотоэлемента *4* и частотомера *6* пропорциональна телеизмеряемой мощности.

Контрольные вопросы и задания

1. Нарисуйте принципиальную схему телеизмерения и расскажите, чем она отличается от схемы дистанционного измерения.

2. Какие системы телеизмерения называют системами ближнего действия и по каким схемам их выполняют?

3. Каковы принципы кодоимпульсных систем телеизмерения?

4. В чем особенности частотного метода телеизмерения?

5. Расскажите о способах считывания кода, в частности о фотоэлектрическом способе считывания кода.

6. Напишите код Грея для чисел 1...5 и расскажите, как он образуется и каковы его преимущества перед обычным двоичным кодом?

7. Как осуществляется преобразование по схеме «напряжение — время — число — код»?

8. Какие схемы дешифраторов двоично-десятичного кода Вам известны?

9. Расскажите, как устроен бесконтактный преобразователь вал — код индукционного типа.

Глава 12. КАНАЛЫ СВЯЗИ

§ 12.1. Общие сведения

Каналом связи называют совокупность технических средств и тракта (кабельной или воздушной линии) для передачи сообщений на расстояние. Чтобы не увеличивать стоимость устройства телемеханики прокладкой многих линий связи, для передачи сообщений между *ПУ* и многими *КП* используют линии связи многократно, то есть по одной линии связи (одной паре проводов) передают много сообщений одновременно — организуют много каналов связи.

Линия связи — важнейшая и неотъемлемая часть системы телемеханики, от нее в значительной мере зависят надежность и эффективность телемеханизации в целом. Следует также учесть сравнительно высокую стоимость линии связи, которая во многих случаях превышает стоимость аппаратуры телемеханики.

Для передачи телемеханической информации применяют линии проводной связи, линии электроснабжения и радиотракт в виде радиорелейных линий, а также отдельных радиопередатчиков с радиоприемниками. Проводные линии, используемые исключительно для передачи телемеханической информации, называют физическими проводными линиями связи. В гидромелиоративных системах для телемеханизации применяют воздушные и кабельные (реже) линии. Достоинства воздушных линий: сравнительная доступность и легкость отыскания повреждений, воз-

возможность использования прочных и менее дефицитных стальных проводов.

Основные недостатки: чувствительность к внешним помехам, значительные утечки при неблагоприятных атмосферных условиях, повышенные требования к наблюдению и уходу.

В ряде случаев в гидромелиоративных системах используют одну двухпроводную линию для комплексной системы телемеханики, включая телефонную связь.

§ 12.2. Некоторые конструктивные особенности линии связи гидромелиоративных систем

Линии связи прокладывают на минимально допустимом расстоянии от объектов телемеханизации вдоль оросительного канала. Часто также вдоль канала прокладывают силовую линию (преимущественно 6...10 кВ). В этом случае ближе к автоматизируемым объектам и, следовательно, к оросительному каналу располагают силовую линию (чтобы не удлинять участки сети от

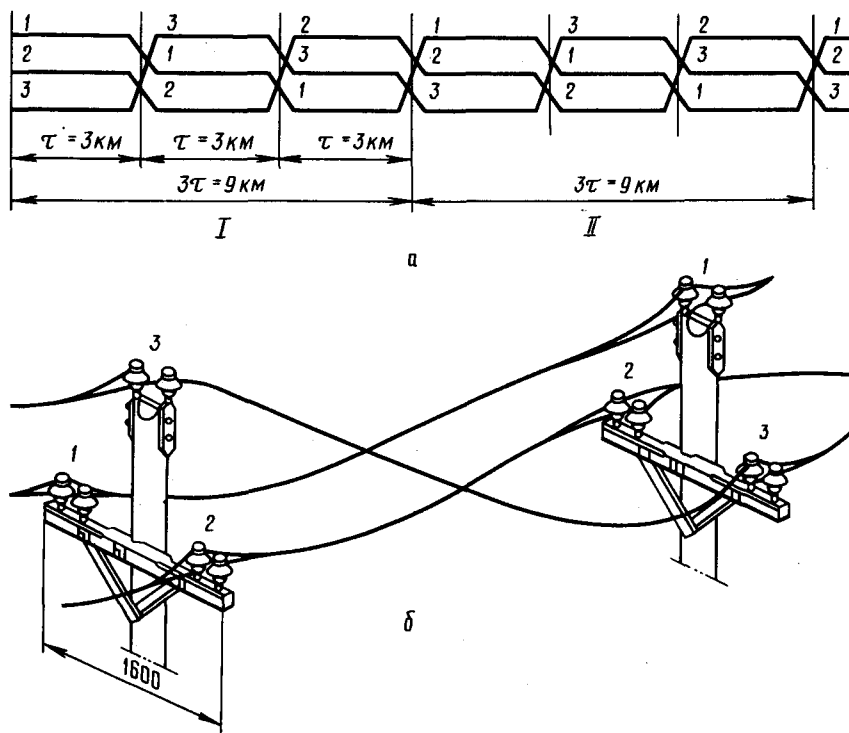


Рис. 12.1. Транспозиция проводов линий 6...10 кВ:

а — схема; б — устройство транспозиции на промежуточной опоре; I и II — первый и второй циклы транспозиции

линии электропередачи до потребителя). Линию связи прокладывают параллельно линии сильного тока на расстоянии, при котором мешающие напряжения и токи в линиях связи не превышают допустимых пределов. Отпайку от линии связи до объектов обычно выполняют кабелем.

На всем протяжении линии (6...10 кВ) осуществляют транспозицию (скрещивание) проводов. Протяженность цикла транспозиции принимают 9 км, для чего через каждые 3 км меняют взаимное расположение высоковольтных проводов 1, 2 и 3 (рис. 12.1, а, б). Если длина линии не соответствует целому числу циклов и остаток линии составляет более 3 км, то на этом отрезке устанавливают цикл транспозиции с укороченным шагом. На участках длиной менее 3 км транспозицию не осуществляют.

§ 12.3. Параметры воздушных линий

Первичные параметры. Активное сопротивление R , индуктивное сопротивление L , емкость C и проводимость изоляции G относят к первичным параметрам линии связи.

Эквивалентная схема элементарного участка линии связи, известная из курса электротехники, которая показывает, как распределяются по длине линии перечисленные первичные параметры, приведена на рисунке 12.2. При прохождении электрического тока на активном сопротивлении и индуктивности происходит падение напряжения, а через емкость и проводимость изоляции часть тока ответвляется и, не доходя до нагрузки, возвращается к источнику питания. Как за счет падения напряжения в линии, так и за счет утечек здесь имеет место потеря энергии. Если на всем протяжении конструкция линии остается неизменной и провода состоят из одинакового материала, то такую цепь называют однородной — ее первичные параметры при данной частоте остаются постоянными по всей длине линии.

Активное сопротивление проводов постоянному току зависит от удельного сопротивления материала провода, площади его поперечного сечения и длины. Активное сопротивление (Ом/км) одного километра двухпроводной цепи постоянному току при температуре окружающей среды 20°C определяют по формуле

$$R_0 = \rho 2545/d^2,$$

где ρ — удельное сопротивление провода при температуре окружающей среды 20°C , Ом·мм²/м (табл. 12.1); d — диаметр провода, мм.

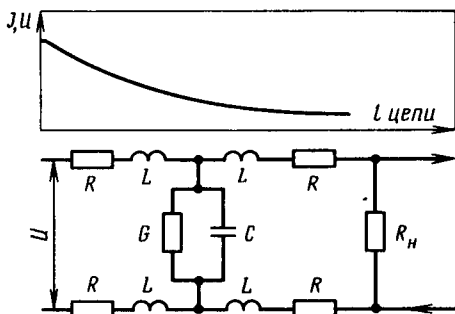


Рис. 12.2. Эквивалентная схема элементарного участка линии

С повышением температуры активное сопротивление увеличивается и составляет

$$R_0 = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] ,$$

где R_{20} — сопротивление проводов при температуре 20° С, Ом; α — температурный коэффициент материала проводов (табл. 12.1); t — заданная температура, °С.

12.1. Значение коэффициентов ρ и α для различных проводов

Материал провода	ρ , Ом \times мм ² /м	α
Медь	0,01785	0,0039
Алюминий	0,02910	0,0037
Стальная проволока	0,13900	0,0046

При колебаниях температуры от минус 30 до 40 °С сопротивление стального провода изменяется примерно на 30 %. Сопротивление неоднородного проводника, состоящего из различных материалов (биметаллического, сталеалюминиевого или стале-медного), определяют как сопротивление двух параллельно соединенных проводников из различных материалов, то есть

$$R_{\text{неод}} = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2) .$$

При переменном токе активное сопротивление возрастает с увеличением частоты, магнитной проницаемости материала проводов и уменьшением расстояния проводов цепи между собой. Зависимость активного сопротивления цепи от частоты тока (с учетом поверхностного эффекта и эффекта близости) приведена в таблице 12.2.

Проходящий по цепи ток создает магнитное поле как внутри провода, так и в окружающем его пространстве. Отношение магнитного потока к возбуждавшему его току называют индуктивностью цепи. Индуктивность, включенная последовательно в цепь, создает индуктивное сопротивление

$$x_L = 6,28 fL ,$$

где f — частота, Гц; L — индуктивность, Г.

Индуктивное сопротивление возрастает с увеличением частоты тока. Индуктивность (Г) на 1 км для двухпроводной линии вычисляют

$$L_0 = (0,92 \lg a_1/r + 0,1\mu) \cdot 10^{-3} ,$$

где a_1 — расстояние между проводами, см; r — радиус провода, см; μ — относительная магнитная проницаемость материала провода (для железных и стальных проводов принимают $\mu = 120$, для медных — $\mu = 1$).

В этой формуле $0,92 \lg a_1/r$ выражает внешнюю индуктивность, а $0,1\mu$ — внутреннюю. Индуктивность стального провода на 1 км,

12.2. Зависимость активного сопротивления от частоты тока

Проводник		Активное сопротивление (Ом/км) при частоте (кГц)				
материал	диаметр, мм	0	0,3	0,8	2	5
<i>Воздушная цепь</i>						
Медь	4	2,84	2,84	2,87	3,02	3,7
Сталь	4	22	28	42,2	68,4	96,4
<i>Кабельная цепь</i>						
Медь	0,5 (парная скрутка)	190	190	190	190,5	192
»	1,2 (звездная скрутка)	31,6	31,6	31,75	31,8	33,3

Продолжение

Проводник		Активное сопротивление (Ом/км) при частоте (кГц)				
материал	диаметр, мм	10	20	50	100	150
<i>Воздушная цепь</i>						
Медь	4	4,98	6,74	10	14	17,2
Сталь	4	134,2	187,7	293	408	493
<i>Кабельная цепь</i>						
Медь	0,5 (парная скрутка)	193	—	—	—	—
»	1,2 (звездная скрутка)	34,5	37,7	48,9	66,7	80,6

подсчитанная по этой формуле, равна 0,009 Г/км и практически не зависит от диаметра провода.

Электрическая емкость (Ф/км) двухпроводной линии

$$C = [0,0121 / (\lg a_1 / r)] 10^{-6}.$$

При практических расчетах емкость воздушной линии на 1 км принимают равной 0,009 мкФ. Емкостное сопротивление переменному току

$$X_c = 1 / 6,28fC.$$

Следовательно, с увеличением частоты емкостное сопротивление уменьшается.

Свойство изоляции проводов цепи пропускать электрический ток называют проводимостью. Она зависит от качества изоляторов, погоды, частоты тока (с повышением частоты возрастают диэлектрические потери изоляторов). Проводимость изоляции уменьшает ток, поступающий в приемник, и приводит к искажению формы сигнала. При постоянном токе проводимость изоляции (См/км) определяют как величину, обратную сопротивлению изоляции между проводами:

$$G = 1/R_{из}.$$

При переменном токе проводимость увеличивается за счет диэлектрических потерь. При расчетах линий связи систем телемеханики принимают $G = 1 \cdot 10^{-6}$ См/км.

Вторичные параметры цепей связи. В линиях небольшой протяженности ток практически одинаков как в начале, так и в конце цепи. Однако в протяженных линиях при большой частоте вследствие влияния емкости, распределенной по длине, ток в различных точках линии имеет неодинаковые значения. Падение напряжения в отдельных точках линии также различно.

Для определения качества передачи в длинных линиях служат так называемые вторичные параметры — волновое сопротивление и коэффициент затухания.

Волновое сопротивление $z_{в}$ (Ом) представляет собой то сопротивление, которое в любой точке бесконечно длинной линии может заменить всю остальную ее часть, $z_{в} = U/I$.

Если отрезать часть бесконечно длинной линии и вместо нее подключить $z_{в}$, то во всех точках оставшейся линии U и I будут иметь прежние значения.

В общем случае $z_{в} = \sqrt{(R + j\omega L)/(G + j\omega C)}$, при частотах больше 10 кГц R и G сравнительно малы (по сравнению с L и C), поэтому принимают

$$z_{в} = \sqrt{L/C}.$$

Волновое сопротивление цепи с увеличением частоты уменьшается. Частотная зависимость волнового сопротивления для разных цепей неодинакова. Например, при $f = 800$ Гц для воздушных стальных цепей $z_{в} = 1400$ Ом, медных $z_{в} = 600$, для кабельных $z_{в} = 300$ Ом.

Физически волновое сопротивление выражает сопротивление, встречаемое электромагнитной волной вдоль однородной цепи. Оно не зависит от длины линии, а является функцией первичных параметров цепи. Если включить в начало бесконечно длинной однородной цепи источник переменного тока, то вдоль нее распространяется постепенно убывающая (падающая) электромагнитная волна, которая в какой-то точке станет равной нулю. При подключении однородной цепи к приемнику с входным сопротивлением $z_{пр}$, равным волновому сопротивлению, вся энергия электромагнитной волны будет принята приемником. Если же $z_{пр}$ окажется не равным $z_{в}$, то часть падающей волны отразится от входа приемника и будет распространяться к началу цепи (отраженная волна). Таким образом, если к концам однородной линии подключить нагрузку, отличную от величины $z_{в}$, то в цепи может появиться не одна, а несколько падающих и отраженных волн, которые приводят к дополнительному затуханию сигнала и его искажению, что особенно неблагоприятно для телемеханических каналов связи.

В длинных линиях всегда имеет место затухание — уменьше-

ние мощности тока или напряжения вдоль линии за счет затраты энергии на создание электрического и магнитного полей.

Коэффициент затухания определяет уменьшение амплитуды мощности, напряжения или тока на участке длиной в 1 км (километрическое затухание). Единицей измерения затухания принят белл. Одному беллу равно такое затухание, при котором десятичный логарифм отношения мощностей в начале P_n и конца P_k цепи равен единице, то есть $A = \lg P_n / P_k$.

Например, если мощность в начале цепи равна 100 мВт, а в конце 10 мВт, то $A = \lg 100 / 10 = \lg 10$.

На практике пользуются единицей затухания децибелл (дБ), в десять раз меньшей белла. При затухании в 1 дБ мощность уменьшается в 1,259 раза, а напряжение и ток — в $\sqrt{1,259} = 1,12$ раза. Тогда по затуханию мощности $A = 10 \lg 1,259 \cong 10,01 = 1$ дБ; по затуханию напряжения $A = 20 \lg 1,22 \cong 20 \times 0,05 = 1$ дБ. Общее затухание цепи — произведение коэффициента затухания на длину цепи в километрах. Ранее величину затухания измеряли в неперах, поэтому, чтобы выразить затухание в децибеллах, нужно число неперов умножить на коэффициент 8,686. Для обратного перевода в неперы число децибеллов умножают на коэффициент 0,1151. Стальные провода обладают в десятки раз большим затуханием, чем медные, так как оно зависит в основном от активного сопротивления. Поэтому увеличения дальности передачи достигают, используя провода с меньшим удельным сопротивлением.

§ 12.4. Использование линий телефонной связи для передачи сигналов телемеханики

Два метода многократного использования линии связи (временной и частотной) показаны на рисунках 10.6 и 10.7. Рассмотрим еще один способ, называемый методом искусственных цепей. На рисунке 12.3 показана схема дуплексной (двусторонней) связи. Линии связи в основном используют для передачи телефонных разговоров, и, кроме того, они позволяют осуществить передачу команд из одного пункта в другой и наоборот. При передаче команды из пункта $П1$ в пункт $П2$ нажимают ключ $К1$. Импульс тока от батареи B через обмотки дифференциального реле $P2$ и разделяющие трансформаторы $Tr1$ и $Tr2$ проходит через реле $P1$ и включает его. Реле $P2$ не включается потому, что одинаковые токи I'_1 и I'_2 в его обмотках протекают в разных направлениях и суммарный магнитный поток равен нулю. В отличие от этого токи в обмотках реле $P1$ протекают в одну и ту же сторону, реле вступает в работу, и его контакты включают цепь выполнения команды.

Токи, обусловленные передачей команды, протекают через вторичные обмотки разделяющих трансформаторов $Tr1$ и $Tr2$ в разные стороны и не наводят помехи при телефонных разговорах

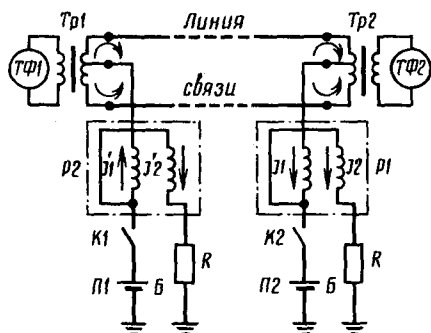


Рис. 12.3. Схема дулексной (двусторонней) связи для передачи телемеханических сигналов

наченный для телеизмерения и передачи телемеханических команд; 300...2400 — тональный диапазон для телефонных разговоров; 2400...8500 — надтональный диапазон для целей телемеханики; свыше 8500 Гц — высокочастотный диапазон для телефонных разговоров, но с использованием высокочастотного канала (высокочастотной несущей).

§ 12.5. Использование линий электропитания в качестве телемеханического канала связи

Для передачи сигналов телемеханики в энергосистемах наибольшее распространение получило использование высоковольтных линий электропередач (ВЛ). Линии электропередач обладают высокой механической прочностью, хорошей изоляцией и легки в эксплуатации.

Использование линий электропередач дает значительный экономический эффект несмотря на то, что обработка линии, обеспечивающая их использование для телемеханики, требует известных затрат.

Чаще всего линии электропередачи используют для управления подстанциями и другими объектами энергоснабжения; в этом случае направление линии совпадает с направлением канала телемеханики. В связи с большими помехами в ВЛ передача осуществляется на частотах в диапазоне 30...500 кГц. Схема образования канала телемеханики на ВЛ по схеме фаза — земля приведена на рисунке 12.4. Пост телемеханики ПТ отделяется от ВЛ конденсатором связи КС — большое сопротивление для переменного тока частотой 50 Гц, передаваемого по линии, и малое сопротивление для высококачественного канала телемеханики. Фильтр присоединения ФП и конденсатор связи вместе составляют полосовой фильтр, настроенный на передающую частоту сигнала телемеханики. Высокочастотный заградитель ВЧЗ

с аппаратом ТФ. Переменные токи, генерируемые в микрофоне при воздействии на него звуковых колебаний, проходят трансформатор и попадают в линию. Следовательно, в этом случае в линии циркулируют переменные токи с диапазоном тональных частот 300...2400 Гц. В том случае, если линию используют комплексно для телефона, телеграфа и телемеханики, диапазоны частот распределяют следующим образом: 0...300 Гц — подтональный диапазон, обычно предназ-

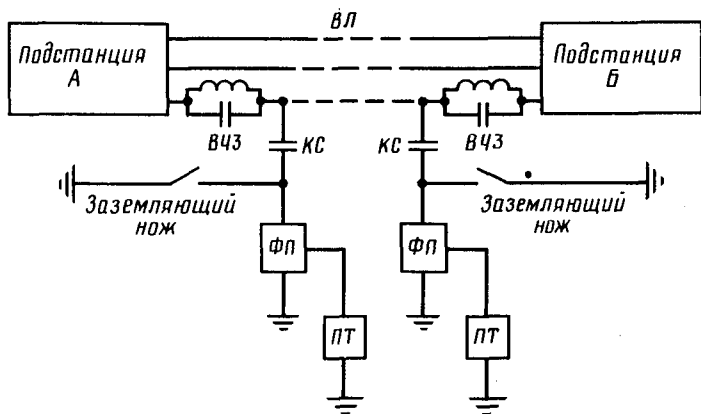


Рис. 12.4. Схема образования канала телемеханики на ВЛ по схеме «фаза — земля»

предохраняет от растекания тока высокой частоты; для частоты переменного тока 50 Гц его сопротивление незначительно. Для увеличения помехоустойчивости часто применяют обработку ВЛ по схеме фаза — фаза, то есть между двумя проводами. Однако число требуемой аппаратуры при этом удваивается.

§ 12.6. Радиорелейные каналы связи

Радиорелейные линии обеспечивают радиосвязь и радиоканалы телемеханики в ультракоротковолновом (УКВ) диапазоне на волнах от 3 см до 10 м. Радиосвязь в диапазоне УКВ наиболее надежна, однако распространение ультракоротких волн ухудшается при тумане, дожде и снеге. Но и с этим можно бороться, увеличивая мощность передатчика.

При передаче на расстояние, превышающее 50...70 км, используют ретрансляцию.

В водном хозяйстве радиорелейные линии нашли применение в системах сельскохозяйственных групповых водопроводов и других систем со сравнительно небольшим числом объектов, но с большими расстояниями между ними. Опыт их эксплуатации с использованием отдельных каналов для различного назначения телефонной связи и для телемеханики показал их высокую надежность.

Длительное время радиорелейная связь осуществлялась на аппаратуре типа «Контейнер», которая обеспечивает возможность организации шести резервируемых или двенадцати нерезервируемых каналов связи по двум стволам на одну антенну. Диапазон ее частот 390...470 мГц. Дальность действия при обеспечении условий «прямой видимости» между пунктами без ретрансляции — 30...50 км. Общая дальность действия при применении

пяти промежуточных станций и обеспечении условия «прямой видимости» между станциями равна 200...300 км.

Промышленностью выпускаются две радиорелейные системы — «Малютка» и «Трал-400/24», основные технические параметры которых приведены ниже.

Параметры	«Малютка»	«Трал-400/24»
Диапазон рабочих частот, МГц	150, 55...166, 65	390...470
Пропускная способность	4 канала	24 канала
Мощность передатчика, Вт	3,5...5	2,5...6
Протяженность радиорелейной линии РРЛ, км	500 (при 10 ретрансляциях на каждой промежуточной станции выделяют 4 канала)	800 (на каждой промежуточной станции выделяют 2 канала)

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите виды линий связи, применяемые при телемеханизации гидромелиоративных систем.
2. Сравните достоинства и недостатки воздушных и кабельных линий связи.
3. Какие параметры воздушных линий связи называют первичными?
4. Что называют волновым сопротивлением?
5. В каких единицах измеряют затухание и что называют коэффициентом затухания?
6. Когда применяют радиорелейные линии связи?
7. Нарисуйте схему образования канала телемеханики по линии электропитания.
8. Чем обуславливаются утечки в линиях связи и какое значение они имеют при передаче телемеханических сигналов?

Глава 13. УСТРОЙСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

§ 13.1. Основные требования к устройствам телемеханики

Для телемеханизации гидромелиоративных систем, как правило, применяют системы телемеханики для рассредоточенных объектов. Объекты гидромелиоративных систем удалены друг от друга на большие расстояния, число объектов управления на каждом КП, за некоторым исключением, существенно меньше общего числа КП; по определению (см. § 10.1) — это системы телемеханики для рассредоточенных объектов. Они обеспечивают двусторонний обмен информацией между диспетчерским пунктом и объектами управления при минимальных затратах на сооружение линий связи.

В оросительных системах (см. § 1.2) комплексной автоматизации и, следовательно, телемеханизации подлежат процессы во-

доподачи и водораспределения на межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, полив, а также дренажная сеть. В зависимости от категории оросительной системы по размерам орошаемых площадей, конструкции межхозяйственной и внутрихозяйственной частей, способа полива и степени автоматизации рассматриваемых технологических процессов формируются технические условия, которым должна удовлетворять система телемеханики, затем на основе этих условий осуществляется выбор конкретной телемеханической системы. В общем случае для телемеханизации водораспределения в межхозяйственной части системы используют комплексную систему телемеханики, выполняющую все функции ТУ, ТС, ТИ, а также телефонную связь по одной двухпроводной линии связи. При создании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) система телемеханики должна работать совместно с ЭВМ и в комплексе представлять собой телеавтоматизированную систему водораспределения. Такая система представляет собой также систему управления каскадом насосных станций, подающих воду. Зачастую по технико-экономическим соображениям сооружают каскады насосных станций без промежуточных или ограниченных резервных емкостей между насосными станциями, и в этом случае особенно актуально применение телеавтоматизированных систем для обеспечения работы каскада без перебоев в подаче воды и без сбросов.

Для телемеханизации внутрихозяйственной части системы, включая полив, применяют телеавтоматические системы программного управления (согласно разработанной технологии и программе полива) или работающие в зависимости от значения влажности почвы и других метеопараметров. Для большого числа средних и мелких оросительных систем и систем водопонижения (артезианские насосные установки) для обеспечения централизованного диспетчерского управления можно применять системы телемеханики, удовлетворяющие следующим основным условиям:

система телемеханики должна быть комплексной для рассредоточенных объектов и позволять по одной линии связи последовательно выполнять все функции диспетчерского управления, а именно: телеуправление двух- и многопозиционными объектами, телесигнализацию, телеизмерение, телерегулирование и телефонную связь;

целесообразно проводить телеизмерение по вызову, когда по объектную аппаратуру телеизмерения подключают к одному общему каналу связи по мере необходимости. Скорость изменения контролируемых параметров в гидромелиоративных системах невелика, поэтому непрерывное телеизмерение, как правило, не требуется;

наряду с телеизмерением по вызову должно также обеспечиваться автоматическое циклическое телеизмерение, при котором

последовательно передаются значения всех или части контролируемых параметров и они автоматически регистрируются;

подобная система телемеханики должна работать без наличия местных источников питания, так как в момент возможной аварии на объекте в связи с отключением местного источника энергии получение, помимо аварийного сигнала (обеспечиваемого во всех случаях), информации о состоянии объекта часто необходимо; на системах, оборудованных затворами гидравлического действия, где отсутствует электроэнергия, при помощи системы телемеханики осуществляется телеконтроль, а часто и передача уставок регуляторам затвора; электроэнергия на местах может отсутствовать на первом этапе автоматизации на ранее построенных оросительных системах, когда на месте объектами управляют вручную, лишь осуществляя телеконтроль (без местных источников электроэнергии). По мере оснащения объектов телеуправляемыми подъемными механизмами к телеконтролю добавляются операции телеуправления, и система автоматизации превращается в комплексную. В таких системах предпочтение отдают устройствам местной автоматики, устанавливая на местах автоматические регуляторы. Телемеханическое управление сводится лишь к передаче уставок автоматическим регуляторам. При аварии на линии связи (наименее надежного звена системы) оросительная система продолжает функционировать с учетом ранее переданных уставок. По этой же причине многообъектные сооружения (плотины, вододельительные узлы, перегородивающие сооружения, некоторые насосные станции) принимаются одиночными объектами телемеханизации. С диспетчерского пункта для подобных многообъектных сооружений в целом передается одна команда телеуправления, а местная автоматика обеспечивает требуемую программой последовательность и режим работы отдельных механизмов и сооружений.

Большинство телемеханизируемых объектов, которые будут работать без постоянного обслуживающего персонала, расположены в поле на открытом воздухе. Поэтому аппаратура телемеханики КП, устанавливаемая на таких объектах, должна надежно функционировать в условиях знакопеременных высоких и низких значений температур, влажности, запыленности, а также быть пригодной к работе в неблагоприятных условиях сезонной консервации и хранения. Одновременно с этим наличие большого числа сравнительно мелких телемеханизируемых объектов обуславливает необходимость простоты и низкой стоимости аппаратуры телемеханики. Обычно условия высокой надежности, простоты и низкой стоимости противоречивы. Конструирование подобной аппаратуры требует изыскания оптимальных соотношений для этих требований.

Условия эксплуатации гидромелиоративных систем не позволяют проводить ремонт аппаратуры в местах ее установки. Поэтому ее конструируют по блочному принципу, допускающему

замену поврежденного блока и его последующий ремонт (если это целесообразно) в централизованном порядке. При разработке унифицированной телемеханической системы определяют оптимальную дальность ее действия. Рассмотрение этого вопроса показало, что системы телемеханики с радиусом действия 70...75 км применены приблизительно на 90 % систем.

На оросительных системах эксплуатируют немало систем телемеханики типов ТМ-201 и ТИМ-72, которые в основном удовлетворяют вышеизложенным техническим условиям. Систему телемеханики ТМ-201 широко применяли при комплексной автоматизации водораспределения малых и средних оросительных систем. Серийный выпуск этих систем начиная с 1986 г. прекращен, и организован выпуск более совершенных телемеханических систем на интегральных микросхемах с использованием микро-ЭВМ для программного управления телемеханическими функциями.

§ 13.2. Комплекс средств телеавтоматики КЭТ-51.01

Назначение и основные технические данные. Комплекс средств телеавтоматики КЭТ-51.01 предназначен для телеавтоматизации рассредоточенных объектов средних и малых оросительных систем и других водохозяйственных объектов.

Набор аппаратных средств комплекса позволяет строить различные телемеханические системы с использованием промышленных первичных преобразователей с кодовыми и частотными выходными сигналами в пределах разработанного программного обеспечения комплекса, рассчитанного на работу по воздушным или кабельным линиям связи. Число проводов линии связи — три, в том числе два сигнальных, один общий. Структура линии связи — древовидная магистральная. Число направлений линий связи — 2, 3 или 4. Число КП на одном направлении в зависимости от числа направлений — соответственно 48, 32 или 24. Общее, максимальное число КП, обслуживаемых комплексом, — 96. Дальность действия комплекса при равномерном распределении КП вдоль линии связи (кабельной или воздушной) с удельным сопротивлением жил кабеля постоянному току не более 20 Ом/км и электрической емкостью до 50 нФ/км не более 30 км. Фактическую длину воздушной линии рассчитывают специально, и она зависит от общего числа КП, типа и сечения проводов линии.

Комплекс предназначен для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом. Управляет комплексом ЭВМ, расположенная на диспетчерском пункте, либо ЭВМ верхнего уровня по выделенному телеграфному каналу связи.

Комплекс обеспечивает передачу и обработку информации от датчиков со следующими выходными сигналами: унифицированный частотный сигнал 1...2 кГц при амплитуде напряжения не

менее 1 В на активной нагрузке 600 Ом; дискретный сигнал в виде двоично-десятичного рефлексного кода.

В кодовых датчиках и датчиках сигнализации должен использоваться по каждому разряду замыкающий контакт, обеспечивающий коммутацию постоянного тока от 10 до 30 мА. Выходной элемент блока телеуправления (БТУ) обеспечивает коммутацию переменного и постоянного тока 0,5 А при напряжении не более 220 В.

Программное обеспечение рассчитано на обработку результатов от следующих датчиков: уровня и положения затворов с кодовым выходом; уровня и положения затворов с частотным выходом; расхода с частотным выходом; положения уставок регуляторов с частотным выходом.

Аппаратура комплекса обеспечивает выполнение следующих операций: проверка состояния источников аварийной сигнализации (ТСА); телеизмерение (ТИ) кодовое и аналоговое частотное текущих значений, параметров уровня, положения затвора, давления, расхода; телеуправление двухпозиционными объектами (ТУ); телесигнализация состояния двухпозиционных объектов (ТС); телеуправление многопозиционными объектами со слежением (телерегулирование — ТР); диагностика КП (К); телефонная связь между ПУ и КП (ТЛФ) по инициативе ПУ; контроль состояния линии связи с целью выявления короткого замыкания.

Условия эксплуатации ПУ. ПУ можно эксплуатировать при температуре окружающего воздуха от 5 до 40 °С, относительной влажности воздуха при температуре окружающего воздуха 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги — не более 80 %.

Условия эксплуатации КП. При эксплуатации КП температура окружающего воздуха должна быть от минус 10 до плюс 50 °С; относительная влажность воздуха при температуре 35 °С и более низкой без конденсации влаги — не более 95 ± 3 %; исполнение аппаратуры комплекса по пыле- и водозащищенности — обыкновенное; средний срок службы комплекса — не менее 6 лет; питание ПУ комплекса от однофазной сети переменного тока $220 \pm \frac{22}{33}$ В, дистанционное — от блока АКТМ ПУ, кроме блоков телеуправления БТУ-1 и БТУ-2. Питание последних осуществляют от блока питания, установленного в БТУ-2 и подключенного к однофазной сети переменного тока напряжением $220 \pm \frac{22}{33}$ В частотой 50 ± 1 Гц. Мощность, потребляемая ПУ, — не более 500 В·А; КП (БТУ-2) — не более 5 В·А.

Общие виды устройств КП и ПУ представлены на рисунке 13.1, а, б соответственно.

Состав ПУ. Состав блоков и структурная схема ПУ показаны на рисунке 13.2. Блок управления (БУ) выполнен на базе микро-ЭВМ «Электроника С5-12-80» и реализует все алгоритмы измерения, управления и регулирования, а также обмен инфор-

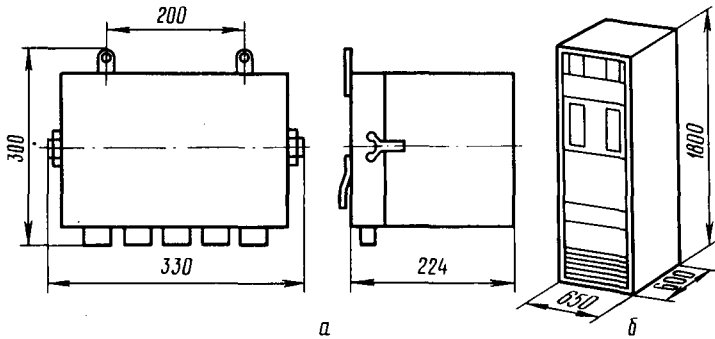


Рис. 13.1. Общие виды КП (а) и ПУ (б) устройства КЭТ-51.01

мацией с оператором ЭВМ верхнего уровня и управляющей ЭВМ. БУ осуществляет запуск микро-ЭВМ в ручном и автоматическом режимах. Аппаратура канала телемеханики (АКТМ) предназначена для сопряжения микро-ЭВМ с каналом телемеханики. АКТМ обеспечивает: формирование в любом из четырех фидеров телемеханических сигналов под воздействием управляющих команд микро-ЭВМ; организацию канала для передачи аналогового сигнала, телефонной связи и подключения выделенного телеграфного канала связи к ЭВМ верхнего уровня; прием сигналов аварийной сигнализации с КП и формирование запроса микро-ЭВМ для запуска программы обнаружения источника и причины аварий; постоянный контроль состояния линии связи и, в случае короткого замыкания, выдачу соответствующих сигналов в микро-ЭВМ.

Блок телефонной связи (БТС ПУ) предназначен для ведения телефонного разговора между ПУ и КП. Длительность телефон-

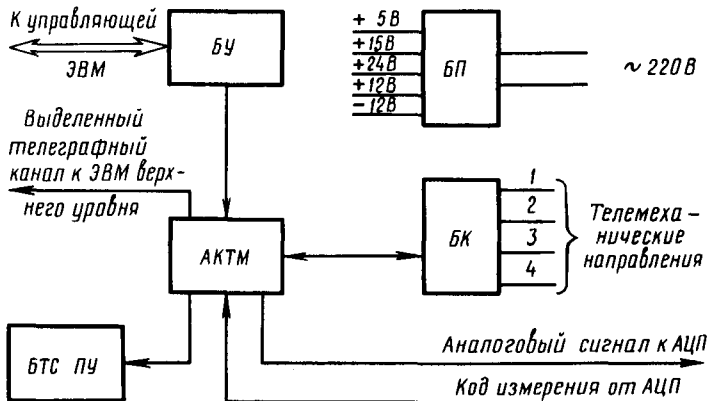


Рис. 13.2. Структурная схема КП КЭТ-51.01

ной связи устанавливается кратковременным нажатием кнопки «Продолжение разговора», расположенной на БТС ПУ. Блок коммутации линии связи (БК) служит для подключения одного из четырех фидеров к ПУ, а также осуществляет защиту ПУ от перенапряжения в линии связи. Блок телефонной связи ПУ (БТС ПУ) выполнен конструктивно законченным и состоит из платы и телефонного аппарата, устанавливают его на столе диспетчера.

Программное обеспечение, необходимое для функционирования комплекта КЭТ-51.01 на конкретном объекте, записывает завод-изготовитель КЭТ.

Режим работы ПУ. Исходным режимом работы комплекса является программный режим обнаружения аварии на КП, путем циклического опроса КП, который проводят периодически с заданным интервалом времени. Все остальные режимы работ по выполнению телеопераций задаются директивами с управляющей ЭВМ или ЭВМ верхнего уровня.

Работа комплекса с управляющей ЭВМ возможна при использовании функциональной клавиатуры для ввода диспетчером управляющих директив в КЭТ-51.01.

Устройство КП. Аппаратура КП выполняет следующие функции: прием с ПУ вызванной серии импульсов, передачу известительной ТС о правильности выбора КП (квитирование КП) в виде токовой посылки; прием серии импульсов для выбора одного из четырех информационных каналов; передачу на ПУ информации ТИ кодового характера о значении измеряемого параметра в виде токовой посылки; передачу на ПУ информации ТИ аналогового характера о значении измеряемого параметра в виде частотного сигнала (1...2 кГц); прием с ПУ команд ТУ (ТР) двухпозиционными и многопозиционными объектами и выдачу

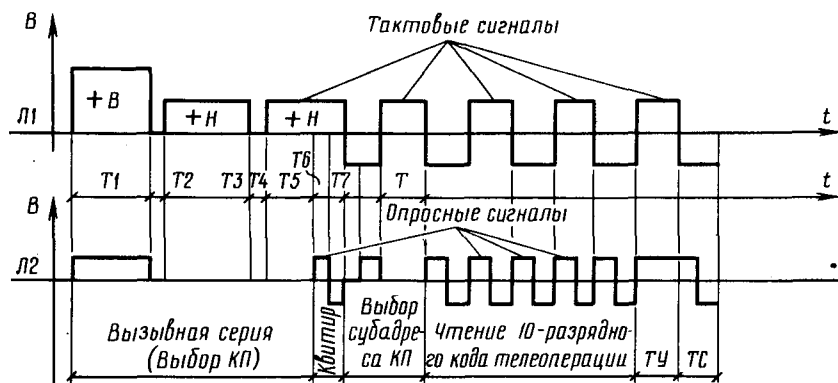


Рис. 13.3. Временная диаграмма работы КП КЭТ-51.01:

T — не менее 100 мс; T_1, T_3 — 200...1000 мс; T_2, T_4 — не более 130 мс; T_5 — не менее 20 мс; T_6, T_7 — не менее 50 мс; B — 180...210 В; H — 55...62 В; тактовые сигналы — 55...62 В; опросные сигналы — не более 62 В

управляющего воздействия на исполнительные органы объектов; формирование цепей для прохождения сигналов ТС; формирование цепи для прохождения спроса датчиков аварийной сигнализации.

Временная диаграмма работы КП приведена на рисунке 13.3.

В зависимости от числа КП на направлении вызывная серия может состоять из двух-трех и четырех импульсов. Независимо от числа импульсов вызывной серии первый импульс — высокого напряжения, второй — низкого. Первый и второй импульсы подаются одновременно. На шестом и седьмом тактах по Л2 осуществляется операция квитирования.

Анализ квитирующих сигналов на ПУ дает следующую информацию: 01—КП вызван; 00—КП не вызван или имеет обрыв линии; П-авария на КП.

Тактовые сигналы всегда подаются в Л1, а по Л2 подаются с ПУ на КП опросные сигналы.

Импульсом высокого напряжения отрицательной полярности, посылаемым по линии Л1, опрашивают наличие на направлении аварии КП (ТСА).

При компоновке КП состав функциональных блоков, входящих в конкретный КП, определяют набором технологических функций, решаемых КП. В зависимости от состава функциональных блоков КП имеет семь исполнений, для которых ориентировочный объем телеоперации приведен в таблице 13.1. Возможно увеличение одних функций за счет уменьшения других.

13.1. Модификация КП комплекса КЭТ-51.01

Модификация КП	Выполняемая телеоперация				Примечание
	ТУ	ТИа	ТИк	ТС	
КП-3-0	3	5	2	3	Диагностика
КП-3-1	3	—	3	3	»
КП-3-2	3	3	1	3	—
КП-3-3	3	—	1	6	—
КП-3-4	1	5	—	1	—
КП-3-5	3	1	—	3	—
КП-3-6	—	—	—	1	—

Конструктивное исполнение КЭТ-51.01 позволяет компоновать КП из отдельных функциональных блоков в любой комбинации и создавать оригинальные, отличные от приведенных в таблице 13.1. Это бывает необходимо, когда ни одна из модификаций КП не удовлетворяет по объему выполняемых телеопераций конкретному объему.

Следует однако учитывать, что при компоновке оригинальных КП проектировщику необходимо разработать соответствующую документацию.

§ 13.3. Телекомплекс ТК-132

Назначение, состав и основные технические данные. Аппаратура пункта управления телекомплекса ТК-132 с контролируемые пунктами КП предназначена для телеуправления и телеконтроля рассредоточенными объектами водохозяйственных систем в составе автономных систем диспетчерского управления или в составе АСУТП. Аппаратура пункта управления построена по агрегатному принципу с применением технических средств КТС ЛИУС-2 и является устройством с программным управлением сбором, обработкой, хранением и выдачей информации.

Аппаратура пункта управления обеспечивает работу с устройствами КП, в качестве которых используют устройства КП1, КП2 (системы телемеханики ТМ-130) и локальный управляющий вычислительный телекомплекс ЛТК-133 (см. § 13.4).

Число КП, подключаемых к пункту управления, не более 120 (два направления по 60 КП на каждом направлении).

Максимальная емкость КП1 и КП2 приведена в таблице 13.2, телекомплекса ЛТК-133 — в таблице 13.3.

13.2. Максимальная емкость телемеханических функций КП1, КП2

Наименование функции	Максимальный объем информации	
	КП1	КП2
ТУ	8	4
ТРК	8	2
ТС	16	8
ТИТ	16	4
ТИИ	8	—

I. Телекомплекс ТК-132 выполняет следующие функции: 1) телеуправление двухпозиционными объектами (ТУ); 2) телерегулирование методом передачи уставки регуляторам (ТРК); 3) телеизмерение текущих значений параметров (ТИТ); 4) телеизмерение интегральных значений параметров (ТИИ); 5) телесигнализацию состояния двухпозиционных объектов (ТС); 6) двусторонний вызов абонента к телефону со стороны ПУ и КП и ведение переговоров по линии связи, не занятой сигналами телемеханики.

II. Аппаратура ПУ выполняет следующие функции по обработке, воспроизведению и регистрации информации, принятой с КП: 1) обнаружение сигнализации без запроса со стороны пункта управления (ПУ); изменение состояния объектов ТС (датчиков состояния объектов, аварийной сигнализации и т. п.), вызова диспетчера к телефону, со стороны абонента КП; 2) ввод

уставок для параметров ТИТ, сравнение их с заданными уставками; 3) включение звуковой сигнализации и выдачу соответствующей информации на экран видеотерминала пульта диспетчера (ПД) при обнаружении сигналов без запроса со стороны ПУ и отклонения ТИТ от заданной уставки; 4) цифробуквенную индексацию информации на экране видеотерминала (ВТА) ПД в режимах работы аппаратуры (задание команд ТУ, ТР, вывод известительной информации ТС, ТИТ, ТИИ, задание уставок ТИТ и т. д.); 5) вывод значения (состояния) любого параметра (объекта) или группы параметров (объектов) ТИТ, ТИИ (ТС) по заданию диспетчера на экран ВТА; 6) индексацию на экране ВТА параметра ТИТ и ТИИ в абсолютном или относительном (только для ТИТ по заданию диспетчера) значении; 7) цифробуквенную регистрацию командной (ТУ, ТРК) и известительной (ТС, ТИТ, ТИИ) информации на бланке устройства печати, автоматически, через заданные промежутки времени или по заданию диспетчера; 8) перфорацию командной информации и сигналов без опроса со стороны ПУ; 9) выдачу информации ТС для воспроизведения на мимическом и световом щитах; 10) обмен командной и известительной информацией и верхним уровнем иерархии и вычислительным комплексом ВК; 11) ввод информации с фотосчитывающего устройства.

Объем функции, выполняемый аппаратурой пункта управления конкретного объекта, определяется техническим заданием на изготовление и поставку аппаратуры данного заказа.

Аппаратура минимальной конфигурации является базовым комплектом, который обеспечивает выполнение всех функций, указанных в п. I и в п. II (1, 2, 3, 4, 7).

В комплект поставки аппаратуры пункта управления входят два видеотерминала ВТА, размещаемые на пульте диспетчера, и устройство печати УП.

Выходной элемент телесигнализации обеспечивает коммутацию нагрузки постоянного тока 0,4 А напряжением до 60 В постоянного тока.

Элементы ввода дискретных сигналов должны обеспечивать прием сигналов состояния от ключей квитирования мимического щита.

Параметры сигналов: высокий уровень (логическая «1») — от плюс 10,8 до плюс 13,2 В; низкий уровень (логический «0») — не более плюс 0,75 В.

Входное сопротивление элементов ввода дискретных сигналов — 377 Ом с допуском отклонением от плюс 15 до минус 15 %.

Максимальный объем информации аппаратуры по функциям приведен ниже.

Наименование функции	ТУ	ТРД (ТРК)	ТИТ • ТИИ	ТС	Воспроизведение ТС на щите
----------------------	----	-----------	-----------	----	----------------------------

Максимальный объем информации	2880	1920	1920	960	2880	256 (на мимическом) 512 (на световом)
-------------------------------	------	------	------	-----	------	---------------------------------------

Аппаратура пункта управления обеспечивает организацию полудуплексного обмена информацией с устройствами КП по ведомственным физическим линиям связи и ведомственному стандартному телефонному каналу. Максимальная длина линии связи между ПУ и КП должна быть не менее: для кабельной линии с кабелем КСППБ-1×4×1,2 при скорости передачи 600 Бод — 25 км; для воздушной стальной линии с проводами диаметром 4 мм при скорости передачи 1200 Бод — 60 км. Максимальная дальность действия комплекса при работе по стандартному телефонному каналу — 2000 км при числе переключений не более 6. Аппаратура обеспечивает работу по линиям связи цепочечной и древовидной структуры. Питание аппаратуры ПУ — от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В с допустимыми отклонениями от номинального плюс 10... минус 15 % и частотой (50 ± 1) Гц. Мощность, потребляемая аппаратурой, не более 1800 В·А.

Аппаратура рассчитана на эксплуатацию в обогреваемых и охлаждаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от 5 до 40 °С при относительной влажности 10...80 %. Средняя наработка до отказа одного канала при нормальных условиях для каждой функции не менее 10 000. Средний срок службы аппаратуры — 10 лет.

Аппаратура ПУ выполнена с применением технических средств КТС-ЛИУС-2. Габаритные размеры шкафа ПУ — 1880×800×650 мм (рис. 13.4), пульта диспетчера — 1600×1050×1000 мм (рис. 13.5), устройства печати А521-4/6—675×740×920 мм. Гарантийный срок эксплуатации — 18 мес со дня ввода аппаратуры в эксплуатацию, но не более 30 мес со дня поступления потребителю.

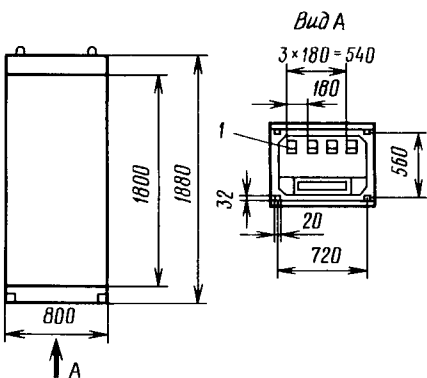


Рис. 13.4. Габаритные размеры шкафа ПУ комплекса ТК-132:

1 — отверстия выходные для кабелей

Структурная схема и режим работы аппаратуры. Аппаратура пункта управления состоит из шкафа ПУ, пульта диспетчера и устройства печати А521-4/6 (рис. 13.6). Каждый из блоков является устройством программируемого типа, в котором задание режимов, управление работой внешних устройств, обработка информации выполняются микропроцессорным элементом управления (КС 59.01).

В состав пульта диспетчера

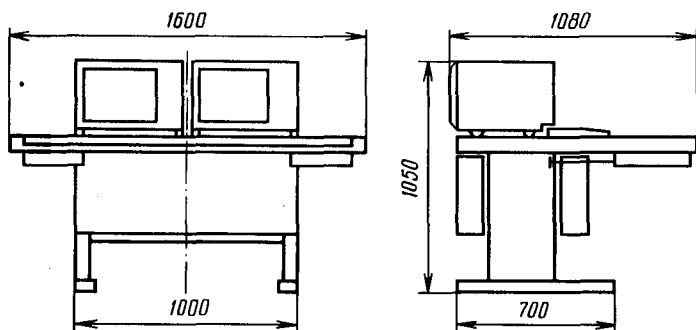


Рис. 13.5. Габаритные размеры пульта диспетчера системы ТК-132

(рис. 13.7) входят два алфавитно-цифровых видеотерминала ВТА-2000-10 (системный и пользователя), функциональная клавиатура для задания различных режимов работы и устройство для ведения разговоров диспетчера с абонентом КП (прибор громкоговорящей связи ПГС). Кроме того, по заказу к ПБД может быть подключен фотосчитыватель. С помощью системного видеотерминала оповещают о работе аппаратуры в режимах пе-

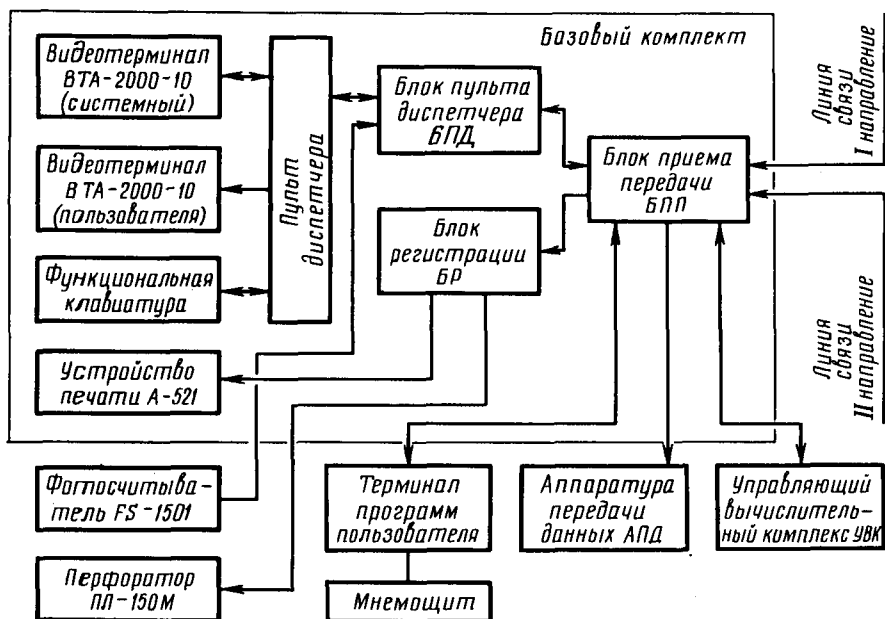


Рис. 13.6. Структурная схема аппаратуры ПУ ТК-132 (блоки, расположенные в ПУ, обведены)

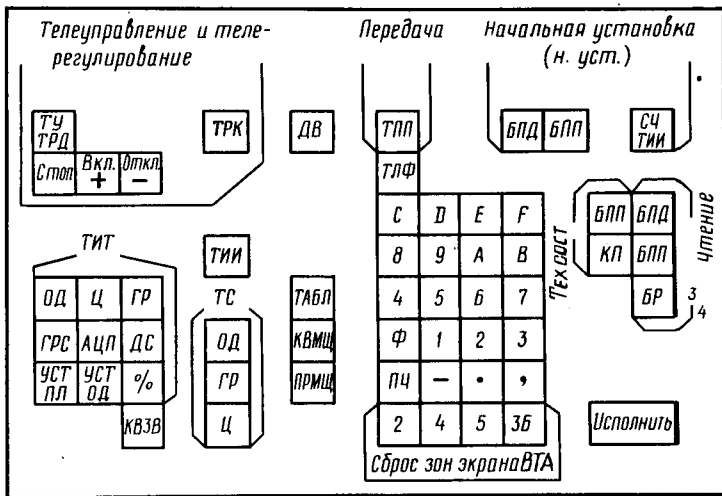


Рис. 13.7. Функциональная клавиатура пульта диспетчера ТК-132

редачи командных и получения известительных сообщений, ввода уставок, обзора одного или группы параметров и др. Блок БПП осуществляет связь с устройствами КП, передачу командных и прием известительных сообщений с КП, организацию циклического опроса КП, первичную обработку известительной информации, хранение базы данных, а также массивов текущих значений ТС, ТИТ, ТИИ по каждому объекту (параметру). Блок ТПП воспроизводит состояние двухпозиционных объектов по схеме мимического и светового щитов или управления выводом информации на видеотерминал пользователя ПД.

Назначение клавиатуры

Наименование режима	Клавиатура выбора режима
Передача команды	ТУ/ТРД
Передача команды ТРК (методом передачи уставки)	ТРК
Задание уставки (верхней или нижней) одному параметру ТИТ	УСТ-ОД (ОД — одиночная)
Задание уставок параметром ТИТ с перфоленты	УСТ/ПЛ (ПЛ — перфолента)
Передача команды «Сброс» в состояние «Ноль» всех счетчиков параметров ТИИ одного КП	ТИИ
Вывод на экран видеотерминала пользователя таблиц оборудования	ТАБЛ
Ввод в телекомплекс даты и времени (астрономического)	ДВ
Квитирование мнемощита	КВМЩ

Наименование режима	Клавиатура выбора режима
Проверка ламп мнемощита	ПРМЩ
Квитирование звукового сигнала	КВЗВ
Передача управляющей информации от диспетчера программе пользователя на ТПП	ДТПП
Ведение переговоров с абонентом КП по телефону	ТПДО
Прием одного параметра ТС	ТС-ОД
Прием одноименных параметров ТС от всех КП одного направления	ТС-Ц
Прием всех параметров от одного КП	ТС-ГР
Прием одного параметра ТИТ	ТИТ-ОД
Прием одноименных параметров ТИТ от всех КП одного направления	ТИТ
Прием всех параметров ТИТ с одного КП	ТИТ-ГР
Прием всех параметров ТИТ от одного КП в форме «норма», больше (меньше) нормы	ТИТ-ГРС
Прием одного параметра ТИТ периодически с заданным интервалом времени на экран системного видеотерминала	ТИТ-ДС
Прием группы параметров ТИТ от одного КП	ТИИ
Начальная установка БПП	НУ БПП
Начальная установка БПД	НУ БПД
Прием сообщения о техническом состоянии БПП	ТКС БПП
Прием сообщения о техническом состоянии КП	ТКС КП
Чтение области запоминающего устройства (ЗУ) БПД	ЧтЗУ БПД
Чтение области ЗУ БПП	ЧтЗУ БПП
Чтение области ЗУ БР	ЧтЗУ БР

Перечень режимов работы аппаратуры и используемая клавиатура режимов приведены ниже, а функциональная клавиатура, расположенная на пульте управления, — на рисунке 13.7.

Программное обеспечение телекомплекса ТК-132 состоит из общего программного обеспечения, поставляемого с телекомплексом, и специально разрабатываемого пользователем. В состав общего программного обеспечения входят программы функционирования блоков БПД, БПП, БР и ТПП. Пользователь имеет возможность расширить функции, выполняемые системой, за счет введения дополнительных подпрограмм на БР, БПД и ТПП. Пользователь разрабатывает программы и вводит их в состав программного обеспечения телекомплекса, включая модули диагностики технических средств.

В процессе работы телекомплекса модули диагностики проверяют работоспособность технических средств и формируют сообщения о их состоянии.

§ 13.4. Локальный управляющий вычислительный телекомплекс ЛТК-133

Назначение и основные технические данные. Комплекс предназначен для автоматизации и телемеханизации локальных объектов, где возможно прямое цифровое управление.

В водном хозяйстве он предназначен для автоматизации и телеуправления гидросооружениями, и в частности подкачивающими насосными станциями, питающих широкозахватные дождевальные машины. На подкачивающих насосных станциях обеспечивается выполнение следующего примерного набора функций: регулирование подачи насосной станции в соответствии с потребным расходом путем включения соответствующего числа основных и вспомогательных агрегатов; обеспечение автоматического залива опорожненной сети; обработка возникающих аварийных ситуаций; минимизация эксплуатационных затрат путем обеспечения равномерного износа оборудования, назначения оптимальных сроков ремонта, поддержания оптимального давления в напорной сети, поддержания энергетически оптимальных режимов работы насосных агрегатов.

Комплекс является программно-управляемым изделием и обеспечивает управление объектом в реальном масштабе времени. Комплекс может функционировать в автономном режиме (автоматическое управление объектом) или в режиме телеконтроля и телеуправления в составе управляющего телекомплекса ТК-132 (см. § 13.3). Комплекс выполнен на базе технических средств КТС ЛИУС-2 и выполняет следующие функции: сигнализацию или телесигнализацию (ТС) двухпозиционных объектов, измерение или телеизмерение (ТИТ) текущих значений параметров, управление или телеуправление (ТУ) двухпозиционными объектами, регулирование или телерегулирование методом передачи уставок регулятора или двухпозиционное регулирование по принципу «больше — меньше» (ТРД).

Комплекс имеет четыре исполнения (табл. 13.3) в зависимости от режима работы и информационной емкости.

Комплекс рассчитан на работу с датчиками ТИТ, имеющими выходной сигнал в виде:

постоянного тока — $5 + 5$ МА или $-20 + 20$ МА; напряжения постоянного тока — $10 + 10$ В; частоты $0...4, 0...8, 4...12$ кГц с амплитудой от 0,6 до 2,4 В.

В режиме ТР комплекс выдает уставки в виде: унифицированных сигналов постоянного тока — $5 + 5$ МА; временных уставок с регулируемой длительностью от 0,05 до 51 с.

Потребитель имеет возможность настроить комплекс на выдачу уставок ТР в виде: сигналов постоянного тока $0 + 5$ МА; напряжения постоянного тока — $10 + 50$ В; $0 + 10$ В.

К конкретному объекту комплекса привязывает потребитель. Максимальное удаление комплекса от управляющего теле-

13.3. Исполнения ЛТК-133

Вид информации	Число по исполнениям ЗФ2.391.784		Комплексы в зависимости от режима работы
	00.01	02.03	
ТС	64	96	Исполнения ЗФ2.391-784-01 и ЗФ3.391-784-03 предназ- начены для работы в режи- ме телеуправления
ТИТ (аналоговое)	16	16	
ТИТ (частотное)	—	32	
ТУ	32	64	
ТРК	—	4	
ТРД	16	16	

комплекса по кабельной линии с кабелями КСППБ-1×4×1,2 и ТГ-0,7—25 км; по воздушной стальной линии с проводами диаметром 4 мм — 60 км; по стандартному телефонному каналу при числе переприемов — не более 6—2000 км. Комплекс устанавливается в помещениях с температурой окружающего воздуха 5...40 °С, относительной влажностью 5...95 %. Электрическое питание осуществляется переменным однофазным током напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Потребляемая комплексом мощность от сети переменного тока не превышает 1600 В·А. Габаритные размеры комплекса приведены на рисунке 13.8.

Структурная схема. Элемент управления организует обмен информацией между элементами ввода-вывода и памяти в соответствии с заданными программами (рис. 13.9). Элемент оперативной памяти предназначен для приема, записи, хранения и выдачи записанной информации в интерфейсную магистраль. Элемент имеет следующие характеристики: тип микропроцессора — К580НК80; число команд — 111; объем адресуемой памяти — 64 Кбайт; число адресуемых регистров ввода-вывода — 256. Элемент перепрограммируемой памяти предназначен для приема, записи, хранения и выдачи информации в интерфейсную магистраль; элемент ввода-вывода сигналов времени — для программного ввода-вывода значения текущего или реального времени, программного задания временных интервалов и выдачи тактирующих сигналов; координатор

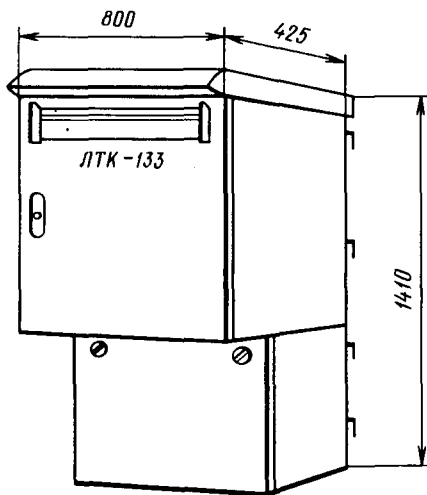


Рис. 13.8. Габаритные размеры комплекса ЛТК-133

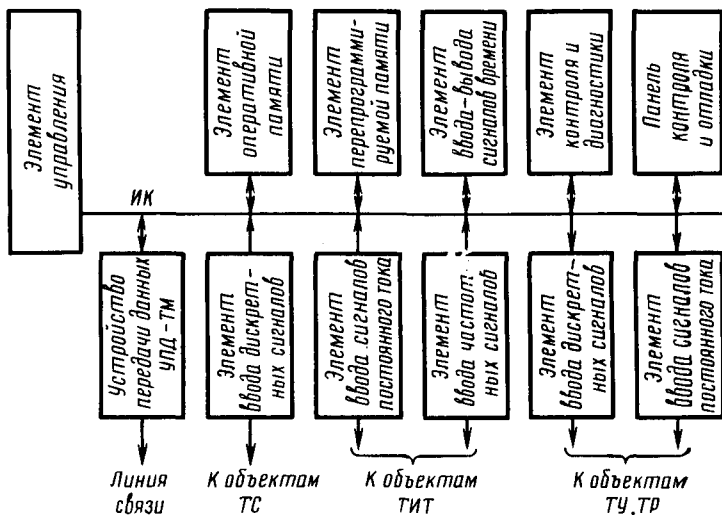


Рис. 13.9. Структурная схема телекомплекса ЛТК-133

доступа к магистрали — для контроля питающих напряжений и обеспечения начального пуска микропроцессора элемента управления; элемент ввода дискретных сигналов — для коммутации до 32 позиционных сигналов объектов ТС и выдачи в интерфейсную магистраль сигналов данных; элемент ввода сигналов постоянного тока — для коммутации и преобразования до 16 сигналов постоянного тока или напряжения от датчиков ТИТ в нормальный двоичный код; элемент ввода частотных сигналов — для преобразования частотных сигналов объекта ТИТ в двоичный нормальный код с программной перестройкой структуры и параметров, с коммутацией до 32 непрерывных частотных сигналов, гальванически связанных по входу и объединенных побайтно; элемент вывода дискретных сигналов — для приема по шинам интерфейсной магистрали, хранения, преобразования, усиления по мощности и вывода на объект ТУ (ТРД) дискретных сигналов (до 32 ТУ или до 16 ТРД); элемент вывода сигналов постоянного тока — для приема, хранения и преобразования цифрового кода в унифицированный сигнал постоянного тока или напряжения постоянного тока и вывода до 4 сигналов ТРК на объект. Устройство передачи данных УПД-ТМ служит для организации оперативного полудуплексного обмена данными между управляющим телекомплексом и комплексом ЛТК-133.

§ 13.5. Комплекс устройств телемеханики с радиоканалом связи для объектов вертикального дренажа

Комплекс устройств телемеханики с радиоканалом связи для объектов вертикального дренажа (в дальнейшем комплекс) используют преимущественно для телемеханизации скважин вертикального дренажа, кустов пьезометров и наблюдательных скважин. В состав комплекса входят устройство пункта управления (ПУ) и устройства контролируемых пунктов двух типов — КП1 и КП2 (рис. 13.10).

Объем телемеханических функций, выполняемых устройствами КП, приведен в таблице 13.4.

Комплекс обеспечивает выполнение функции телеуправления двухпозиционными объектами (ТУ), телесигнализацию состояния объектов управления (ТСС), телесигнализацию аварийных

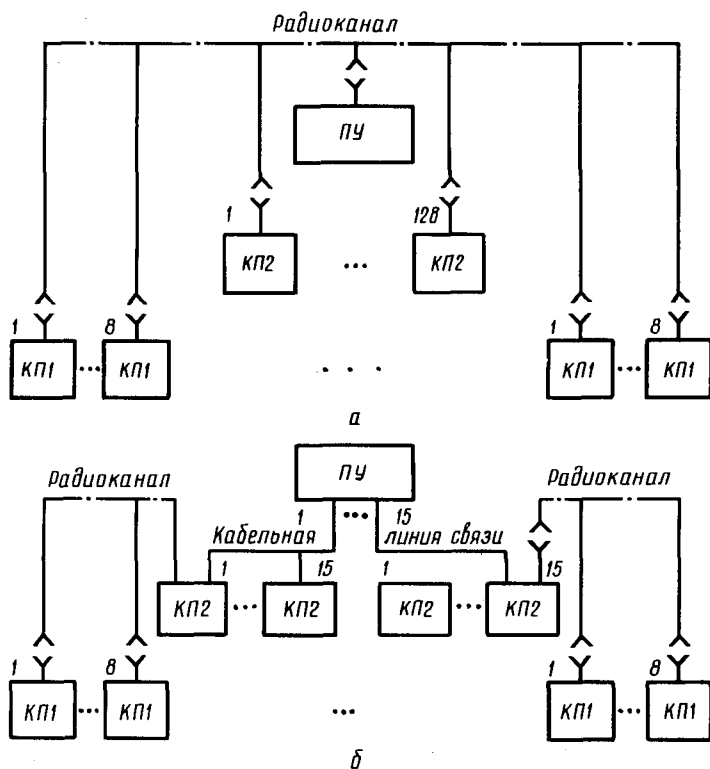


Рис. 13.10. Структурная схема телекомплекса телемеханики с радиоканалом связи для объектов вертикального дренажа «ТМ-Шельф»:

а — с радиоканалами; б — с кабельной линией связи ПУ-КП2 и радиоканалом КП2-КП1

13.4. Объем телемеханических функций

Устройство	Объем телемеханических функций			
	ТУ (двух- поз.)	ТСС	ТСА	ТИТ
КП1	—	—	—	2
КП2	2	2	2	4 (16)

Примечание. В скобках показано число ТИТ, передаваемых устройством КП1 и ретранслируемых через устройство КП2 в ПУ.

состояний (ТСА), телеизмерение текущих параметров (ТИТ). Устройство предназначено для эксплуатации в следующих климатических условиях; ПУ — при температуре 5, 40 °С и относительной влажности от 5 до 95 %; КП1 и КП2 — при температуре от минус 25 до плюс 55 °С и относительной влажности от 5 до 100 % с конденсацией.

По устойчивости к воздействию окружающей среды комплекс выполнен в обыкновенном исполнении. К одному ПУ подключается до 128 КП2, с одним КП2 работают до 8 КП1, общее число КП1 — до 128. Тип линии связи: между ПУ и КП2 — УКВ радиоканал, организуемый симплексными радиостанциями с выходной мощностью 8 Вт, или двухпроводная кабельная линия; между КП2 и КП1 — УКВ радиоканал, организуемый симплексными радиостанциями с выходной мощностью до 1 Вт (радиостанции в состав комплекта не входят). При использовании кабельных линий может быть организовано до 15 направлений, с подключением к одному направлению до 15 КП2.

Дальность действия при радиоканале связи: между устройством ПУ и КП2 — не менее 30 км, между КП2 и КП1 — не менее 3 км.

Дальность действия при кабельных линиях связи — до 40 км.

Комплекс обеспечивает выполнение следующих режимов работ: автоматический при передаче информации ТИТ из КП1 в КП2 и из КП2 в ПУ; ускоренного опроса состояния объектов ТС в устройствах КП2 по обобщенному сигналу о наличии информации ТС в устройствах КП2; индивидуального вызова по функциям ТУ, ТС, ТИТ; контроля работоспособности устройств КП2 и канала связи (режим ККС).

Отображение измерительной информации (ТИТ) в цифровом виде с указанием размерности измеряемых параметров, отображение информации о состоянии объектов контроля и управления (ТС, ТУ) осуществляются на индикационной панели пульта управления и на экране дисплея устройства ПУ.

Измерительная информация (ТИТ) и информация о состоянии объектов контроля и управления (ТС, ТУ) регистрируются устройством широкой печати.

Класс точности каналов телеизмерения комплекса — 0,6.

Параметры питания устройства ПУ: переменный ток 220 В \pm 15%, потребляемая мощность не более 2000 В·А.

Параметры питания устройства КП1: постоянный ток 12 В \pm 15%, среднее потребление — 0,02 А/ч.

Параметры питания устройства КП2: переменный ток 220 В \pm 15%, потребляемая мощность — не более 150 В·А. Средний срок службы устройств комплекса — не менее 9 лет.

Средняя наработка до отказа одного канала для каждой функции при нормальных условиях — не менее 10 000 ч.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите об основных требованиях к устройствам телемеханики гидро-мелиоративных систем.

2. Какие телемеханические системы и телекомплексы применяют в водном хозяйстве, в чем их особенности?

3. Изложите принцип действия комплекса средств телеавтоматики КЭТ-51.01.

4. Какие функции выполняет микропроцессор в устройствах телемеханики?

5. Что называют телекомплексом ТК-132, в каких случаях его применяют, в чем его особенности?

6. Расскажите об особенностях телекомплекса ЛТК-133 и почему он назван «локальный управляющий вычислительный комплекс»?

7. В каких случаях целесообразно в гидромелиоративных системах применять систему телемеханики с радиоканалом связи?

Глава 14. ОБОРУДОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКИХ ПУНКТОВ

§ 14.1. Общие сведения

Диспетчерским пунктом называют специальное помещение, из которого ведется централизованное управление и осуществляется контроль всей системы или ее части. В диспетчерском пункте размещают оборудование и аппаратуру, при помощи которых диспетчерская служба выполняет свои функции.

Различают центральный диспетчерский пункт (ЦДП), из которого управляют системой в целом, и местные диспетчерские пункты (МДП) для управления частью системы. При ступенчатой, иерархической системе управления ЦДП координирует работу всех МДП.

Оборудование пункта должно обеспечить выполнение диспетчером возложенных на него обязанностей по управлению системой с максимальной оперативностью и четкостью.

Основное оборудование диспетчерского пункта делят на три группы.

1. Оборудование и аппаратура, при помощи которых непосредственно осуществляются контроль и управление. Это командно-кавитирующая аппаратура, указывающие приборы и

цифropечатающие устройства системы телеизмерения, сигнальные приборы телесигнализации, а также аппаратура контроля и диагностики систем телемеханики и связи, оконченная аппаратура всех видов диспетчерской связи, дисплеи и (или) мнемоническая схема системы. Всю перечисленную аппаратуру обычно размещают на щитах, пультах и столе диспетчера, в отдельности или в одном из целесообразных сочетаний.

2. Аппаратура систем телемеханики и связи, щиты электропитания и распределения энергии, выпрямительные, а также линейно-кроссовые устройства.

3. Аккумуляторные батареи, которые размещают в специальном помещении (изолированном от других) диспетчерского пункта.

Число объектов, управляемых с одного ДП, в гидромелиоративных и других водохозяйственных системах может быть довольно большим. Поэтому рациональное размещение оборудования и аппаратуры в диспетчерском пункте, и в частности правильное расположение аппаратуры на щитах и пультах, а также рациональный выбор средств памяти и мнемоники, исключение излишних сигналов и средств их воспроизведения облегчают работу диспетчера и делают ее более четкой.

Изучением трудовых процессов с целью создания наиболее совершенных условий труда, которые способствуют повышению производительности и обеспечивают работающему минимум расхода сил и здоровья, занимается инженерная психология. Ею установлен ряд практических рекомендаций рационального размещения лицевых частей указывающих приборов, величины и цвета надписей, окраска помещения ДП, устройства его освещения, при которых создаются наиболее благоприятные условия, облегчающие работу диспетчера. К числу основных рекомендаций относят следующие.

1. Размеры помещений диспетчерского зала, в котором расположены органы управления и аппаратура контроля, не должны быть излишне малыми, так как в тесном помещении человек быстрее устает.

2. Указывающие приборы с наиболее важными показаниями должны быть расположены перед глазами на средней части панели.

3. Органы управления и соответствующая им аппаратура контроля должны быть максимально сближены.

4. Прямоугольники и треугольники человеческий глаз различает лучше, чем многоугольники и круги; прямые линии лучше, чем кривые; наибольшей видимостью обладают предметы, окрашенные в красный цвет, затем в зеленый, янтарно-желтый и синий; кажущаяся яркость света, излучаемого сигнальной лампой, должна быть примерно в 2 раза выше яркости света в окружающем помещении; цифры и буквы при считывании их днем должны наноситься в светлом помещении — черным цветом

на желтом или белом фоне, имеющем матовую поверхность, в темном помещении — светлые цифры наносят на темный фон; расстояние между цифрами не должно превышать половину их высоты; цифры должны иметь отношение высоты к ширине 3:2, прямоугольные цифры дают меньше ошибок при считывании, чем округленные.

5. В зависимости от расстояния цифр от глаз диспетчера рекомендуются следующие их размеры, мм: 7 при удалении на 1 м, 13—2, 20—3, 25—4, 30—5, 35—6, 40—7 м.

6. Внимание диспетчера к аварийным сигналам можно привлечь: включив мигающий свет соответствующих сигнальных лампочек (оптимальная частота мигания 8...9 Гц); осветив только ту часть схемы, которая соответствует аварийному агрегату; установив подсветки только тех приборов, на которые диспетчер должен обратить внимание; включив звуковой сигнал (уровень звука не должен превышать 120 дБ).

§ 14.2. Компоновка диспетчерских пунктов

Для диспетчерского пункта (ДП) отводятся, как минимум, две комнаты. В одной — диспетчерском зале — размещают диспетчерский щит, пульт, столы диспетчера и его помощников, а также необходимую мебель; в другой — аппаратной — в основном устанавливают аппаратуру телемеханики, связи и источники питания (за исключением аккумуляторных батарей). Для сокращения кабельных связей, удобства эксплуатации и наладки эти помещения выбирают смежными либо размещают комнаты на двух смежных этажах. В первом случае каждое помещение оборудуют отдельным входом и в разделяющей их перегородке делают дверь. Размеры помещений зависят от количества устанавливаемой в них аппаратуры и оборудования и обуславливаются величиной и сложностью управляемой системы. В здании ДП целесообразно также разместить узел связи, мастерскую по ремонту и наладке аппаратуры автоматики, телемеханики и связи, лабораторию, комнату хранения запасных приборов, блоков и деталей, комнату дежурной оперативной бригады. В ряде случаев появляется необходимость в размещении независимого источника питания — аккумуляторной батареи, которую в соответствии с правилами устройства электротехнических установок вместе с кислотной и тамбуром оборудуют в изолированном отсеке ДП, имеющем отдельный выход наружу. Все перечисленные помещения, соответствующим образом скомпонованные, а также некоторые другие служебные и бытовые помещения образуют ДП (рис. 14.1).

При выборе места для строительства специального здания ДП руководствуются соображениями сокращения расстояния от него до наиболее удаленных управляемых и контролируемых им сооружений. По этой причине ДП целесообразно размещать

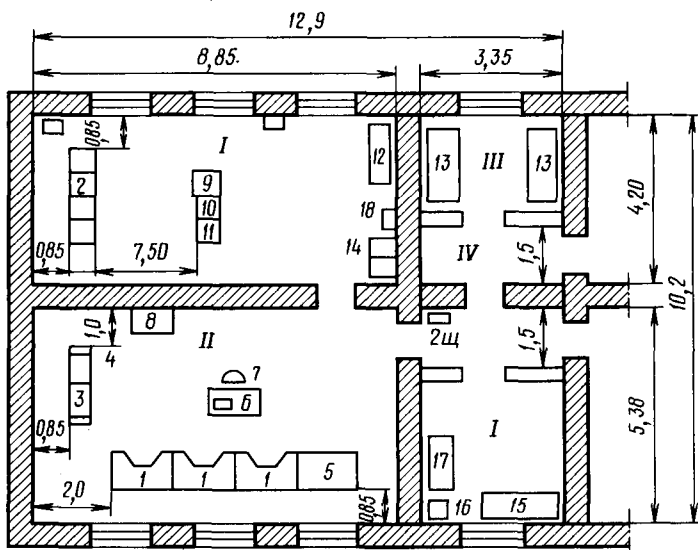


Рис. 14.1. Размещение оборудования небольшого диспетчерского пункта:

1 — диспетчерский пульт; 2 — аппаратная стока; 3, 4 — панели телемеханики; 5 — мнемонический щит; 6, 7 — стол и кресло диспетчера; 8 — шкаф для документов; 9 — кросс связи; 10 — автоматическая телефонная станция; 11 — стойка диспетчерской связи; 12 — стол дежурного техника; 13 — аккумуляторные стеллажи; 14 — стойка выпрямителей; 15 — радиостанция; 16 — запчасти; 17 — служебный стол; 18 — зарядно-разрядный щит; I — аппаратная; II — диспетчерский зал; III — аккумуляторная; IV — тамбур

как можно ближе к центру системы в одном из населенных пунктов. Удобно совмещать центральный ДП со зданием управления оросительной системой, где сосредоточены все службы управления и вычислительные устройства, предусматриваемые для управления большими системами. ДП часто совмещают с одним из крупных управляемых сооружений системы (например, насосной станцией).

К помещениям ДП предъявляют ряд требований. Ниже перечислены некоторые из них. Перекрытия щитового помещения должны иметь гидроизоляцию, исключающую возможность проникновения влаги. В необходимых случаях предусматривают звукоизоляцию. Двери и проходы рассчитывают с учетом возможности транспортирования через них щитов и пультов в щитовые помещения. В отдельных случаях для этой цели используют монтажные проемы. Высоту щитового помещения рекомендуют принимать не менее 3,8 м. Потолки следует делать гладкими, без выступающих железобетонных балок и ферм, а при наличии последних — легкими, подвесными. Число выходов из щитового помещения, как правило, должно быть не менее двух.

Ширина дверей и проходов в щитовых помещениях и лестничных клетках должна быть не менее 0,8 м, ширина коридоров — 1,4 м. В щитовом помещении следует поддерживать постоянную температуру 20 ± 4 °С и влажность 60 %. Рекомендуется применять установки кондиционирования воздуха. Важно поддерживать в помещении и определенный световой режим. Оконные проемы (естественное освещение) и электрические лампы (искусственное освещение) должны обеспечивать нормальную освещенность.

Для ввода труб и кабелей в щиты и пульты предусматривают каналы, прямки, проходы в перекрытиях или закладные трубы для прокладки электрической проводки. Каналы, колодцы и прямки перекрывают защитными плитами. При прокладке значительного числа кабелей предусматривают двойные съемные полы с промежутком между настилами 0,5...0,7 м.

Часто проектируют кабельные полуэтажи, в которых устанавливают стеллажи для укладки кабелей. Полуэтаж должен иметь вентиляцию, а щитовое помещение — сообщаться с помещением кабельного полуэтажа лестницей. При наличии кабельного полуэтажа в междуэтажном перекрытии выполняют проемы под каждым пультом для удобства обслуживания аппаратуры и проводки.

Все эти мероприятия помогают создать благоприятные условия для работы диспетчера и существенно уменьшить вероятность ошибок в процессе оперативного управления гидромелиоративной системой.

§ 14.3. Диспетчерские щиты и пульты

Для управления системой с диспетчерского пункта с помощью средств телемеханики применяют щиты и пульты. Как правило, для сравнительно небольших систем телемеханики все управленческие осуществляют только с пультов, на которых размещают всю управляющую аппаратуру, сигнальные элементы, телеизмерительные приборы, акустические устройства, телефон, микрофон и пр. Как правило, для небольших водохозяйственных объектов с одним-двумя комплектами телемеханики ограничиваются установкой пультов, с которых и ведут все управление. Для более крупных систем, особенно когда пульт не имеет мнемосхемы и разместить ее на пульте невозможно, возникает необходимость в дополнительной установке отдельного диспетчерского щита с мнемонической схемой системы. Мнемоническая схема представляет собой упрощенную технологическую схему управляемого объекта, в отдельных точках которой монтируют соответствующие элементы управления или индикаторы, показывающие либо факт протекания процесса, либо значения параметров процесса. Отображение информации на единой мнемосхеме широко применяют на диспетчерских щитах водохозяйствен-

ных систем, и в частности гидромелиоративных объектов. Мнемоническую схему изображают с максимально возможным топографическим расположением объектов, но главным образом показывают их взаимосвязь по линиям технологического процесса. Такая мнемосхема дает возможность диспетчеру постоянно наблюдать за состоянием системы, отмечать навесными знаками всевозможные обстоятельства — ремонтные работы, временные изменения на сооружениях, установленные ограничения и т. п.

Для крупных систем с большим числом комплектов телемеханики вместо индивидуальных (для каждого комплекта) пультов управления устанавливают комбинированный диспетчерский щит, на котором размещают как мнемосхему, так и все индивидуальные органы управления, измерения и сигнализации. Общие органы управления системой, общую сигнализацию, аппаратуру цифropечати, телефонной и другой связи размещают на пульте, являющемся одновременно рабочим столом диспетчера. Управление индивидуальными объектами и квитирование сигналов несоответствия проводятся на щите.

Для еще более крупных систем с рядом сложных технологических процессов осуществляют комбинированное представление информации: на общей мнемосхеме системы отображают упрощенный технологический процесс; более подробное отображение информации отдельных участков управляемого и контролируемого процессов дается на дисплее или специальных табло, которые представляют собой более подробную информационную модель отдельного участка. Для таких крупных систем управления достаточно полные мнемосхемы объектов в целом становятся громоздкими и трудновоспринимаемыми диспетчером.

Применяют два типа диспетчерских щитов — светлый и темный. Светлый щит имеет светящиеся символы. Так, символ выключателя освещается красным или зеленым светом в зависимости от его положения. Если контролируемый объект изменил свое положение (или состояние), то он освещается мигающим светом, привлекающим внимание диспетчера. При помощи операции, называемой квитированием, диспетчер прекращает мигание символа, и лампа загорается ровным светом. Следовательно, на светлом щите положение объектов определяется световыми сигналами. По желанию диспетчера светлый щит может быть погашен, однако при возникновении нового сигнала он автоматически освещается, и возникает световой сигнал.

На темном щите состояние коммутационной аппаратуры определяется одним из двух различных положений, занимаемых аппаратом. Символы выключателей имеют встроенную сигнальную лампу, которая загорается мигающим светом при несоответствии положения символа положению выключателя. Так же как и на светлом щите, с помощью операции квитирования прекращается мигание символа. Щит называют темным, так как в нормальном

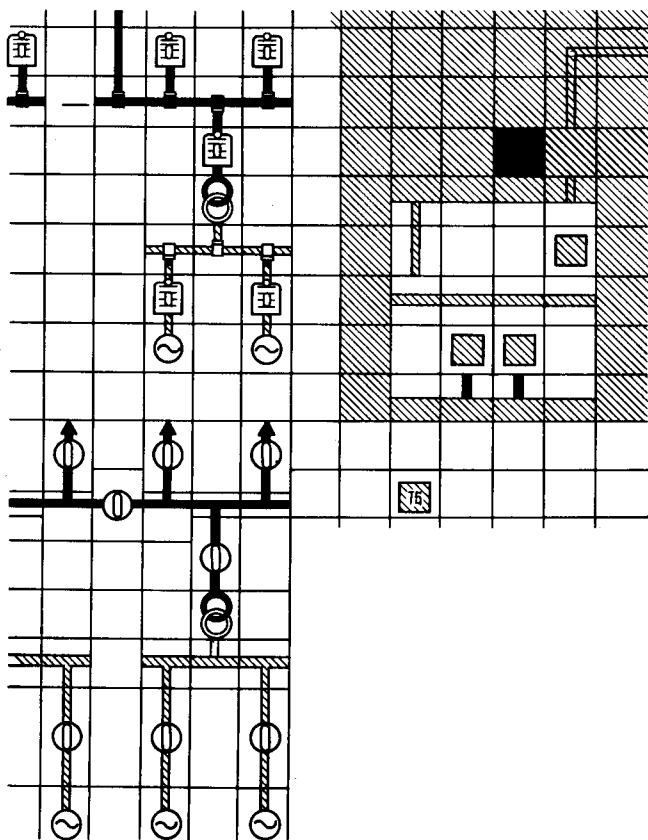


Рис. 14.2. Фрагмент мозаичного щита типа ШДСМ-1

состоянии лампы несоответствия не горят и на щите нет других световых символов.

Щиты по индивидуальным проектам не выполняют, организован индустриальный способ изготовления мозаичных щитов (рис. 14.2). Данная конструкция позволяет организовать массовое производство различных щитов на основе унифицированных узлов и элементов, повышает оперативность при внесении изменений в мнемосхему. Мозаичный щит собирают из отдельных секций. Ряд вертикально расположенных секций образует панель. Нижняя секция, устанавливаемая на раме, является основанием щита: в ней размещают диоды, резисторы, предохранители и прочую аппаратуру. Выше располагают мозаичные секции, которые состоят из наборной решетки, образующей ячейку с мозаичными элементами. После мозаичной секции набирают из унифицированных съемных мозаичных элементов, основным

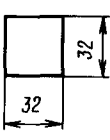


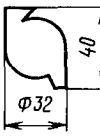

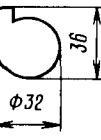
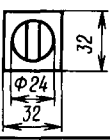

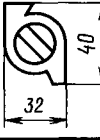
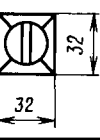
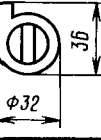
Символы	Название объекта					
	выключатель	генератор	насос	газодувка, компрессор, воздуходувки	задвижка	дымосос, вентилятор, деаэратор
Мимические						
Управляемых и сигнализируемых объектов						

Рис. 14.3. Символы для мнемосхем щитов общепромышленного назначения

из которых принят элемент размером 40×40 мм. Мозаичные элементы изготовляют из стали. Для установки и снятия элемента не требуется какого-либо специального приспособления.

Конструктивно решетка выполнена так, что ее шаг может меняться на величину, кратную 20 мм, что позволяет встраивать в щит любые измерительные и другие приборы. За счет перестановки планок можно изменять размеры ячеек в широких пределах (40×40 , 80×80 , 100×100 мм). В мозаичные элементы можно встраивать командно-квотирующую аппаратуру: ключи, арматуру световой сигнализации и элементы мнемосхемы. Элементы мнемосхемы изготовляют из листового органического стекла, окрашиваемого нитроэмалью соответствующих цветов, и наклеивают на мозаичные элементы, при этом каждый с наклеенным на него участком мнемосхемы может быть вынут из ячейки без нарушения всей мнемосхемы. Некоторые символы, используемые для построения мнемосхемы, приведены на рисунке 14.3. Мозаичные элементы, служащие для образования поля щита и мнемосхемы, удерживаются на решетке при помощи пружин и снимаются. Для монтажа командно-квотирующих ключей их крепят с помощью специальных деталей. Для их снятия ключ освобождают от крепежных деталей, при этом ключ с электрическим монтажом выводят внутрь щита, а мозаичный элемент снимают с лицевой стороны щита. Коммутационную проводку на щите выполняют так, что изменения мнемонической схемы не требуют работ по демонтажу и изменению жгутов проводки.

Специфической особенностью гидромелиоративных систем является их строительство очередями; последующее развитие системы происходит в течение ряда лет (добавление новых водово-

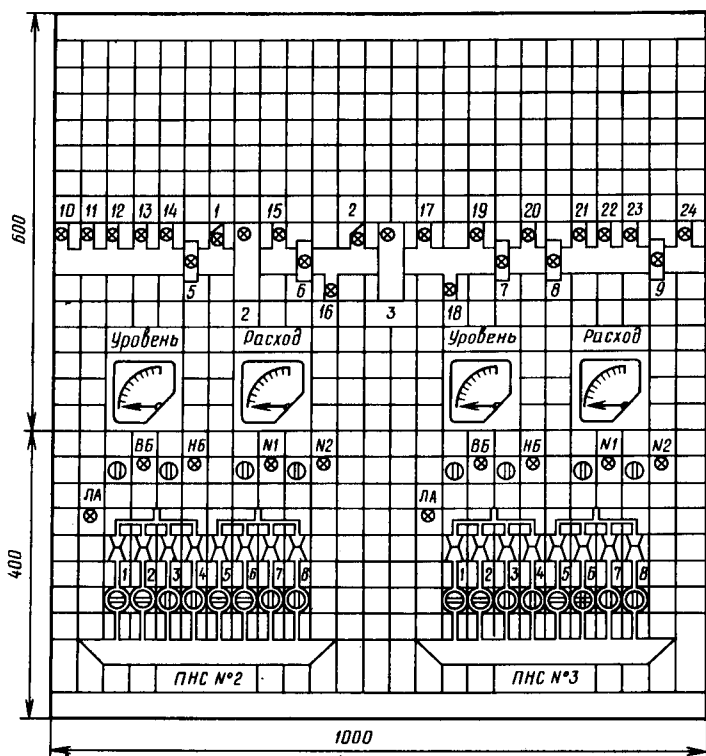


Рис. 14.4. Часть панели мозаичного комбинированного щита оросительной системы

дов с сооружениями на них, развитие насосных станций и т. п.). В этих условиях особенно удобно использование мозаичных щитов, которые позволяют без особого труда вносить любые изменения. Секционные мозаичные щиты используют либо только для размещения мнемосхемы, либо как комбинированные, где вместе с мнемосхемой устанавливают соответствующие приборы и аппаратуру управления и контроля. Часть панели комбинированного щита оросительной системы приведена на рисунке 14.4. В этом случае мозаичный щит использован как для размещения мнемосхемы, так и в качестве операторского. Здесь на панели установлены командно-квитирующая аппаратура и приборы телеизмерения. На ДП в этом случае размещена лишь общая аппаратура системы телемеханики и аппаратура связи.

Для ДП промышленность изготавливает диспетчерские пульта, в частности диспетчерские столы типа КЗСП, предназначенные для организации рабочего места диспетчера и размещения аппаратуры управления и контроля, а также для хранения рабочей документации (рис. 14. 5). Столы образуют из тумб и столешниц

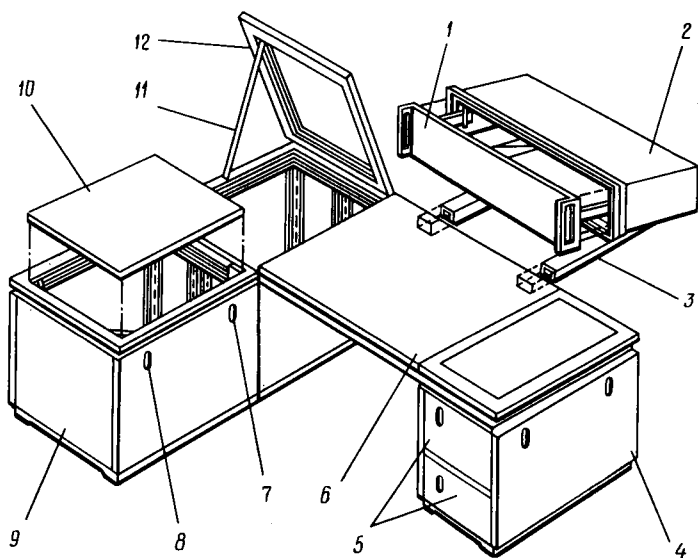


Рис. 14.5. Стол диспетчерский типа КЗСП:

1 — панель приборного корпуса; 2 — корпус приборный; 3 — опора корпуса приборного; 4 — тумба второго вида; 5 — ящик для документации; 6 — столешница; 7 — замок боковой крышки; 8 — тумба первого вида; 9 — обшивка; 10 — съемная панель подъемной крышки; 11 — штанга; 12 — подъемная крышка с панелью

с горизонтальной поверхностью. Конструкция столов предусматривает установку над столешницей одного или двух корпусов для размещения приборов телеизмерения и других устройств. Столы имеют тумбы двух видов: первого — для размещения в них выводных устройств, клеммников, резисторов, диодов, реле, звонков, предохранителей и розеток и второго — помимо установки в них выводных устройств и другой аппаратуры, подобно тумбам первого вида, служат также для хранения рабочей документации. В верхней панели тумбы размещают элементы коммутации, аппаратуры телеизмерения и связи. Приборный корпус установлен на опорах, посредством которых он может перемещаться и фиксироваться на нужном расстоянии от диспетчера. Опоры приборных корпусов — полые, являются каналами для монтажных проводов от аппаратуры приборного корпуса к выводным устройствам стола. Столы выполнены из листового металла, за исключением столешницы и ящиков рабочей документации. Последние представляют собой деревянные конструкции, облицованные с фасадной стороны ценными породами дерева. Столы выпускают 12 модификаций, отличающихся вариантом компоновки тумб и их числом. Каждый вариант исполнения и компоновки, в свою очередь, может иметь пять подвариантов, отличающихся друг от друга длиной приборного корпуса, которая может иметь

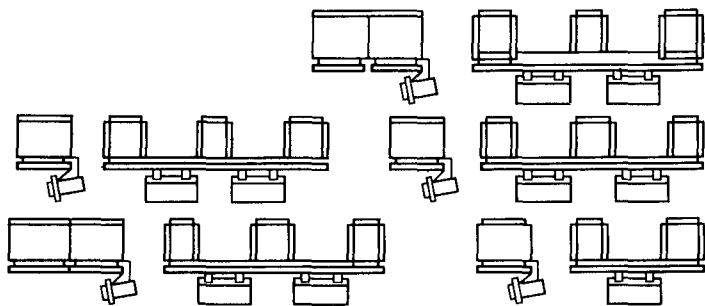


Рис. 14.6. Некоторые варианты исполнения стола КЗСП

размеры 800, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм. Некоторые варианты выполнения столов этого типа приведены на рисунке 14.6.

Из описания следует, что по конструкции столы являются серийными, унифицированными, а по применяемости — индивидуальными для каждого случая, так как число, размещение и тип аппаратуры на них, а также электрическая коммутация зависят от конкретного технического задания.

Большое число модификаций этого диспетчерского стола позволяет применять их для различных целей. Следует также учесть, что на панелях подъемных крышек и приборного корпуса стола допускается размещение мнемонической схемы. Элементы схемы выполняются из прозрачного оргстекла толщиной 2 мм,

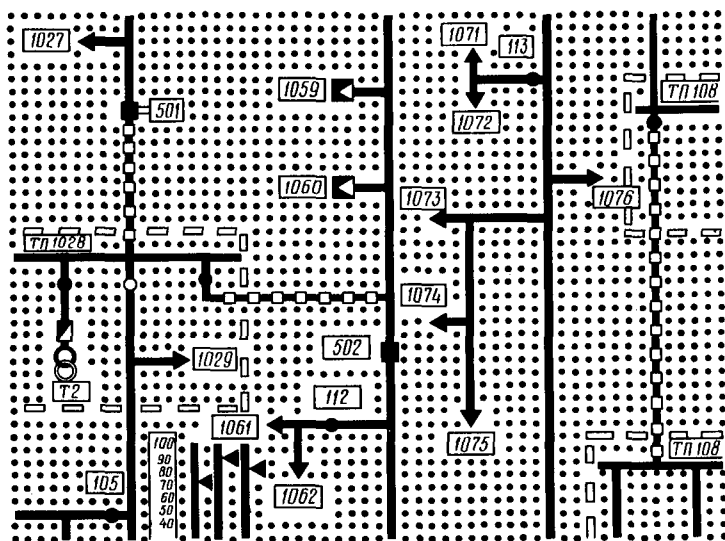


Рис. 14.7. Фрагмент упрощенного диспетчерского щита

окрашиваемого в нужный цвет согласно заданию и наклеиваемого на поле планшета. Возможность размещения на столе мнемонической схемы еще более расширяет область их применения.

Помимо описанной серии столов, для диспетчерских пунктов гидромелиоративных систем применяют и другие типы пультов, входящих в состав системы телемеханики, в частности телекомплекса ТК-132 (рис. 13.5).

Удобными являются столы, выполняемые полукругом, охватывая диспетчера слева и справа.

Для размещения мимических мнемосхем без световой сигнализации могут быть использованы упрощенные диспетчерские щиты (рис. 14.7). Такой щит выполняют сборным из отдельных панелей. На панелях (часто из авиационной фанеры толщиной 10 мм) просверлены отверстия диаметром 1,2 мм в виде сетки через каждые 100 мм. В отверстия на шпильках вставляют типовые символы, изготавливаемые штамповкой из цветной пластмассы. Таким образом, изменение мнемонической схемы сводится к замене или добавлению соответствующих символов. В этом случае диспетчерский щит получается мимического типа без светящейся мнемоники и без оперативной командно-квитгирующей аппаратуры. В системе водного хозяйства упрощенные щиты рационально применять на объектах, где используют мнемоническую карту-схему.

К таким объектам относится, например, схема групповых водопроводов. Присоединение потребителей к групповому водопроводу происходит систематически в течение многих лет, и мобильность изменения мнемосхемы — обязательное условие. Упрощенные щиты можно применять для обеспечения механической памяти. Например, на крупных гидроузлах для фиксации положения затвора устанавливают индивидуальные приборы.

Между тем маневрирование затворами осуществляют сравнительно редко, и своего положения они произвольно не меняют, поэтому их положение можно зафиксировать перестановкой соответствующих символов знаков на упрощенном щите (см. рис. 14.7). В результате диспетчерское оборудование гидроузла получается компактным и экономичным. В этом случае вместо индивидуальных приборов устанавливают один общий, подключаемый к затвору, положение которого в данный момент изменяется.

§ 14.4. Элементы отображения информации

На диспетчерских пультах или щитах условными символами наносят мнемоническую схему управляемой и контролируемой диспетчером водохозяйственной системы. На схему наносят каналы, расположенные на них управляемые или контролируемые гидротехнические узлы, сооружения, насосные станции и установки всех назначений, водовыпускные устройства, а зачастую полив-

ные площади с поливной техникой. На мнемонической схеме отражают действительное состояние ее с максимальным приближением. Схема фиксирует главным образом состояние элементов, изменяющих свое положение в процессе управления ими. К таким элементам относятся: затвор, насосный агрегат, задвижка, электродвигатель, масляный выключатель, автоматы и др. Как правило, эти объекты самопроизвольно не меняют своего состояния, большинство из них имеют всего два фиксированных положения, и они могут быть легко показаны на мнемосхеме с помощью световых или поворотных сигналов или встраиваемых ключей телеуправления. Дополнительные символы, такие, как канал, трубопровод, лоток, дюкер, мост, напорный бассейн, задвижка, обратный клапан, разъединитель, предохранитель, токопровод, трансформатор, надписи, номера объектов и т. д., являются статическими — их наносят на мнемосхемы для пояснений технологической взаимосвязи объектов. Телесигнализацию положения объектов осуществляют по принципу «мимического щита», то есть при нормальном состоянии объектов никаких сигналов нет. Световая сигнализация возникает только при отклонении каких-либо параметров вызываемого объекта от установленных значений. Для многопозиционных объектов-затворов, как правило, осуществляют лишь сигнализацию их крайних положений. Символы управляемых и сигнализируемых объектов в мнемонических схемах выполняют с использованием встраиваемых ключей управления — положение рукоятки ключа является символом состояния объекта: включен, отключен. Реже применяют способ оптического указания положения объекта. У символов оптического типа противоположные положения объекта (включено — отключено) отмечаются изменением цвета светового поля. Включенный объект сигнализируется зеленым светом, отключенный — красным. Состояние каждого телеуправляемого насосного агрегата определяется положением рукоятки ключа этого объекта на планшете: вертикальное — включен, горизонтальное — отключен. Рукоятка работающего агрегата освещается встроенной в ключ лампочкой. При автоматическом отключении агрегата у его ключа загорается аварийная лампочка, которая светится до квитирования сигнала диспетчером. Квитирование осуществляют поворотом ключа в положение «Отключено». В других случаях отдельной аварийной лампочки не устанавливают; аварийное отключение сигнализируется миганием встроенной в ключ лампочки. Помимо передачи состояния агрегатов, с каждой насосной станции передаются аварийно-предупредительные сигналы о наличии напряжения на шинах, состоянии автоматически работающего дренажного насоса, аварийном уровне воды, неисправности цепи питания телемеханики, разрыве в напорных трубопроводах и т. д. Такая светящаяся мнемосхема обеспечивает большую наглядность, чем мимическая мнемосхема, но применяют ее реже из-за сравнительной

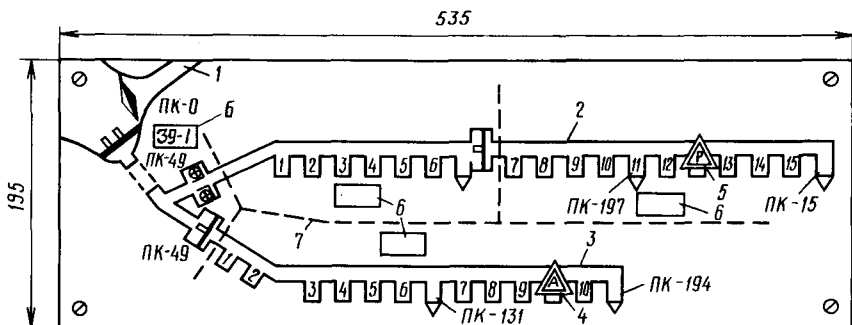


Рис. 14.8. Мнемосхема оросительной системы на планшетном щите:
 1 — река; 2, 3 — магистральные каналы № 1 и 2; 4 — навесной знак «Авария»; 5 — навесной знак «Работа на оборудовании»; 6 — эксплуатационные участки ЭУ1, ..., ЭУ4; 7 — границы эксплуатационных участков

конструктивной сложности и высокой стоимости. Пример мнемосхемы небольшой оросительной системы, выполненной на планшетном щите, приведен на рисунке 14.8.

§ 14.5. Представление информации цифровыми индикаторами

Цифровой отсчет получает в настоящее время преимущественное применение. При цифровом отсчете процент ошибок при считывании равен 0,5 %, со стрелочного прибора с круглой шкалой — 10,9, с полукруглой — 16, горизонтальной — 27,5 и вертикальной — 35,5 %.

Как правило, цифровой отсчет проводится в привычной для восприятия десятичной системе счисления.

По способу воспроизведения цифры-индикаторы делят на четыре группы: с постоянным начертанием цифр, которые заранее нарисованы или выгравированы на металле или стекле и появляются в момент их воспроизведения (рис. 14.9, а); с формированием цифры из элементов в процессе считывания. Это мозаичные или цифросинтезирующие устройства. Причем в одних устройствах цифра синтезируется из точек (рис. 14.9, б), а в других — из полосок или светящихся отрезков линии (рис. 14.9, в); с формированием цифры путем быстрого перемещения светового луча; с индикацией разрядов электронных и полупроводниковых счетчиков.

Применяют индикаторы с освещенными цифрами, пример такого индикатора на три разряда приведен на рисунке 14.10. Блок каждого разряда расположен вертикально, за каждой цифрой находится лампочка, которая загорается при поступлении соответствующего импульса и освещает цифру. Неудобство такого индикатора в том, что считывание происходит на разной высоте (за исключением чисел с одинаковыми цифрами, например 444).

Интерес представляют светопроводные индикаторы. Светопроводы из тонких нитей стекла диаметром до 50 мкм укладывают в жгуты так, чтобы их концы образовали на одной стороне форму цифры (рис. 14.11). Каждое волокно для предотвращения рассеивания света покрывают тонким слоем из стекла с более низким коэффициентом преломления.

Подсвечивая с той стороны, где нити расположены горизонтально, на другом конце получаем изображение цифры. Для каждого разряда применяют десять таких жгутов.

Наряду с перечисленными существуют другие цифровые индикаторы, отличающиеся принципом действия и техническим исполнением, с которыми можно познакомиться в специальной литературе.

Широкое распространение получили электролюминесцентные индикаторы. Принцип действия их основан на свечении твердого вещества в переменном поле звуковой частоты. Индикатор — электрический конденсатор с одной пластиной в виде прозрачного проводящего слоя, например, двуокиси олова или окиси кадмия, наклеенного на стекло. На этот слой наносят слой электролюминофора, замешанного на диэлектрике, для получения изоляционного слоя. Второй пластиной конденсатора служит непрозрачная металлическая, например медная пленка, нанесенная на электролюминофор. Пленка служит также отражателем свет а.

Электролюминесцентные индикаторы потребляют небольшую мощность и могут включиться на выходе маломощных транзисторов. Недостатки таких индикаторов: необходимость в дополнительном источнике переменного тока звуковой частоты и высокое рабочее напряжение (200...250 В). Современная электроника создала элементы индикации, совместимые по электрическим характеристикам с выходом низковольтных маломощных транзисторов и интегральных схем. Это — светоизлучающие диоды (светодиоды) и жидкие кристаллы.

Элементы отображения на жидких кристаллах наиболее перспективны. Их принципиальное отличие заключается в том, что они относятся не к индикаторам цвета, а света и работают практически при любой освещенности помещения. Индикаторы на жидких кристаллах — самые экономичные по потреблению энергии и применяют их, например, для цифровой индикации в наручных кварцевых часах.

Наиболее эффективный современный способ отображения — представление информации на дисплее. Несмотря на наличие

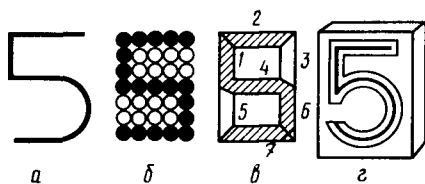


Рис. 14.9. Способы воспроизведения цифр:

а — рисованные; *б* — мозаичные из точек; *в* — мозаичные из отдельных полосок (1...7 — полоски, из которых составляют цифру); *г* — фигурные

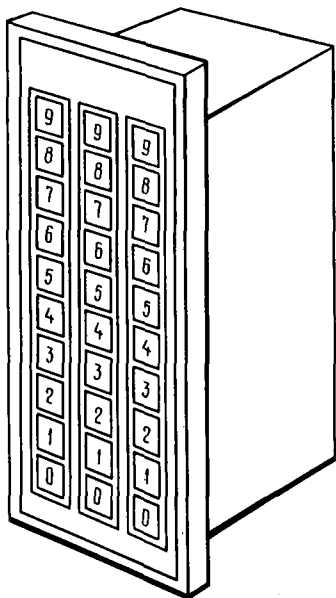


Рис. 14.10. Индикатор с освещенными цифрами

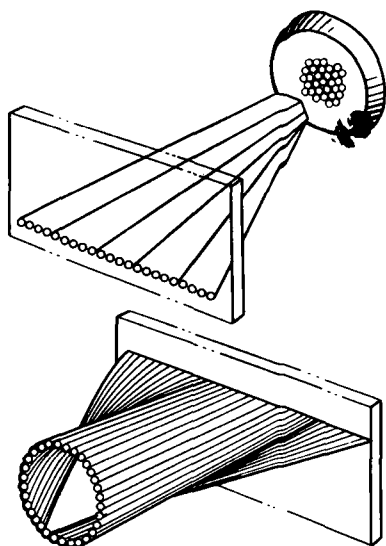


Рис. 14.11. Формирование знаков из элементов волоконной оптики

определенного консерватизма, связанный с наглядностью традиционных мнемосхем переход к микропроцессорам и микро-ЭВМ будет все более расширять области применения дисплеев.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о назначении диспетчерского пункта и из каких помещений он состоит.
2. Перечислите требования, предъявляемые к помещениям диспетчерского пункта.
3. Чем отличается мозаичный щит от обычного панельного и каковы его конструктивные особенности?
4. Для чего служат диспетчерские столы типа КЗСП, каковы его конструктивные особенности, чем отличаются его модификации?
5. Применяют два типа диспетчерских щитов— светлый и темный. В чем их отличительная особенность и в каких случаях выбирают тот или иной тип?
6. Что такое мнемосхема, ее назначение и как она выполняется?
7. Щит какой конструкции называют упрощенным и для каких целей его применяют?
8. Какие индикаторы для представления информации Вам известны?
9. В чем преимущества цифровых индикаторов и почему способ отображения информации на дисплее — наиболее эффективный?

Глава 15*. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП) ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

§ 15.1. Общие сведения

Уровень развития народного хозяйства, рост масштабов производства и усложнение технологий, стремительный рост номенклатуры изделий и ускорение её сменяемости, применение интенсивных методов и программирование урожаев в сельскохозяйственном производстве все больше усложняют процессы управления экономикой.

Поэтому наряду с улучшением организационной структуры и экономических методов управления, широким привлечением трудящихся в управлении хозяйством большое значение приобретает применение электронно-вычислительных машин и создание на их базе автоматизированных систем управления.

Дело в том, что способности человека к восприятию и переработке информации ограничены, и по мере развития экономики число и сложность задач управления на определенном уровне развития превосходят человеческие возможности. Например, для выполнения объективно необходимых задач управления в масштабе всей страны без применения ЭВМ и АСУ потребовалось бы привлечь к управлению около десяти миллиардов человек. Очевидно, что без применения ЭВМ и АСУ решить с требуемой полнотой современные задачи управления экономикой невозможно.

Таким образом, задача эффективного использования ЭВМ и АСУ для управления экономикой — одна из наиболее актуальных задач. С этой целью создают АСУ на всех уровнях управления, начиная с отдельных предприятий, объединений, отраслей народного хозяйства (ОАСУ) и кончая общегосударственной автоматизированной системой сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством (ОГАС).

АСУ различают не только по уровням иерархии управления, но и по назначению и выполняемым функциям. По назначению различают два основных типа автоматизированных систем управления: системы управления технологическими процессами (АСУТП) и системы управления производством (производственно-хозяйственной деятельностью предприятий) (АСУП).

Кроме того, реализуется процесс слияния АСУТП и АСУП в единую интегрированную систему управления (АСУОТ) — организационно-технологическая интегральная система, сочетающая функции АСУП и АСУТП и обеспечивающая согласованное по

* Глава написана совместно с Л. И. Ширманом.

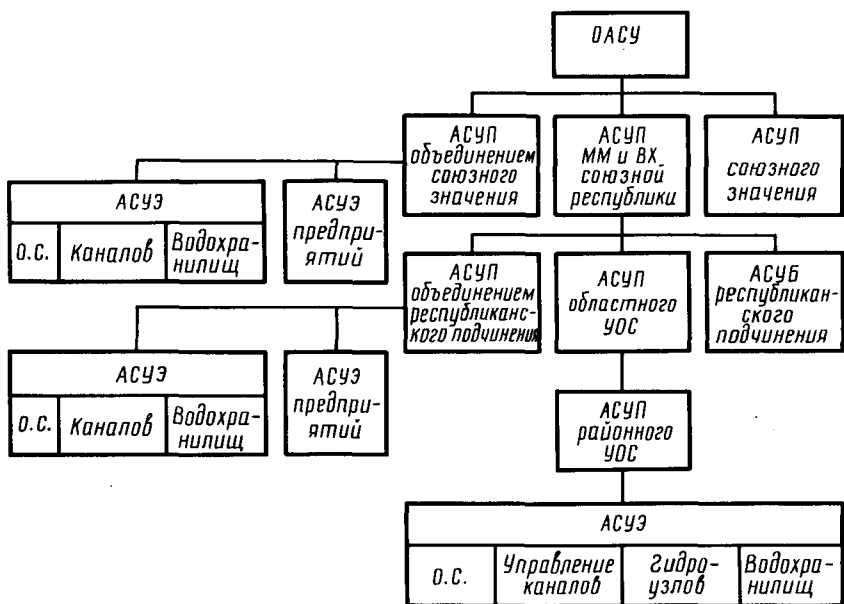


Рис. 15.1. Примерная структурная схема АСУ системы водного хозяйства

целям, критериям и процедурам обработки данных совместное функционирование АСУП и АСУТП на предприятии.

Опыт показал, что для ряда предприятий слияние АСУП и АСУТП в единую систему АСУОТ дает большой технико-экономический эффект.

Для крупных водохозяйственных комплексов, и в частности гидромелиоративных систем, разрабатывают единую интегрированную систему управления эксплуатацией АСУЭ, которая по назначению и выполняемым функциям соответствует системе АСУОТ. Различие в названиях обусловлено лишь сложившейся в гидромелиорации терминологией, где весь комплекс организационно-технологических мероприятий принято называть эксплуатацией гидромелиоративного объекта.

В отрасли мелиорации и водного хозяйства принята структура АСУ, предусматривающая их разделение по уровням иерархии управления, определяющая подчиненность низших уровней верхним, и существенно различающая составом решаемых задач и перерабатываемой информацией (рис. 15.1). ОАСУ обрабатывает задания Госплана СССР, других вышестоящих организаций, составляет план развития научно-технического прогресса отрасли и сроки его внедрения в производство и komponует плановые задания министерств мелиорации и водного хозяйства Союзных республик и производственным объединениям союзного значения с учетом состояния и развития их производственных

мощностей, трудовых ресурсов, обеспеченности сырьем, материалами и пр.

Аналогично в АСУП Министерства мелиорации и водного хозяйства Союзных республик обрабатываются задания вышестоящей организации и формируются планы для областных (краевых) управлений оросительных систем (УОС), а также производственным объединениям республиканского подчинения.

Процесс выдачи заданий протекает до предприятий включительно. Очевидно, что потоки информации по АСУ всех ступеней иерархии имеют двустороннее направление не только сверху — вниз, но и в обратном направлении передается информация о деятельности предприятия и его технико-экономическом состоянии.

Особое место занимают системы АСУБ — автоматизированные системы управления бассейном реки (рек), которые обеспечивают распределение воды и контроль забора воды ведомствами и потребителями, контроль качества воды, необходимые санитарные пропуски и т. п.

АСУТП — сложная многофункциональная система. В их создании, помимо специалистов по АСУ, принимают участие различные специалисты (технологи, специалисты по автоматике и телемеханике, математики, программисты, специалисты по электронно-вычислительной технике и др.). Как правило, в каждой отрасли народного хозяйства создают свои головные специализированные институты по созданию АСУ отрасли.

§ 15.2. Порядок и стадии создания АСУТП

АСУТП, как было показано, высшая ступень комплексной автоматизации, в полной мере реализующая системный подход при решении вопросов управления гидромелиоративными системами. Примерный порядок и последовательность действий АСУТП в реальном масштабе времени в общем виде прослеживаются на рисунке 15.2, где изображена иерархическая структура АСУТП, показывающая порядок подчинения взаимосвязанных подсистем АСУ. Первоначально система окрашивает показания датчиков и измерительных систем, расположенных на технологическом объекте управления (ТОУ). В зависимости от их показаний и заданных уставок локальным системам автоматизации происходит стабилизация систем или вырабатываются управляющие воздействия для исполнительных механизмов системы.

Учитывая большое значение оптимизации технологических режимов, программы, реализующие оптимальные алгоритмы, рассчитывают управляющие воздействия, удовлетворяющие наилучшим образом сформулированному заранее критерию оптимальности. И, наконец, АСУТП оснащены технологическим оборудованием и программным обеспечением для вывода всей

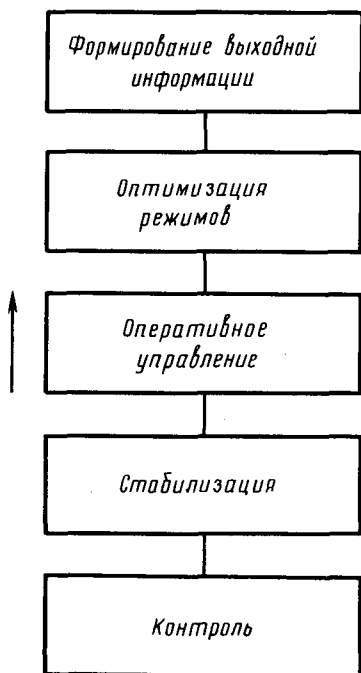


Рис. 15.2. Иерархическая структура АСУТП

необходимой информации — учетной и отчетной документации — как для местного персонала, так и для передачи вышестоящим уровням управления.

При изменении режимов работы или при возникновении аварийных ситуаций происходит манипулирование исполнительными механизмами по программам, отличным от программы, выполняемой при нормальном функционировании системы. Зачастую при этом меняется и режим управления.

Одно из необходимых условий успешной разработки АСУТП — наличие методических указаний по созданию систем, позволяющих использовать прогрессивные пути создания, унифицировать и типизировать методы разработки.

С этой целью в нашей стране действуют общепромышленные руководящие методические материалы ОРММ, в частности, по созданию АСУТП—ОРММ АСУТП, обязательные для всех, занимающихся созданием и внедрением их. Различают

АСУТП для действующих объектов и для вновь строящихся. Для первого случая имеется возможность предварительно обследовать объект и проанализировать его работу. Применительно к водохозяйственным объектам анализируют все причины, снижающие эффективность функционирования, например причины непроизводительных сбросов воды, несвоевременного удовлетворения заявок потребителей на воду, отказов и аварий оборудования и т. д. Для вновь проектируемых систем вместо прямого обследования изучают проектные разработки, режимы и условия работы объектов, аналогов и прогнозируют эффект создаваемой АСУТП. Выше была установлена технико-экономическая целесообразность разработки и ввода в эксплуатацию АСУТП параллельно со строительством и вводом в эксплуатацию гидромелиоративной системы.

В соответствии с ОРММ первоначальный анализ функционирования системы выполняют на стадии подготовки к созданию АСУТП, чтобы на основе этого составить технико-экономическое обоснование — ТЭО, в котором формулируются исходные требования к системе и ожидаемые технико-экономические эффекты, подтверждающие технико-экономическую целесообразность со-

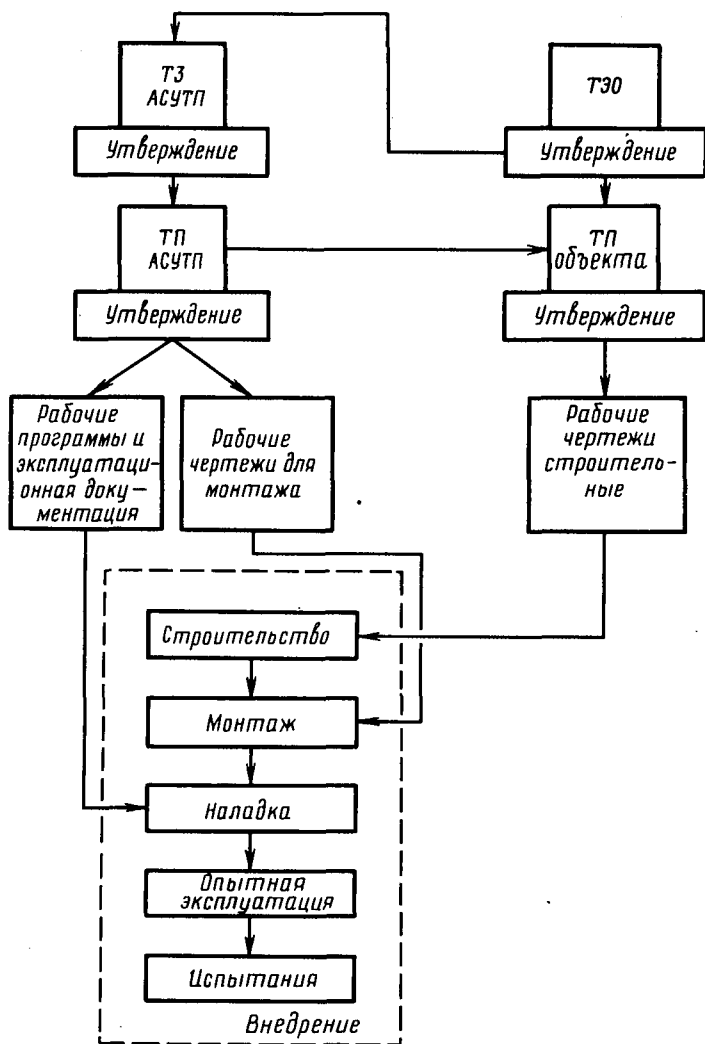


Рис. 15.3. Схема организации работ по созданию АСУТП

здания АСУТП, или, вернее, строительства гидромелиоративной системы, оснащенной АСУТП. Стадии создания АСУТП начинаются после утверждения упомянутого ТЭО. Общая схема организации работ при создании АСУТП приведена на рисунке 15.3, из которого видно, что после утверждения ТЭО последовательно выполняют следующие стадии: техническое задание ТЗ, технический проект ТП, рабочий проект, внедрение (ввод в действие), промышленная эксплуатация.

Первая стадия создания АСУТП «Техническое задание» разрабатывается с целью: детального обоснования возможности создания эффективной АСУТП с функциями и техническими характеристиками, сформулированными в виде исходных технических требований к системе; составления плана графика выполнения всех стадий по созданию АСУТП, включая монтажно-наладочные работы и ввод в действие.

Утвержденное техническое задание является документом, в соответствии с которым проверяют выполнение плана-графика и содержание всех стадий создания АСУТП, а также при сдаче его в промышленную эксплуатацию. На этой стадии выполняют эскизную разработку АСУТП, включающую предварительные: разработку функциональной и алгоритмической структур системы; синтез основных алгоритмов контроля и управления; выбор технических средств системы и его обоснование; определение задач по модернизации технологического оборудования; выбор общего программного обеспечения системы, алгоритмических и программных модулей, пакетов и библиотек прикладных программ из соответствующих фондов; предварительный сравнительный анализ системы и ее известных аналогов. Состав, содержание и порядок оформления ТЗ на создание АСУТП регламентируется ГОСТ 23252—78, в соответствии с которым ТЗ должно содержать вводную часть и следующие разделы: характеристики технологического объекта управления, назначение АСУТП, технико-экономические показатели АСУТП, требования к АСУТП, требования к заказчику по подготовке объекта, состав и содержание работ по созданию АСУТП; порядок ввода АСУТП в промышленную эксплуатацию. ТЗ на создание АСУТП после его утверждения является исходным руководящим документом при всех последующих стадиях по созданию АСУТП.

Одна из наиболее сложных стадий «Технический проект» разрабатывается с целью окончательного принятия всех технических решений и определения сметной стоимости системы. Эта стадия включает системотехнический синтез АСУТП, на котором, как правило, прорабатывают несколько альтернативных проектных вариантов, решают вопрос о функциях системы, приводят схему комплекса технических средств; аппаратно-технологический синтез АСУТП, где детально прорабатываются вопросы структуры комплекса технических средств (КТС), схемы автоматизации, характеристики средств измерения и каналов передачи информации; технического и информационного обеспечения АСУТП, на котором прорабатываются все алгоритмы, реализуемые на средствах вычислительной техники, детально изучается вся информация и вопросы, связанные со способами хранения информации, а также ее передачи.

Технический проект после его разработки утверждают.

Следующая стадия разработки АСУТП — «Рабочий проект», в котором разрабатывают полный комплект рабочей документа-

ции на создаваемую систему. Работа этой стадии завершается выпуском рабочего проекта АСУТП, состоящего из проектно-сметной документации, необходимой и достаточной для приобретения комплекса технических средств системы, его монтажа и наладки, документации программного и организационного обеспечения, необходимой для наладки и эксплуатации системы.

Исходные данные для выполнения рабочего проекта: утвержденные технические задания и технический проект АСУТП, а также дополнительные данные о электро-, водо- и теплоснабжении, более подробные данные о ГТС и др.

Иногда проектирование АСУТП осуществляют после ТЗ в одну стадию «Технорабочий проект». Решение о проведении одностадийного проектирования принимают при утверждении ТЗ. Одностадийное проектирование АСУТП возможно, когда для создания системы широко используют типовые решения, реализованные проекты-аналоги и если создается технически несложная система.

При создании АСУЭ используют наряду с ОРММ АСУТП и другие методические материалы и в первую очередь ОРММ АСУОТ.

АСУЭ Волга — Дон.

Ниже рассмотрен пример разработки АСУЭ для канала переброски части стока р. Волга в р. Дон (проект). Полное наименование разрабатываемой АСУЭ «Автоматизированная система управления эксплуатацией канала переброски части стока р. Волга в р. Дон». Далее будем именовать эту систему кратко — АСУЭ Волга-Дон. Отметим, что полный проект АСУЭ — многотомный труд, и излагаемые в этом параграфе данные дают лишь общее представление о составе АСУЭ и решаемых при этом задачах.

Схематический план канала переброски протяженностью 63,5 км приведен на рисунке 15.4. При помощи головной насосной станции (ГНС) канал забирает воду из Волгоградского водохранилища и перебрасывает ее в верховье Цимлянского водохранилища. Средний объем переброски 5,5 км³/год. Как показано на рисунке 15.4, канал включает в себя каналы К-1, К-2, К-4, К-5, К-6, головную насосную станцию с напорными трубопроводами для переброски воды через водораздел между Волгой и Доном, гидроузлы 0, 1, 2, состоящие из земляной плотины, ГЭС с совмещенным водосбросом и водохранилищами, полезная емкость которых используется для перерегулирования стока весеннего паводка. Водохранилище при гидроузле 0 рассчитано также на суточное регулирование в зимний период. Два сооружения на каналах К-2 и К-6 — РС-2 и РС-6 соответственно — служат для регулирования уровней воды в зимний период.

Характеристики участков канала, водохранилищ при гидроузлах 0, 1, 2, регулирующих сооружений РС-2 и РС-6, водосбросных сооружений гидроузлов 0, 1, 2 приведены в таблицах 15.1, 15.2 и 15.3.

Назначение, цели создания АСУЭ: объект имеет большое народнохозяйственное значение, так как запланированный объем переброски — 5,5 км³/год — должен решить задачу создания на значительной площади земель Ростовской области и Краснодарского края зоны гарантированного урожая; отсюда основное требование к системе управления, вытекающее из технологической сути объекта, — осуществить бесперебойную переброску заданных объемов воды из Волги в Дон; большие капитальные вложения в строительство канала и соответствующие отчисления на текущий и капитальный ремонты, значительное потребление электроэнергии насосной станцией приводят к существенным ежегодным расходам на эксплуатацию, что предопределяет необходимость

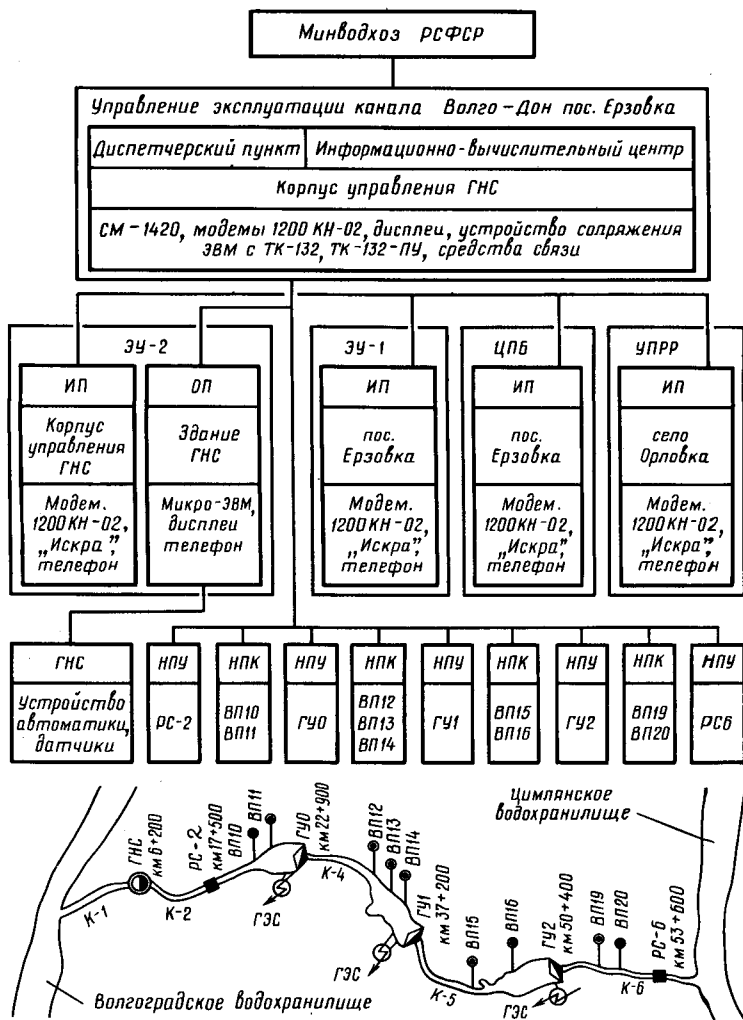


Рис. 15.4. Схематический план канала Волго-Дон и организационно-техническая структура АСУЭ:

ГНС — головная насосная станция; РС — регулирующее сооружение; ВП — водовыпускное сооружение; ГУ — гидроузел; ЭУ — эксплуатационный участок; НПУ — необслуживаемый пункт управления; НПК — необслуживаемый пункт контроля; ИП — информационный пункт; ОП — операторский пункт; ЦПБ — центральная производственная база; УПРР — участок погрузочно-разгрузочных работ

оптимального режима работы канала, требование обеспечения переброски с наименьшими затратами; круглогодичное функционирование гидроузлов и вследствие этого — ограниченный ремонтный период (один месяц) вызывают определенные сложности при эксплуатации технологических объектов, это обстоятельство

15.1. Характеристика участка канала

Канал	Расчетная пропускная способность, м ³ /с	Длина, км	Ширина по дну, м	Заложение откосов	Максимальная скорость, м/с	Глубина наполнения, м
К-2	244	10,00	18	3	1,52	4,9
К-4	244	2,55	20	4	0,59	7,8
К-5	244	6,81	40	5,5	0,49	6,4
К-6	244	6,28	34	5	0,51	6,8

15.2. Характеристика водохранилищ

Объект		Площадь зеркала при НПУ, км ²	Объем водохранилищ, млн м ³		Полезный объем, млн м ³	Длина, км	Ширина, км
			при НПУ	при ФПУ			
Водохранилище ГУ0	при	2,55	15	17,8	2,8	4,6	2,2
Водохранилище ГУ1	при	12	81,5	94,5	13	6,2	1,1
Водохранилище ГУ2	при	10,2	37	62	25	6,5	2

ство требует повышенной надежности работы оборудования и средств управления, создания рациональной системы технического обслуживания; работа насосной станции в зимний период как суточного потребителя-регулятора Волгоградской энергосистемы (восемь часов в провале графика нагрузок), выработка ГЭС «пиковой» мощности (два раза по четыре часа в сутки в максимумах графика нагрузок энергосистемы) требуют тесную взаимную увязку работы насосной станции, ГЭС, регулирующих сооружений, расположенных по всей длине

15.3. Характеристика гидроузлов и регулирующих сооружений

Гидроузлы и регулирующие сооружения	Сооружения				
	плотина			водосброс	
	тип	общая длина, м	максимальная строительная высота, м	тип	число пролетов
ГУ № 0	Земляная однородная насыпка	2232	18	Быстроток	2
ГУ № 1	Земляная однородная намывная	2903	21	»	2
ГУ № 2	То же	2600	12	»	2
РС-2	—	—	—	Водослив	2
РС-6	—	—	—	»	2

Гидроузлы и регулирующие сооружения	Сооружения					
	водосброс		ГЭС			расчетный расход, м ³ /с
	ширина пролета, м	расчетный расход, м ³ /с	тип основных затворов	число гидроагрегатов	марка гидроагрегатов	
ГУ № 0	8	244	Сегментные	2	ПЛ-20/811-В-500	265
ГУ № 1	8	244	»	2	ПЛ-20/811-В-500	265
ГУ № 2	8	244	»	2	ПЛ-20/811-В-500	265
РС-2	12	244	Плоские	—	—	—
РС-6	12	244	»	—	—	—

канала; незначительная регулирующая емкость водохранилищ при гидроузлах; специфичность режима работы гидроэлектростанций, которые должны, вырабатывая электроэнергию, работать как в режиме канала, так и согласно потребностям энергосистемы, требует оперативного согласования управления каналом и энергосистемой; прием в канал местного стока, расходы которого в период весеннего паводка могут значительно превышать подачу насосной станции, возможность только частичного перерегулирования его в водохранилищах определяют необходимость для управления каналом, получения оперативной и достоверной информации о текущей боковой приточности, включая ее прогнозирование; наиболее ответственный и сложный элемент канала переброски, обладающий высокой степенью технической насыщенности, уникальным насосно-силовым оборудованием, — насосная станция — основной технологический объект управления и контроля, на котором установлено 9 насосных агрегатов мощностью каждого 32 МВт, и особые сложные условия работы конструкции и сооружений насосной станции (значительный напор, просадочные грунты) требуют повышенного контроля за основаниями и фундаментами; влияние канала на прилегающую территорию, дренажа и орошения, расположенной поблизости Городищенской оросительной системы на канал определяют целесообразность организации контроля и прогноза мелиоративно-гидрогеологических условий в его зоне и на приканальных территориях.

Из сказанного следует, что целью разработки АСУЭ Волго-Дон является обеспечение бесперебойного перераспределения заданных объемов воды с минимальными потерями, и в качестве основного критерия цели создания АСУЭ принимают минимизацию затрат на электроэнергию и транспорт воды в целом.

Функциональная структура АСУЭ реализует следующие функции: сбор и первичную обработку технологической и экономической информации; учет и контроль деятельности системы; планирование и управление технологическим процессом переброски, ремонтно-эксплуатационной и административно-хозяйственной деятельностью [в том числе управление каскадом гидротехнических сооружений ГЭС и управление каждым сооружением в отдельности, управление наполнением и сработкой водохранилищ; контроль и прогнозирование состояния гидротехнических сооружений и приканальных территорий; контроль гидрологических параметров переброски и состояния технологического оборудования; предотвращение аварийных ситуаций; функции управления (планирование, учет, контроль); материально-техническим снабжением; трудовыми ресурсами, обеспечением системы энергоресурсами, транспортными средствами и т. д., капитальным

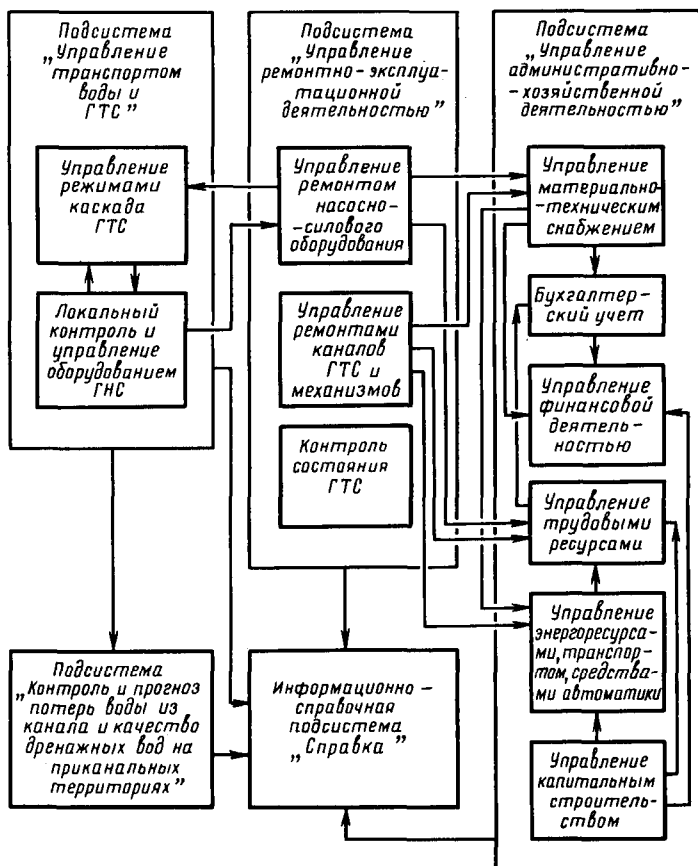


Рис. 15.5. Схема функциональной структуры АСУЭ

строительством; финансовой деятельностью; ремонтами насосно-силового оборудования; ремонтами канала, водохранилищ, гидросооружений].

В состав АСУЭ выделены следующие подсистемы (рис. 15.5): «Управление транспортом воды и основными гидротехническими сооружениями»; «Управление ремонтно-эксплуатационной деятельностью»; «Контроль и прогноз фильтрации воды в зоне канала Волго-Дон»; «Управление административно-хозяйственной деятельностью»; «Справка» (информационно-справочная подсистема).

Подробный перечень подсистем, комплексов задач и задач в составе указанных подсистем приведен ниже (код подсистемы содержит две цифры, код комплекса задач — три, код задачи — пять цифр).

Подсистему «Контроль и прогноз фильтрации воды в зоне канала Волго-Дон» создают для обеспечения контроля и прогноза мелиоративно-гидрологических условий в зоне канала и на приканальных территориях, в том числе для контроля водного и солевого режимов грунтов зоны аэрации, грунтовых вод и водоносных горизонтов, на которые распространится влияние инфильтрации из каналов и водохранилищ, действие дренажа и орошение на территории Городищенской оросительной системы.

Наименование подсистемы, комплекса задач, задачи	Код
Управление транспортом воды и основными ГТС	17
Управление режимами каскада ГТС	171
Расчет уровней водохранилищ	17 101
Расчет управляющих воздействий для поддержания уровня в канале	17 102
Расчет положения затворов на регулирующих сооружениях	17 103
Учет водоподачи, энергозатрат и выработки энергии	17 106
Планирование числа и состава включаемых агрегатов насосной станции при заданной суммарной подаче	17 110
Учет изменения режимов работы насосной станции	17 112
Учет аварийных уровней у гидросооружений	17 113
Локальный контроль и управление оборудованием насосной станции	172
Контроль уровней воды верхнего и нижнего бьефов насосной станции	17 201
Контроль технологических, энергетических параметров и показателей состояния оборудования в насосной станции	17 202
Учет расхода электроэнергии по каждому агрегату и насосной станции в целом	17 203
Учет расходов перекачиваемой воды через каждый агрегат и насосную станцию	17 204
Учет времени работы основного оборудования	17 204
Управление оборудованием насосной станции	17 206
Управление административно-хозяйственной деятельностью	19
Управление материально-техническим снабжением	191
Управление трудовыми ресурсами	192
Бухгалтерский учет	193
Управление финансовой деятельностью	194
Управление обеспечением энергоресурсами, транспортными средствами, средствами КИП, автоматики и телемеханики	195
Управление капитальным строительством	196
Управление ремонтно-эксплуатационной деятельностью	16
Управление ремонтами каналов, водохранилищ, сооружений, оборудования и механизмов	161
Формирование документов «Акт осмотра технического состояния объекта»	16 101
Расчет локальных смет на ремонт объектов	16 102
Составление сметных расчетов на прочие лимитированные затраты	16 103
Расчет сводных смет на ремонт объектов	16 104
Расчет потребности в материальных ресурсах	16 105
Составление проекта плана ремонтно-эксплуатационных работ	16 106
Корректировка плана ремонтно-эксплуатационных работ	16 107
Расчет графика ремонта объектов	16 108
Отчет о выполнении плана ремонтно-эксплуатационных работ	16 109
Расчет затрат на ликвидацию аварии	16 110
Управление ремонтом насосно-силового оборудования	162
Расчет технико-экономических показателей работы насосной станции	16 201
Составление прогнозируемого графика текущих ремонтов на год	16 202
Составление перспективного плана капитальных ремонтов насосных агрегатов на пятилетку	16 203
Расчет оптимального момента вывода насосных агрегатов в текущий ремонт	16 204
Контроль выполнения текущих ремонтов насосных агрегатов	16 205
Контроль и прогноз фильтрации воды в зоне канала Волго-Дон «Справка»	29

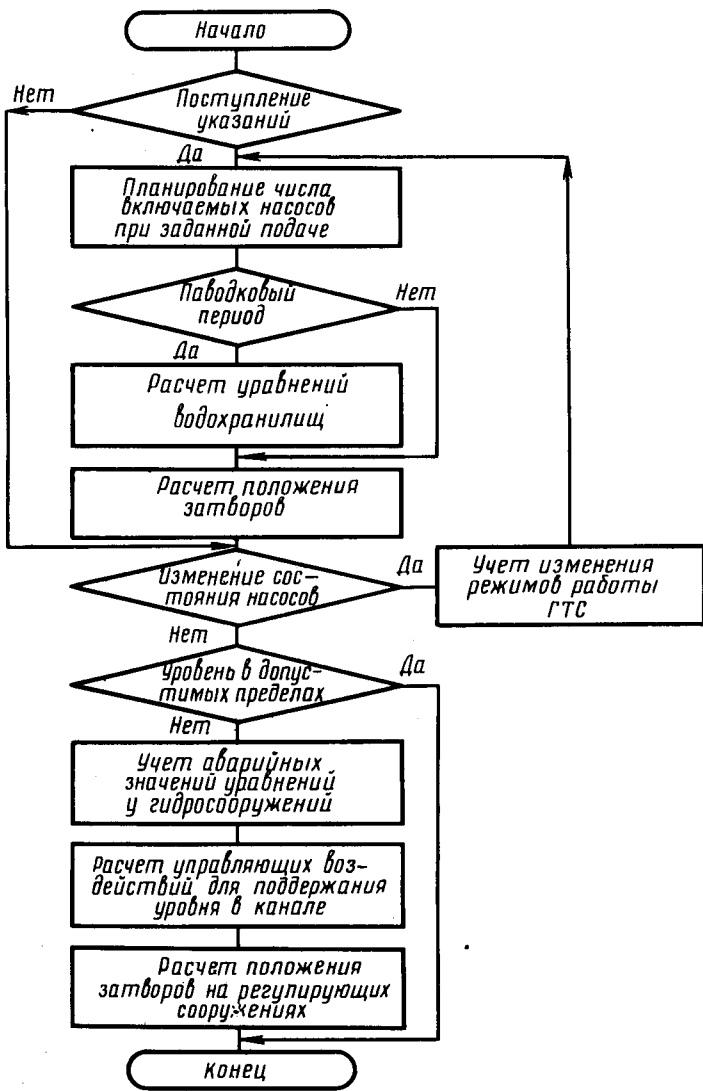


Рис. 15.6. Схема алгоритма «Управление режимами каскада ГТС»

Подсистема «Справка» (информационно-справочная поисковая система) предназначена для обеспечения управленческого, оперативно-диспетчерского персонала, работников различных подразделений необходимыми данными (по запросу) по основным видам деятельности канала переброски.

Назначение остальных подсистем, комплексов задач и отдельных задач, перечисленных выше, следует из их наименования.

Для каждой из задач разрабатывают алгоритм и программу для ввода ее

в УВК, на рисунке 15.6. приведена схема алгоритма — управления каскадом ГТС.

Схема организационной структуры АСУЭ и основные технические средства управления (см. рис. 15.4). Организационная структура подчинена условиям, режиму и оперативному управлению системы. Организационные подразделения АСУЭ: информационно-вычислительный центр (ИВЦ) в пос. Ерзовка; диспетчерский пункт канала (ДП) в пос. Ерзовка; информационные пункты (ИП) при эксплуатационных участках № 1 в пос. Ерзовка и № 2 на головной насосной станции при центральной производственной базе в пос. Ерзовка и при участке погрузочно-разгрузочных работ в с. Орловка; операторский пункт (ОП) на головной насосной станции.

К технологическим объектам оперативного управления относятся: головная насосная станция, гидроузлы 0, 1, 2 с водосбросными сооружениями и регулирующие сооружения РС-2 и РС-6. Необслуживаемыми пунктами контроля являются водовыпускные сооружения на каналах местного стока, принимаемого в канал Волго-Дон.

Работа по водорегулированию на канале заключается в переключении насосных агрегатов на головной насосной станции, в маневрировании рабочими затворами водосбросных сооружений, в увязке с переключениями и регулировании мощности (расхода воды) гидроагрегатов на гидроэлектростанциях, в маневрировании рабочими затворами регулирующих сооружений для соблюдения заданного (рассчитанного) технологического режима. Контроль за работой насосной станции, гидроузлов и регулирующих сооружений состоит в измерении и расчете технологических и электрических параметров, в наблюдении за отклонением параметров от заданных значений, за состоянием оборудования, систем и устройств.

Работа канала имеет особенности в летний и зимний периоды. Летом можно выделить режим пропуска весеннего половодья. В это время регулирующие сооружения РС-2 и РС-6 полностью открыты, а гидроузлы обеспечивают пропуск паводка, стремясь поддержать уровень воды в водохранилищах между отметками НПУ и ФПУ. Проведенный расчет динамики движения воды в канале и пропуска его через гидроузлы показал, что паводок высокой обеспеченности может быть пропущен при обязательном уменьшении подачи насосной станции, вплоть до полного отключения станции. В остальное летнее время в нормальном режиме насосная станция круглосуточно работает с постоянным расходом, гидроагрегаты на ГЭС также работают круглосуточно, вырабатывая электроэнергию; сооружения РС-2 и РС-6 поддерживают уровни воды в верхнем бьефе для исключения влияния колебания уровня воды в водохранилище 0 и Цимлянском на режим работы соответственно каналов К-3 и К-6.

В зимнее время по каналу идет пониженный расход, причем в праздничные и выходные дни канал функционирует по 24 ч, а в рабочие дни насосная станция работает по 8 ч в «провале» графика нагрузки энергосистемы; при этом вода накапливается в водохранилище 0, а в суточные «пики» графика нагрузки накопленная вода сбрасывается через турбины каскада ГЭС, в энергосистему выдается дополнительная мощность. При работе насосной станции сооружение РС-2 открыто, остальные закрыты, ГЭС отключены; при работе ГЭС сооружение РС-6 открыто, в период, когда отключена и насосная станция и ГЭС, сооружения РС-2 и РС-6 закрыты.

Кроме нормального, по каждому объекту регулирования может иметь место нерабочий (переходной) режим, а также аварийный режим в случае выхода уровня воды в подводящем или отводящем каналах за допустимые границы, превышения скорости изменения уровня расчетного значения в результате промывов плотины гидроузла, русла канала, заклинивания затворов.

Система оперативного управления должна обеспечивать идентификацию текущего состояния, выбор алгоритма управления, соответствующего необходимому режиму работы, реализацию управляющего алгоритма.

На основе анализа канала как объекта управления принята двухуровневая структура оперативного управления в отношении головной насосной станции и одноуровневая относительно всех остальных объектов.

Управление и контроль ГЭС намечено осуществить путем организации

центрального пункта управления каскада ГЭС, размещаемого в районе гидроузла № 1 (на схеме не показан).

Координируемым центром функционирования системы управления является ДП, на котором с использованием ИВЦ решаются задачи управления водорегулированием, ремонтно-эксплуатационной и административно-хозяйственной деятельностью.

Основным режимом оперативного управления всеми объектами канала принято централизованное из ДП (диспетчерское управление), с автоматической стабилизацией уровней; при выходе уровня воды в контролируемых створах за допустимые пределы назначенные диспетчером сооружения переходят на режим автоматического управления. ДП формирует указания оператору насосной станции по режиму ее работы, диспетчеру ГЭС по водному режиму каскада; управляет регулируемыми сооружениями, передает результаты решения задач, а также распределительную информацию соответствующим подразделениям. Необходимая информация поступает в ДП по каналам связи: из ИВЦ (технологическая и экономическая); из ИПЭ, осуществляющих сбор и первичную обработку экономической информации; из ОП на насосной станции (технологическая); с пунктов управления и контроля на сооружениях (технологическая);

В ОП насосной станции решаются задачи управления агрегатами, учета и контроля работы оборудования, технологических и энергетических параметров насосной станции, состояния конструкций и сооружений.

С ДП при помощи средств телемеханики и телеавтоматики осуществляют: контроль режимов работ канала (измерение уровней воды на отдельных участках канала и в водохранилищах и сигнализация отклонения уровней от заданных значений); контроль уровней и расходов месячных стоков в канал Волго-Дон (измерение уровней расходов и сигнализация отклонения от заданных значений на водовыпускных сооружениях); управление режимами работы отдельных участков канала и всего канала в целом путем: задания требуемой производительности головной насосной станции через операторский пункт или непосредственно с ДП; управления регулирующими сооружениями РС-2, РС-6 и сбросными сооружениями на гидроузлах ГУ 0, ГУ 1, ГУ 2 заданием уставок регуляторам непосредственно с ДП; контроль работы основного и вспомогательного оборудования на сооружениях канала (сигнализация состояния, несправности, аварии).

Операторский пункт и насосную станцию оборудуют программируемым телеавтоматическим комплексом, который обеспечивает управление насосной станцией в дистанционном, автоматическом и телеавтоматическом режимах и, кроме того, сбор информации, ее обработку, регистрацию и обмен информацией с ДП и ИВЦ.

Для управления остальными сооружениями с ДП используют средства телемеханики. С ДП предусматривают:

на регулирующих сооружениях РС-2, РС-6 и сбросных сооружениях при гидроузлах ГУ 0, ГУ 1, ГУ 2 телеуправление: многопозиционное, затворами (ТУм) — 2; изменением уставки регулятора (ТР) — 1; двухпозиционное, включением и отключением блокирования работы регулятора (ТЦ) — 1; телесигнализация: деблокировки регулятора — 1; аварийных режимов работы регулятора — 1; аварии затвора — 2; крайних положений затвора — 2; отклонения уровней воды от заданных значений — 2; телеизмерение: уровней воды в верхнем и нижнем бьефах — 2; положения затворов — 2; уставки регулятора — 1; на водовыпускных сооружениях: телеизмерение уровня воды (расхода) — 1; телесигнализация отклонения уровня от заданных значений — 1.

Общее число сооружений, контролируемых и управляемых с ДП, — 14. Сооружения рассредоточены вдоль трассы канала. Таким образом, для телемеханизации объектов канала Волго-Дон требуется комплекс средств телемеханики в составе одного пункта управления, устанавливаемого на ДП, и 14 контролируемых пунктов, устанавливаемых на сооружениях. Контролируемые пункты (КП) комплекса по своим информационным характеристикам должны иметь резко переменную структуру — от одного телеизмерения с телесигнализацией отклонения от заданных значений на водовыпускных сооружениях, до значительных

объемов на регулирующих и сбросных сооружениях: 8 телесигналов, 5 телеизмерений, 3 телеуправления, 1 телерегулирование на каждом сооружении. Комплекс должен быть рассчитан на автоматический обмен информацией с управляющим вычислительным комплексом, устанавливаемым в ИВЦ.

На ИВЦ находится управляющий вычислительный комплекс СМ 1420 (см. § 3.14), а также аппаратура передачи данных, включая мультиплексер и модемы.

ИП оснащают программируемыми клавишными машинами типа «Искра» и модемами.

Техническое обеспечение подсистемы «Контроль и прогноз фильтрации воды в зоне канала Волго-Дон» предусмотрено традиционными средствами с использованием самозаписывающих устройств и возможностью обработки информации после соответствующей подготовки в ИВЦ.

В ДП устанавливают видеотерминалы ЭВМ ИВЦ и операторского пункта, комплект устройства ввода и отображения информации комплекса насосной станции, диспетчерский мозаичный щит и пункт управления устройства телемеханики.

§ 15.3. Определение экономической эффективности АСУЭ

При разработке АСУ любого назначения для водохозяйственных систем в первую очередь определяют экономическую эффективность. Как было показано в § 15.2, экономическую эффективность АСУ определяют на предпроектной стадии — ТЭО. На каждой из последующих стадий (ТЗ, ТП) по мере накопления более подробных данных экономическую эффективность уточняют.

Необходимым условием создания АСУ служит экономическая эффективность. Показатели ее — капитальные затраты для ее осуществления до ввода в эксплуатацию включительно и сроки окупаемости капитальных затрат за счет экономических эффектов, получаемых в результате внедрения АСУ.

Расчет экономической эффективности выполняют в соответствии с «Методикой определения экономической эффективности автоматизированных систем управления предприятиями и производственными объединениями» (1978 г.)

Единовременные затраты (р.) на создание и внедрение АСУЭ

$$K_c = K_p + K_k,$$

где K_p — предпроизводственные затраты (на разработку проекта), р.; K_k — капитальные вложения на создание АСУЭ (затраты на приобретение оборудования, включая его транспортировку и монтаж, наладку и пуск, а также стоимость помещений, необходимых для размещения оборудования и функционирования системы), р.

Стоимость (р.) помещения, необходимого для размещения и функционирования системы, определяют по формуле

$$K_{зд} = C_{зд} S,$$

где $C_{зд}$ — средняя стоимость 1 м² помещения, р.; S — площадь помещения, м².

Выполним расчет экономической эффективности на примере АСУЭ Волга-Дон, капитальные затраты для которого приведены ниже.

Предпроизводственные затраты	268
K_n (проектные работы), тыс. р.	
Капитальные затраты K_k , тыс. р.	430
В том числе:	
оборудование $K_{об}$	406
помещение $K_{зд}$	24
<hr/>	
Итого K_c^A , тыс. р.	698

Текущие затраты, связанные с эксплуатацией системы, включают затраты: на электроэнергию, потребляемую техническими средствами системы; на амортизацию основных фондов; на текущий ремонт технических средств; на заработную плату персонала, обслуживающего систему; на содержание помещений системы, а также стоимость носителей информации и прочие расходы.

Затраты на электроэнергию (р.), потребляемую техническими средствами системы, вычисляют по формуле

$$C_{эл}^A = \Phi_n N K P_э,$$

где Φ_n — номинальный годовой фонд работы оборудования при трехсменной работе, за вычетом времени на ППР, ч; N — установленная мощность оборудования, кВт; K — коэффициент использования оборудования по мощности; $P_э$ — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, р.

Для АСУЭ Волго-Дон

$$C_{эл}^A = 5400 \cdot 15 \cdot 0,9 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3} \cong 1,5 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на амортизацию основных фондов определяют исходя из балансовой стоимости основных фондов и «Норм амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР» (табл. 15.4).

15.4. Расчет амортизационных затрат АСУЭ Волго-Дон

Затраты	Норма отчислений, %	Балансовая стоимость оборудования, тыс. р.	Сумма отчислений $C_{амт.}^A$, тыс. р.
Средства вычислительной техники $K_{вт}$	12	400	48
Электроаппаратура, средства оргтехники, мебель	11,3	1,9	~0,2
Кабельная продукция и ее монтаж	4	10,5	~0,5
Стоимость помещения $K_з$	2,5	24	0,6
<hr/>			
Итого:		436,4	49,3

Затраты (р.) на текущий и профилактический ремонты составляют 2,5% стоимости вычислительной техники, их определяют по формуле

$$C_{рем}^A = K_{вт} K_{рем},$$

где $K_{вт}$ — стоимость вычислительной техники, р.; $K_{рем}$ — коэффициент, предусматривающий затраты на текущий и профилактический ремонт оборудования.

Для АСУЭ Волго-Дон

$$C_{рем}^A = 400 \cdot 0,025 + 10 \text{ тыс. р.}$$

Расчет годового фонда основной заработной платы проводят исходя из штатного расписания структурных подразделений, обслуживающих систему, с учетом среднемесячных окладов (обычно штатное расписание разрабатывают в проекте эксплуатации системы).

Расчет годового фонда заработной платы для АСУЭ Волго-Дон сведен в таблицу 15.5.

15.5. Годовой фонд заработной платы

Наименование структурного подразделения	Число штатных единиц	Годовой фонд заработной платы Z_0 , р.
Службы центрального ДП	31	42 460
Службы автоматики и телемеханики	24	36 300
Отдел внедрения и развития АСУЭ	12	19 800
Итого:	67	98 560

Основную и дополнительную заработную плату (р.) обслуживающего персонала с отчислениями на социальное страхование вычисляют по формуле

$$Z^A = Z_0(1 + H_d)(1 + H_c)10^{-3},$$

где H_d — коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату; H_c — коэффициент, учитывающий отчисления на социальное страхование.

$$Z^A = 98\,560(1 + 0,1)(1 + 0,12)10^{-3} = 121,4 \text{ тыс. р.}$$

Затраты (р.) на содержание помещений системы

$$C_n^A = K_z K_n,$$

где K_z — стоимость помещений, тыс. р.; K_n — коэффициент, предусматривающий затраты на содержание помещений системы.

$$C_n^A = 24 \cdot 0,025 = 0,6 \text{ тыс. р.}$$

Стоимость носителей информации

$$C_n^A = K_{вт} K_{пр},$$

где K_n — коэффициент, предусматривающий затраты на носители информации; $K_n = 0,01$.

$$C_n^A = 400 \cdot 0,01 = 4 \text{ тыс. р.}$$

Прочие расходы (р.)

$$C_{пр}^A = K_{вт} K_{пр}^A,$$

где $K_{пр}^A$ — коэффициент, предусматривающий затраты на прочие расходы, $K_{пр}^A = 0,0025$.

$$C_{пр}^A = 400 \cdot 0,0025 = 1 \text{ тыс. р.}$$

Суммарные текущие затраты (р.), связанные с эксплуатацией системы,

$$\begin{aligned} K_{\text{сум}} &= C_{\text{эл}}^A + C_{\text{амт}}^A + C_{\text{рем}}^A + \mathcal{Z}^A + C_{\text{п}}^A + C_{\text{н}}^A + C_{\text{пр}}^A = \\ &= 1,5 + 49,4 + 10 + 121,4 + 0,6 + 4 + 1 = 187,8 \text{ тыс. р.} \end{aligned}$$

Экономические эффекты. В результате функционирования АСУЭ Волго-Дон факторами экономической эффективности принимают: экономию электроэнергии, снижение затрат на ремонты. Необходимо отметить, что выявить все возможные экономические эффекты после ввода в эксплуатацию АСУЭ, особенно при отсутствии действующих систем-аналогов, трудно. Отметим, что перечисленные два фактора экономии, принятые для подсчета экономической эффективности АСУЭ, не являются исчерпывающими. На основании данных опыта принято снижение затрат на электроэнергию на 3%. Экономия от снижения затрат на электроэнергию определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = \mathcal{Z}_{\text{эл}} \alpha,$$

где $\mathcal{Z}_{\text{эл}}$ — затраты на электроэнергию; α — коэффициент снижения затрат на электроэнергию, $\alpha = 0,03$.

Экономия от снижения затрат на ремонт оборудования принята 3,5% и определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{рем}} = C_{\text{рем}} \beta,$$

где $C_{\text{рем}}$ — стоимость ремонта оборудования; β — коэффициент снижения затрат на проведение текущих ремонтов, $\beta = 0,035$.

Годовая экономия от внедрения системы — сумма экономий, рассчитанная по отдельным факторам, за вычетом эксплуатационных затрат ($C_{\text{экс}}^A$), и определяют ее по формуле

$$\mathcal{E}^A = \mathcal{E}_{\text{эл}} + \mathcal{E}_{\text{рем}} - C_{\text{экс}}^A.$$

Для переброски $5,5 \text{ км}^3$ из Волги в Дон расход электроэнергии в год

$$\mathcal{E} = 12Q\text{Ht}/3600 = \text{WH}/300 = (5,5 \cdot 10^9 \cdot 80)/300 = 1,5 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

При стоимости 1 кВт·ч 1 к. (10^{-5} тыс. р.) общая стоимость электроэнергии

$$C_{\text{экс}} = 1,5 \cdot 10^9 \cdot 10^{-5} = 15\,000 \text{ тыс. р.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = 15\,000 \cdot 0,03 = 450 \text{ тыс. р.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{рем}} = 10 \cdot 0,035 = 0,35 \text{ тыс. р.},$$

где 10 — стоимость ремонта оборудования на год внедрения системы, р.

Таким образом, годовая экономия от внедрения системы

$$\mathcal{E}^A = 450 + 0,35 \cdot 187,8 = 262,55 \text{ тыс. р.}$$

Годовой экономический эффект (р.) вычисляют по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{E}^A - E_n K_c^A,$$

где E_n — единый нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,15$; K_c^A — единовременные затраты на создание и внедрение системы, р.

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 262,55 - 0,15 \cdot 698 = 157,85 \text{ тыс. руб.}$$

Расчетный коэффициент эффективности капитальных вложений

$$E_p = \mathcal{E}^A / K_k \geq E_{\text{нвт}}^A,$$

где \mathcal{E}^A — годовая экономия, тыс. р.; K_k — капитальные вложения на создание системы, тыс. р.; $E_{\text{нвт}}^A$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений на содержание АСУ.

Для АСУ в системе мелиорации и водного хозяйства, внедряемых после 1980 г., $E_{\text{нвт}}^A = 0,35$.

$$E_p = 262,55 / 430 = 0,61;$$

$$E_p = 0,61 > 0,35.$$

Срок (лет) окупаемости капитальных вложений

$$T = K_k / \mathcal{E}^A = 430 / 262,55 \cong 1,69 \text{ года.}$$

Расчет экономической эффективности АСУЭ Волго-Дон показывает, что разработка и внедрение системы экономически целесообразны. Помимо этого, АСУЭ оказывает благотворное воздействие на многие стороны производственно-хозяйственной деятельности. Решение перечисленных задач позволит улучшить организацию материально-технического снабжения, ритмичность функционирования системы, использования оборудования и машин, материальных, трудовых ресурсов, финансовой деятельности.

Внедрение подсистемы «Управление административно-хозяйственной деятельностью» позволит ускорить выполнение трудоемких плановых расчетов, увеличить производительность труда работников управления за счет замены ручной обработки данных на автоматизированную с применением ЭВМ, сократить численность управленческого персонала и приостановить его рост, несмотря на возрастающую с каждым годом сложность и многофакторность решаемых задач. Расширение состава решаемых задач, особенно оптимизационных, приведет к возрастанию эффективности рассмотренного АСУЭ.

§ 15.4. АСУ системы программирования урожаев

Программированное выращивание урожая начали внедрять в одиннадцатой пятилетке. Для этого в научно-исследовательских институтах гидротехники и мелиорации и ряде других организаций были созданы автоматизированные системы оперативного планирования поливов. Хотя строгое нормативное определение

понятия «программирование урожая» пока отсутствует, в различных информационных и методических материалах даны формулировки этого понятия, одна из которых следующая: «Программирование урожая есть оптимальное оперативное управление технологией выращивания сельскохозяйственных культур в целях стабильного получения максимума продукции на совокупности полей при заданных плановых ограничениях на ресурсы и иных критериях оптимальности».

Из определения следует, что управление комплексом факторов, обуславливающих рост и развитие растений, является основой программирования урожая. В указанном определении значение гидромелиорации специально не оговаривается. Однако, как было показано выше (см. § 9.1), ее цель — создание условий для получения высоких, устойчивых урожаев. Высокие урожаи — результат оптимального сочетания факторов жизни растений, и в первую очередь увлажнения и минерального питания.

При этом установлено, что оптимальным должно быть не только сочетание величин воздействия, но и сочетание сроков. Некоторое оптимальное сочетание величин воздействия и сроков обеспечивает рост урожайности, который намного превышает сумму ее приростов, вызванную действием отдельно взятых оптимальных воздействий (лучшей дозы удобрений, лучшего срока сева, лучшей оросительной нормы). Эффект взаимодействия орошения и удобрений для ряда сельскохозяйственных культур приведен в табл. 15.6.

15.6. Влияние удобрений и орошения на урожайность в степной зоне СССР

Культура	Урожайность, ц/га			
	без орошения и удобрений	с удобрениями, без орошения	орошение без удобрений	орошение и удобрение
Кукуруза				
зеленая масса	228	252	334	531
зерно	29,9	46,3	50,6	91,4
Озимая пшеница	22,2	28,6	36,9	51,6
Кормовая свекла	300	325	564	675

В орошаемом земледелии возникла проблема управления использованием ресурсов. Осуществление программированного возделывания сельскохозяйственных культур в целом — сложная многоплановая задача. Она предполагает учет многих факторов непрерывно меняющейся ситуации сельскохозяйственного производства, включающей непредсказуемый характер погодных условий, сложные и зачастую неопределенные реакции растений на воздействия внешней среды, экономические аспекты и многое другое.

Таким образом, программирование урожаев попадает в ряд процессов управления, нуждающихся в применении систем управления типа информационных и АСУТП, обуславливающих сельскохозяйственное производство.

Современный подход к управлению выращиванием сельскохозяйственных культур формируется в такой последовательности: переход к количественной оценке влияния различных факторов на урожайность вместо применяющихся традиционных технологий, базирующихся, как правило, на среднее поле и средние многолетние метеорологические данные;

комплексный учет агроэкологических и технологических условий производства;

индивидуальный подход к каждому полю;

оперативный контроль за ходом производства.

Для реализации этой программы необходимы сбор, передача и обработка информации о состоянии полей, погодных условиях и наличии ресурсов по всей обслуживаемой зоне. Оптимальное управление требует концентрации всей информации и принятия решений в едином управляющем центре. Программирование урожаев возможно лишь на основе анализа радиационного, теплового, водного и пищевого режимов посева при оптимальном комплексе агротехнических мероприятий. Только полный комплекс факторов — свет, тепло, вода, минеральное питание в оптимальном соотношении и высокий уровень агротехники — позволяет резко увеличить урожайность.

Именно в условиях орошаемого земледелия можно наиболее успешно управлять водным и минеральным режимами питания, а также формируя микроклимат посевов, воздействовать на радиационный и температурный режимы. Поэтому программирование урожаев в первую очередь целесообразно применять на орошаемых землях, добиваясь наиболее полной отдачи с каждого орошаемого гектара.

Автоматизированная информационно-советующая система оперативного планирования орошения, разработанная в УкрНИИГиМе, основана на математической модели динамики влажности на орошаемом поле и решает следующие задачи:

рассчитывает динамику влагозапасов на поливных участках на основании данных о фактической влажности, полученных в начале вегетационного периода, и текущих метеоусловий;

определяет биологически оптимальные сроки и нормы поливов для каждого поливного участка по всем культурам севооборота;

формирует оптимальные планы поливов для совокупности полей оросительной системы на предстоящие 7...10 сут, минимизируя колебания водоподдачи в систему;

при необходимости оптимально распределяет имеющиеся водные ресурсы в случае их дефицита;

формирует и выдает отчетность о ходе проведения поливов.

Система внедрена в 630 колхозах и совхозах Украинской ССР

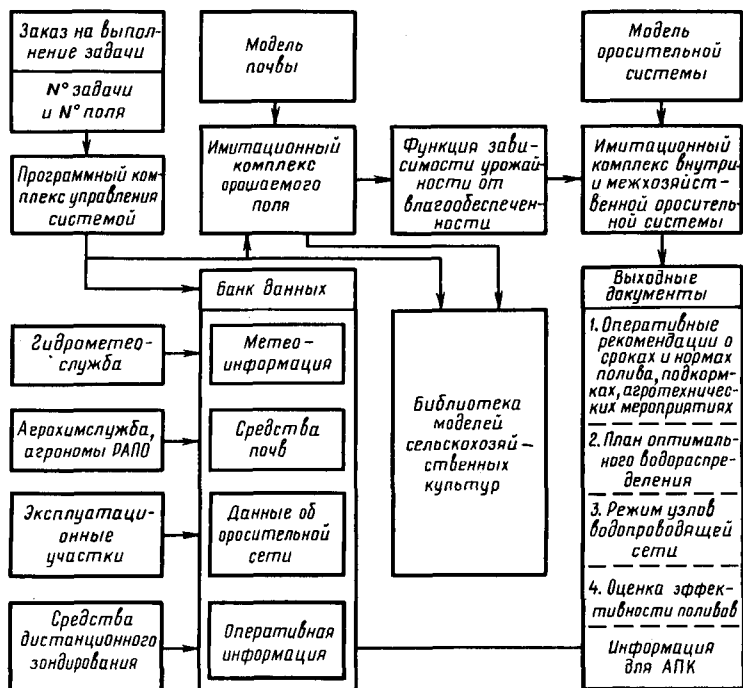


Рис. 15.7. Блок-схема информационно-вычислительной системы оперативного планирования орошения при программированном выращивании урожая

на площади 880 тыс. га. Экономическая эффективность составила 10...15 р. на 1 га.

Структура информационной системы для оперативного управления режимами орошения при программированном выращивании урожаев приведена на блок-схеме (рис. 15.7). Система состоит из банка данных, имитационного комплекса моделей сельскохозяйственных культур, имитационной модели внутри и межхозяйственной оросительной сети. Такая система обеспечивает выполнение регулярных расчетов влажности почвы и состояния культур по всем полям оросительной системы на каждый день, точность расчетов при назначении поливов с ошибкой ± 1 сут.

Система использует стандартные агрометеорологические данные и простые модели, позволяющие получать надежные результаты.

В целом задача управления выращиванием культур будет решаться путем создания типовой региональной схемы, прогнозирования урожаев на мелиорированных землях, использования современных ЭВМ и динамических моделей развития сельскохозяйственных культур, включения в проекты строящихся гид-

ромелиоративных систем информационного обслуживания полей для программированных технологий выращивания урожая. Большую роль в программировании урожая играют имитационные модели агроэкосистемы.

Контрольные вопросы и задания

1. Какую роль играют автоматизированные системы в управлении народным хозяйством?
2. Нарисуйте структурную схему АСУ.
3. Какие Вам известны типы АСУ по назначению?
4. Почему АСУОТ для гидромелиоративных систем называют АСУЭ?
5. Расскажите о порядке и этапах разработки АСУТП.
6. Что представляет собой ОРММ и какие ОРММ Вам известны?
7. Расскажите о канале Волго-Дон, его назначение и почему целесообразно для этого объекта создавать АСУЭ.
8. Нарисуйте функциональную схему АСУЭ Волго-Дон.
9. Расскажите о порядке подсчета экономической эффективности АСУЭ канала Волго-Дон и ожидаемом эффекте в результате ее внедрения.
10. Что понимают под системой программирования урожая и почему целесообразно внедрять ее на орошаемых землях?
11. Нарисуйте блок-схему информационно-вычислительной системы оперативного планирования орошения при программированном выращивании урожая и расскажите, как она работает.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автоматизация, определения 4, 24, 44
Автоматическое регулирование 28
 по отклонению 31
 по возмущению 32
 комбинированное 33
 по принципу адаптации 34
Автоматические системы регулирова-
ния 35, 41
 стабилизации 35
 программные 35, 44
 следящие 36
 непрерывные 36
 прерывистого действия 36
 циклические и ациклические 43
Автоматизированные системы управле-
ния 17, 400
 АСУ 17, 24, 400
 АСУП 400
 АСУТП 44, 400
 АСУОТ (АСУЭ) 401
Автоматизация гидромелиоративных
систем 4, 11, 21, 147
Алгебра логики 62
Аналого-цифровой преобразователь
(АЦП) 59, 92
Байт 76
Белл 365
Бит 76
Блок схемы алгоритма 70
Вычитание двоичных чисел 57
Влажность почвы 247, 320
Водовыпускные механизмы 264
 гидравлические последовательного
 действия 267
 гидравлические с программным уп-
 равлением 275
 гидравлические поворотные затво-
 ры 272
 гидропневматические с программ-
 ным управлением 275
 электрогидроуправляемые 279
 электрические 282
Водораспределительная сеть машины
«Кубань» 314
Водосберегающие технологии 322
Волновое сопротивление 364
Временной способ разделения сигна-
лов 340
Время-импульсная система телеизме-
рения 351
Вторичные параметры линий связи 364
Гидротехнические сооружения 133
Гравитационная гидроавтоматика 290
Гравитационная система автоматиза-
ции водораспределения «Гамма» 293
Двойная система счисления 47
Деление двоичных чисел 53
Децибелл 365
Дизъюнкция двух высказываний 64
Диодная матрица 357
Диски магнитные 92
Дискретная техника 46
Диспетчерский пульт 392
Диспетчерский щит 388
Дискретно-непрерывное преобразование
сигнала методом взвешивания 56
Диагностическое программирование 76
Дополнительное число 51
Достоверность передачи 331
Дождевание мелкодисперсное 325
Дождевание полустационарное 262, 296
Дождевание синхронно-импульсное 322
Дождевание стационарное 262
Заливка насосов 179, 184
Запаздывание в передаче информа-
ции 330
Запорная трубопроводная арматура
188, 272
Затворы 133
Затворы-автоматы 140, 141
Затворы гидравлического действия 140
Затворы плоские с масляным приводом
138
Затворы плоские с электроприводом
134, 146
Затухание 364
Защита фрегата 30, 299
Измерение расхода 168
Измерение уровня 157
Избирание сигналов 340
 групповое 339
 непосредственное 337
Индикаторы цифровые 397
Индуктивное сопротивление линии свя-
зи 362
Информации отображение 395
Каналы связи в выделенной полосе
частот 366, 367
Капельное орошение, автоматизация
325
Каскад — станция управления 235
Квантование непрерывного сигнала
47, 55
КЗСП, пульты 392
Кибернетика 28
Кибернетические системы 19
Клапан срыва вакуума 183
Код двоичный 76, 78, 354
Кодирование 336
Кодирующие диски 354
Кодоимпульсная система телеизме-
рения 353

- Конъюнкция двух высказываний 63
Купна, станция управления 238
Логические элементы гравитационной гидроавтоматики 290
Логический элемент 63, 64, 65, 66, 67
Линии связи воздушные 361, 364, 366, 367
Локальный телекомплекс ЛТК-133 379
Лотки поливные автоматизированные АПЛ и АПЛД 258, 260
Масштаб времени 90
Машина ЕС-ЭВМ 99
Микропроцессор 102
Микропроцессорная система 108
Микро-ЭВМ 103
Микроэлектроника 102
Мнемосимволы 391
Мнемосхема мимическая 395, 396
Модуляция 335
Мозаичный щит 390
Мультипрограммирование 75
Насосные станции, типы 176, 209
Насосные установки наземные 228, 230
Насосы, типы 174, 204
Непер 365
Организационная структура АСУТП 402
ОРММ АСУТП 403
Орошение 5
Отображение информации 395
Память ЭВМ 99
Поколения ЭВМ 98
Полив, способы 246, 250, 251, 262, 319, 327
Преобразование непрерывных сигналов в дискретные 53
— дискретных сигналов в непрерывные 56
Прерывание 91
Программирование 74
Программное обеспечение 75
Программное устройство управления поливом 284
Прямое цифровое управление 94, 97
Радиоканалы телемеханики 385
Радиорелейные линии связи 367
Распределительный метод избирания сигналов 343
Расходомеры на напорных трубопроводах 168, 169, 170
Регистры микропроцессоров 104
Регулирование насосных станций подкачки 217, 220, 221
Регулирование расхода насосных станций 214
Регулирование режима канала 114, 115, 117, 119, 121, 122, 123
Регулирование уровня 148, 163
Регулятор уровня «Парус» 163
Регуляторы типа 37, 38, 39
Системы программирования урожая 419
Системы телемеханики 322, 330, 344
Сифон — система-автомат бороздкового полива 255
Стадии создания АСУТП 402
Супервизорное управление 96
Тетрада 76
Телеизмерение, классификация 349, 350, 351, 353, 358
Телекомплекс, ТК-132 376
— ТК-133 382
Телемеханика, определение 330, 332, 347
Телемеханика, КЭТ-51-01 371
— с радиоканалами для объектов вертикального дренажа 385
Телеуправление автоматическими регуляторами затвора 149
Техническая кибернетика 28
Транспозиция 360
Триггер 67
Управление машиной «Кубань» 308
Управляющий вычислительный комплекс (УВК) 90, 94, 95, 96, 97
Устройства измерения уровня 157, 158, 159, 161
Устройства периферийные ЭВМ 79, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89
Функциональная структура АСУЭ 409
Шестнадцатиричная система счисления 76
Экономическая эффективность 415
Экономия воды 21, 250
Электрические схемы управления насосными станциями 208, 210, 211, 212, 269
Электроснабжение машины «Кубань» 312

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Гидромелиоративные системы как объекты автоматизации и управления	4
§ 1.1. Особенности гидромелиоративных систем как объектов автоматизации и управления	4
§ 1.2. Задачи автоматизации оросительных систем	7
§ 1.3. Методы и приемы автоматизации и управления оросительными системами	12
§ 1.4. Автоматизированные системы управления и кибернетические системы	17
§ 1.5. Очередность автоматизации объектов гидромелиоративных систем	19
§ 1.6. Строительство оросительных систем и задачи автоматизации	21
§ 1.7. Системный подход и проблемы управления гидромелиоративными системами	24
Глава 2. Структура и функции систем автоматизации	28
§ 2.1. Основные понятия и определения	28
§ 2.2. Классификация автоматических систем	35
§ 2.3. Законы автоматического регулирования	37
§ 2.4. Построение систем автоматического управления	41
§ 2.5. Дискретная техника	46
§ 2.6. Двоичная система счисления	47
§ 2.7. Арифметические действия с двоичными числами	50
§ 2.8. Преобразование непрерывных сигналов в дискретные	53
§ 2.9. Преобразование дискретных сигналов в непрерывные	56
Глава 3. Электронно-вычислительные машины для вычислений, автоматизации и управления	58
§ 3.1. Общие сведения	58
§ 3.2. Принцип действия ЭВМ	58
§ 3.3. Схемотехника ЭВМ	62
§ 3.4. Блок-схема алгоритма	70
§ 3.5. Программирование	74
§ 3.6. Терминология	76
§ 3.7. Системы кодирования	76
§ 3.8. Основная память ОЗУ	79
§ 3.9. Периферийные устройства (ПУ) ЭВМ	79
§ 3.10. Устройство ввода информации	84
§ 3.11. Основные типы устройств вывода информации	87
§ 3.12. Особенности управляющего вычислительного комплекса (УВК) для автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП)	90
§ 3.13. Структурная схема связи УВК с объектом	93
§ 3.14. Поколения ЭВМ	98
Глава 4. Микропроцессоры и микро-ЭВМ	102
§ 4.1. Общие сведения	102
§ 4.2. Элементы структуры микропроцессоров и микро-ЭВМ	104
§ 4.3. Типы памяти	106

§ 4.4. Микропроцессорные системы	108
§ 4.5. Применение микропроцессорных систем для автоматизации и управления в гидромелиоративных системах	110
§ 4.6. Комплекс технических средств для локальных информационно-управляющих систем — КТС ЛИУС-2	111
Глава 5. Автоматизация водораспределения	112
§ 5.1. Задачи управления водораспределением	112
§ 5.2. Схемы автоматического регулирования режимов каналов	114
§ 5.3. Схемы автоматического регулирования режимов закрытых водоводов	125
§ 5.4. Выбор системы автоматизации водораспределения	127
Глава 6. Автоматизация гидротехнических сооружений	133
§ 6.1. Основные требования к гидротехническим сооружениям систем автоматизации водораспределения	133
§ 6.2. Подъемные механизмы плоских затворов	135
§ 6.3. Затворы гидравлического действия	140
§ 6.4. Основы автоматического управления гидротехническими сооружениями	147
§ 6.5. Методы и устройства для измерения уровней и расхода воды в открытых каналах	155
§ 6.6. Приборы для измерения, контроля и регулирования уровня воды	157
§ 6.7. Автоматические регуляторы	163
§ 6.8. Расходомеры на напорных трубопроводах	168
Глава 7. Автоматизация насосных станций	172
§ 7.1. Общие сведения	172
§ 7.2. Рабочие характеристики насосов	174
§ 7.3. Автоматическое управление насосными установками	176
§ 7.4. Управление насосной установкой без управляемого вспомогательного оборудования	178
§ 7.5. Схемы автоматического управления заливкой насосов	184
§ 7.6. Автоматическое управление запорной арматурой	188
§ 7.7. Общие принципы построения схем автоматического управления насосными агрегатами и установками	199
§ 7.8. Параллельная работа насосов с разными характеристиками	204
§ 7.9. Электрические устройства автоматического управления насосными установками	205
§ 7.10. Принципиальные технологические схемы автоматизации насосных станций	206
§ 7.11. Степень автоматизации насосных станций	208
§ 7.12. Схемы управления насосными станциями в автоматическом режиме	209
§ 7.13. Автоматическое регулирование расхода насосных станций	214
§ 7.14. Автоматизация насосных станций, работающих на закрытую трубопроводную сеть	217
Глава 8. Автоматизация скважин на воду	227
§ 8.1. Общие сведения	227
§ 8.2. Насосные установки буровых скважин	228
§ 8.3. Требования и особенности автоматизации артезианских насосных установок	232
§ 8.4. Аппаратура автоматического управления погружными электронасосами	235
§ 8.5. Автоматизация наблюдательных скважин	244

Глава 9. Автоматизация полива	246
§ 9.1. Общие сведения	246
§ 9.2. Автоматизация поверхностного полива	250
§ 9.3. Автоматизация полива дождеванием	262
§ 9.4. Автоматизация стационарных дождевальных систем (АСДС)	263
§ 9.5. Водовыпускные механизмы для автоматизированных систем полива	264
§ 9.6. Автоматическая система полива с клапанами последователь- ного действия	266
§ 9.7. Водовыпускные механизмы с устройством программного пе- реключения	268
§ 9.8. Гидроуправляемый пробковый затвор	269
§ 9.9. Особенности гидроуправляемых водовыпускных механизмов	271
§ 9.10. Гидравлические поворотные дисковые затворы	272
§ 9.11. Гидропневматическая система управления поливом	275
§ 9.12. Электрогидроуправляемые водовыпускные механизмы	278
§ 9.13. Электрические водовыпускные механизмы	282
§ 9.14. Программные устройства системы автоматического управле- ния поливом	284
§ 9.15. Гравитационная гидроавтоматика. Система «Гамма»	290
§ 9.16. Автоматизация полива полустационарными дождевальными системами	296
§ 9.17. Автономная полустационарная дождевальная система с ма- шинами «Фрегат»	304
§ 9.18. Стабилизация напора трубопроводной сети АПДС	306
§ 9.19. Дождевальная машина «Кубань»	308
§ 9.20. Автоматизация водораспределения из оросительной сети и и водоподачи при поливе дождевальными машинами «Кубань»	314
§ 9.21. Автоматизация полива в зависимости от потребности расте- ний в воде	319
§ 9.22. Автоматизация систем полива с водосберегающими техноло- гиями	322
§ 9.23. Автоматизация полива риса	327
 Глава 10. Принципы построения систем телемеханики	 330
§ 10.1. Основные понятия и определения	330
§ 10.2. Структура системы телеуправления и телесигнализации	333
§ 10.3. Телемеханические сигналы	334
§ 10.4. Передача и прием сигналов	337
§ 10.5. Методы избирания сигналов	340
§ 10.6. Элементная база устройств телемеханики	345
§ 10.7. Устройство сопряжения системы телемеханики с ЭВМ	347
 Глава 11. Системы телеизмерения	 348
§ 11.1. Общие сведения	348
§ 11.2. Кодо-импульсные системы телеизмерения	353
§ 11.3. Частотные системы телеизмерения	358
 Глава 12. Каналы связи	 359
§ 12.1. Общие сведения	359
§ 12.2. Некоторые конструктивные особенности линий связи гидро- мелиоративных систем	360
§ 12.3. Параметры воздушных линий	361
§ 12.4. Использование линий телефонной связи для передачи сигналов телемеханики	365
§ 12.5. Использование линий электроснабжения в качестве телеме- ханического канала связи	366
§ 12.6. Радиорелейные каналы связи	367
	431

Глава 13. Устройства телемеханики для гидромелиоративных систем	368
§ 13.1. Основные требования к устройствам телемеханики	368
§ 13.2. Комплекс средств телеавтоматики КЭТ-51.01	371
§ 13.3. Телекомплекс ТК-132	376
§ 13.4. Локальный управляющий вычислительный телекомплекс ЛТК-133	382
§ 13.5. Комплекс устройств телемеханики с радиоканалом связи для объектов вертикального дренажа	385
Глава 14. Оборудование диспетчерских пунктов	387
§ 14.1. Общие сведения	387
§ 14.2. Компоновка диспетчерских пунктов	389
§ 14.3. Диспетчерские щиты и пульта	391
§ 14.4. Элементы отображения информации	398
§ 14.5. Представление информации цифровыми индикаторами	400
Глава 15. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) водохозяйственных систем	403
§ 15.1. Общие сведения	403
§ 15.2. Порядок и стадии создания АСУТП	405
§ 15.3. Определение экономической эффективности АСУЭ	418
§ 15.4. АСУ системы программирования урожая	422
Предметный указатель	427

Учебное издание

ГАНКИН МИХАИЛ ЗЕЛИКОВИЧ

**КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ
И АСУТП ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Зав. редакцией А. И. Гераськина
Художественный редактор К. Е. Мазегорин
Технический редактор Г. Г. Хацкевич
Корректор Н. А. Смолина

ИБ № 6362

Сдано в набор 03.04.90. Подписано к печати 21.09.90. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,0. Усл. кр.-отт. 27,0. Уч.-изд. л. 29,14. Изд. № 045. Тираж 2000 экз. Заказ № 59. Цена 1 р. 60 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Диапозитивы изготовлены в Ярославском полиграфкомбинате Госкомпечати СССР. 150049, Ярославль, ул. Свободы, 97.

Отпечатано в Московской типографии № 6 Госкомпечати СССР. 109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.