

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**С.Н. Фурсенко
Е.С. Якубовская
Е.С. Волкова**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов специальности
«Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства»
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования*

**Минск
2007**

УДК 631.171:65.011.56(075.8)

ББК 40.7я7

Ф 95

Рекомендовано научно-методическим советом агроэнергетического факультета БГАТУ

Протокол № 5 от 18 января 2006 г.

Авторы: канд. техн. наук, доц. *С.Н. Фурсенко*,
ст. преподаватель *Е.С. Якубовская*,
ст. преподаватель *Е.С. Волкова*

Рецензенты: канд. техн. наук, доц., зав. каф. автоматизации производственных процессов и электротехники УО БГТУ *И.Ф. Кузьмицкий*,
д-р техн. наук, проф., директор Института энергетики АПК НАН РБ
В.И. Русан

Фурсенко, С.Н.

Ф 19 Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. — Минск : БГАТУ, 2007. — 592 с.

ISBN 978-985-6770-38-1

Учебное пособие посвящено вопросам электроавтоматики первого уровня технологических процессов сельскохозяйственного производства.

В издании показано значение и особенности автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства, их влияние на синтез и разработку технологических требований к аппаратной части систем автоматического управления. Раскрыта технология проектирования систем автоматизации поточных линий. В том числе с использованием программируемых логических контроллеров в системах управления оборудованием. Описаны автоматические системы типовых технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Предназначено для студентов, широкого круга инженерно-технических работников.

УДК 658.512.011.56(07)

ББК 30.2-5-05я7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве связан с комплексной механизацией технологических процессов и широким применением средств автоматизации. Современные научно-технические преобразования в технологии сельскохозяйственного производства приводят к тому, что информационных данных даже квалифицированным специалистам недостаточно для того, чтобы эффективно управлять сложными технологическими процессами на животноводческих комплексах, птицефабриках, тепличных комбинатах. Для выполнения поставленных перед сельским хозяйством задач по повышению эффективности производства необходимо широкое внедрение современных приборов и средств автоматизации, создание эффективных систем управления технологическими процессами. Новые возможности для высокоэффективной автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства открывает применение микропроцессорных средств автоматизации в системах управления. Создаются предпосылки для применения в сельскохозяйственном производстве в больших масштабах высокопроизводительных энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Внедрение и эксплуатация современной техники автоматизации, повышение эффективности ее использования возможно лишь с участием высококвалифицированного персонала, владеющего технической базой автоматизации, основами разработки и проектирования автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных отраслях сельскохозяйственного производства.

Настоящее учебное пособие имеет цель содействовать подготовке учащихся по этим вопросам и написано в соответствии с программой курса «Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства», предусмотренного учебным планом по специальности К1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства».

Учебное пособие состоит из четырех разделов.

В разделе 1 приведены основные понятия и определения автоматизации технологических процессов, излагаются технологическо-экономические основы автоматизации сельскохозяйственного производства.

В разделе 2 излагаются принципы построения и функционирования различных приборов автоматизации, в том числе и цифровых, методика проектирования и настройки систем автоматического управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства.

В разделе 3 приводятся: структура проекта автоматизации технологических процессов, нормативные материалы по разработке технической документации, позволяющие выполнять работы по разработке, внедрению и эксплуатации систем автоматизации.

В разделе 4 рассмотрены вопросы автоматизации типовых технологических процессов в различных отраслях сельскохозяйственного производства. Для типовых объектов автоматизации приводятся соответствующие схемы

автоматизации, принципиальные электрические схемы управления и варианты схем с использованием современных средств автоматизации.

В учебном пособии использованы материалы научно-исследовательских изысканий и практических разработок творческих коллективов и отдельных разработчиков технологий сельскохозяйственного производства и средств автоматизации, что отражено в списке использованной литературы.

Учебно-методическое пособие является первым изданием, где последовательно отражены вопросы технологии сельскохозяйственного производства, базирующиеся на агроэкологических требованиях к техническим средствам механизации, и автоматизации и в соответствии с этим рассмотрены вопросы автоматизации технологических процессов.

При написании пособия ставилась задача по обобщению, анализу и систематизации разработок в области автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства, разработке инженерных методов синтеза систем автоматизированного управления технологическими процессами (САУ ТП) с учетом функциональных возможностей современных средств автоматизации, реализации методических разработок по проектированию систем автоматического управления технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Учебно-методическое пособие должно привить студентам навыки: проектирования систем управления технологическими процессами, разработки технической документации проекта автоматизации технологических процессов.

Материал учебно-методического пособия восполнит существовавший многие годы пробел в литературе по автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства и может быть полезен работникам, занимающимся монтажом, наладкой и эксплуатацией САУ ТП.

В настоящем учебном пособии использованы стандарты и другие официальные документы, действующие на 1.12.2005 года.

Авторы признательны сотрудникам кафедры АСУП Клочковой Е.Б. и Жур А.А. принявших участие в оформлении и подготовке материалов учебного пособия к изданию.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1 Основные понятия и определения

Автоматизация — применение технических средств, экономико-математических методов и *систем управления*, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации.

Автоматизируются:

- *технологические*, энергетические, транспортные и другие производственные процессы;
- проектирование сложных агрегатов, промышленных сооружений, производственных комплексов;
- организация, планирование и управление в рамках цеха, предприятия, строительства, отрасли и др.;
- научные исследования, медицинское и техническое диагностирование, программирование, инженерные расчеты и др.

Цель автоматизации — повышение производительности и эффективности труда, улучшение качества продукции, устранение человека от работы в условиях, опасных для здоровья.

В зависимости от функций, выполняемых специальными автоматическими устройствами, различают следующие *основные виды автоматизации*: автоматический контроль, автоматическую защиту и автоматическое управление.

Автоматический контроль включает автоматическую сигнализацию, измерение, сортировку и сбор информации.

Автоматическая сигнализация предназначена для оповещения обслуживающего персонала о предельных или аварийных значениях каких-либо физических параметров, о месте и характере нарушений технологического процесса (ТП).

Сигнальными устройствами служат: лампы, звонки, сирены, специальные мнемонические указатели и др.

Автоматическое измерение позволяет измерять и передавать на специальные указательные или регистрирующие приборы значения физических величин, характеризующих технологический процесс или работу машин. Обслуживающий персонал по показателям приборов судит о качестве технологического процесса или о режиме работы машин и агрегатов.

Автоматическая сортировка осуществляет контроль и разделение продуктов по размеру, весу, твердости, вязкости и другим показателям (например, сортировка зерна, яиц, фруктов, картофеля и т.п.).

Автоматический сбор информации предназначен для получения информации о ходе ТП, о качестве и количестве выпускаемой продукции и для дальнейшей обработки, хранения и выдачи информации обслуживающему персоналу.

Автоматическая защита представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс. Автоматическая защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Она воздействует на органы управления и оповещает обслуживающий персонал об осуществленной операции.

Автоматическое управление включает комплекс технических средств и методов по управлению, обеспечивающих пуск и остановку основных и вспомогательных устройств, безаварийную работу, соблюдение требуемых значений параметров в соответствии с оптимальным ходом технологического процесса.

Сочетание комплекса технических устройств с объектом управления называют системой автоматического управления ТП (САУ ТП).

Частным случаем САУ ТП является система автоматического регулирования (САР), состоящая из регулятора и объекта управления.

1.2 Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства

Основной задачей автоматизации сельскохозяйственного производства является не только технико-экономическое, но и социальное значение. Автоматизация позволяет повысить производительность и улучшить условия труда, увеличить количество и улучшить качество получаемой продукции, освободить работников от тяжелого физического труда и однообразного умственного, снизить потери и себестоимость продукции, увеличить сроки службы сельскохозяйственной техники и повысить эффективность общественного производства.

Широкое внедрение средств автоматизации в сельскохозяйственном производстве стало возможным после осуществления комплексной механизации и электрификации, перевода ряда отраслей на промышленную основу производства животноводческой и полеводческой продукции.

Внедрение средств автоматики в производство началось после первой мировой войны и продолжается до настоящего времени. За этот период элементная база средств автоматики прошла несколько этапов своего развития.

На первом этапе и до сих пор в сельском хозяйстве широко используется релейно-контактная аппаратура: реле, магнитные пускатели, ключи управления и т.д.

В электронных приборах в это время получили распространение электронные лампы и различные электронно-вакуумные приборы.

Эти приборы из-за ряда недостатков были не приспособлены для широкого использования в автоматике сельскохозяйственного производства.

В 50-60-х годах появилась многочисленная номенклатура полупроводниковых элементов: диодов, транзисторов, тиристоров, семисторов и т.д.

Они имеют практически неограниченный срок службы, высокую виброустойчивость, мгновенную готовность к действию, широкую номенклатуру по мощности (от долей мВт до сотен кВт), по напряжению (от долей В до кВ), что позволило разработать компактные и надежные логические, функциональные элементы и электронные приборы.

В 60-70-х годах появилось новое направление в создании узлов автоматики и вычислительной техники на принципиально новых элементах, которые получили название интегральных микросхем, характеризующихся микроминиатюризацией как самих элементов, так и аппаратуры в целом.

И, наконец, наступил этап развития средств автоматики, радиоэлектроники и вычислительной техники, когда при создании широкого класса функциональных приборов и узлов используются большие интегральные схемы, в том числе, получившие наименование микропроцессоров.

Становление и развитие современной микроэлектронной техники ведет к глубоким преобразованиям сельскохозяйственной техники и технологии.

Происходит не просто обновление средств контроля и автоматизации производственных процессов, замена устаревшей традиционной техники на новую, а пересмотр исходных положений, заложенных в основу построения технологического процесса. Принципиально новые технические и технологические возможности, которые открывает микроэлектроника, заставляет подвергнуть анализу даже основополагающие традиционные понятия и представления, прочно укоренившиеся в профессиональном сознании специалистов.

Развитие современной микроэлектроники применительно к задачам автоматизации производственных процессов, в сравнении с предыдущей техникой (релейно-контактная аппаратура) придало техническим средствам автоматики ряд существенно новых и важных свойств:

- существенно более высокая надежность: на 1-2 порядка превышающая надежность традиционных элементов автоматики;
- возможность выполнения разнообразных и сравнительно сложных логических и вычислительных операций, осуществление постоянной и оперативной памяти, практически неограниченные возможности любого преобразования сигналов и т.д.;
- наконец, сокращается общая материалоемкость, энергоемкость, упрощается эксплуатация технических средств и обеспечивается их устойчивая работа.

Опыт автоматизации промышленности показывает, что степень автоматизации можно определить по капитальным вложениям на средства автоматизации. Так при частичной автоматизации, которая распространяется на отдельные производственные операции и установки и не освобождает человека от участия в производственном процессе, а только облегчает его труд, затраты на средства автоматики составляют от 1 до 10% капитальных вложений на установку в целом; при комплексной автоматизации, когда функции человека сводятся к наблюдению за ходом процесса, его анализа и изменению режима

работы автоматических устройств с целью достижения наилучших технико-экономических показателей — от 10 до 25% и при полной автоматизации, когда за обслуживающим персоналом остаются функции периодического осмотра, профилактического ремонта и перестройки всей системы на новые режимы работы — выше 25%.

В сельском хозяйстве на средства автоматики и метрологические приборы в лучшие времена расходовалось менее 7%, хотя в теплицах они составляют 17—40% общей стоимости технологического оборудования.

Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства в своем становлении опирается на большой опыт, накопленный в отраслях промышленности.

Вместе с тем характерные особенности сельскохозяйственного производства обуславливают целый ряд специфических проблем, с решением которых сталкиваются специалисты при выборе методов и средств сельской автоматики, что и объясняет, в определенной мере, низкий уровень его автоматизации.

При разработке систем автоматизации учитываются основные особенности сельскохозяйственного производства.

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

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

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

В связи с указанными особенностями по-особому должна оцениваться ожидаемая эффективность автоматизации сельскохозяйственных процессов. Если в промышленном производстве эффективность автоматизации оценивается, прежде всего, повышением производительности труда, улучшением качества продукции и иногда повышением безопасности работы обслуживаю-

шего персонала, то, например, в животноводстве и птицеводстве наряду с этим при оценке автоматизации немаловажным критерием является улучшение зоотехнических условий содержания животных (птиц), что также способствует повышению их продуктивности.

Кроме того, при автоматизации животноводства (птицеводства) необходимо принимать во внимание последствие всякого рода отклонений от заданной технологии и условий содержания животных (птиц). Например, несвоевременное доение коров ведет к существенному снижению удоев не только в данный момент, но и в дальнейшем. Нарушение заданного режима включения и отключения дополнительного (технологического) освещения на птицеферме приводит к уменьшению на длительный период яйценоскости кур несушек и т.д. В связи с этим надежность функционирования автоматических систем в сельском хозяйстве должна играть первостепенную роль. Это можно сказать и о растениеводстве, особенно в защищенном грунте.

Производственные процессы в сельском хозяйстве сложны и многообразны и зависят от конкретных зональных условий производства. Это приводит к еще большему разнообразию технологических процессов, часть из которых находится в стадии незавершенной перестройки на поточное-машинное производство, а также обуславливает различия типов, конструкций, характеристик и режимов работы сельскохозяйственных машин и установок, далеко не всегда приспособленных для применения на них даже простых устройств автоматики.

Немаловажной особенностью является рассредоточенность сельскохозяйственной техники по большим площадям, удаленность ее от ремонтной базы, ограниченность производственных ресурсов, относительно малая мощность установок, тихоходность, низкая стоимость машин, сезонность их работы в году и непродолжительное использование в течение суток, а также недостаточно высокий пока уровень квалификации обслуживающего персонала. Многие объекты сельскохозяйственной автоматики имеют контролируемые и регулируемые параметры, распределенные как по технологическому полю или большому объему, так и во времени, причем часто случайным образом и с широким диапазоном изменения (нагревательные установки и сушилки, зерно- и овощехранилища, теплицы и животноводческие помещения и др.). Для таких объектов системы автоматики должны предусматривать оптимальное число воспринимающих и исполнительных органов и в то же время обеспечить управление параметрами во всех рассредоточенных зонах с заданной точностью и надежностью.

Специфические требования сельскохозяйственного производства часто не позволяют использовать датчики общепромышленного назначения в системах управления ТП агрокомплекса, а для многих контролируемых параметров ТП, присущих только сельскому хозяйству, датчики не только не созданы, но и не найдены работоспособные принципы действия. Например, нет большого класса датчиков для измерения качественных показателей сельскохозяйственной продукции: влажности, жирности, содержания протеина и со-

лей, масличности и сахаристости, спелости и зрелости, состава и т.д., зоотехнических и физиологических параметров сельскохозяйственных животных и птицы, биологических и посевных показателей семян, степени зараженности болезнями и др.

Нельзя забывать и о том, что многие сельскохозяйственные установки работают на открытом воздухе, где условия окружающей среды неблагоприятны и непостоянны (широкие пределы изменения влажности и температуры, наличие примесей, пыли, агрессивных газов, действие резко переменных нагрузок, вибраций и т.п.).

Указанные особенности в значительной мере осложняют работу по созданию автоматических систем для животноводства, птицеводства и растениеводства. При проектировании технических средств автоматики эти особенности необходимо учитывать в первую очередь в разработке тех элементов, которые устанавливаются непосредственно на объектах управления.

Элементы сельской автоматики должны по возможности наиболее полно удовлетворять противоречивым требованиям: быть простыми и дешевыми, надежными и долговечными при самых неблагоприятных условиях и режимах работы.

Вместе с тем животные, птица и растения мало меняются из поколения в поколение, и это позволяет создать технологическое оборудование и автоматические системы долговременного использования. Только смена технологии содержания или износ оборудования приводят к необходимости его замены.

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

Появление в сельском хозяйстве производств промышленного типа (птицефабрик, животноводческих комплексов, тепличных комбинатов) с высоким уровнем механизации и автоматизации процессов повлекло за собой изменение всей системы проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации оборудования и средств автоматики, однако во многих случаях автоматизация технологических процессов осуществлялась поэтапно (постадийно), что отражено в табл. 1.1.

Дальнейшее развитие и совершенствование сельскохозяйственного производства и науки немыслимо без подготовки квалифицированных инженерных кадров. Специалист по автоматизации сельскохозяйственного производства должен отлично знать тонкости технологии сельскохозяйственного производства, его организации, экономики и планирования.

Он должен хорошо разбираться в механических, электрических, гидравлических и пневматических устройствах автоматики, в особенностях комплексной механизации, электрификации и автоматизации ТП. Специалист должен уметь научно обосновать решения технологических, технических и

организационно-экономических задач автоматизации текущего и перспективного характера, направленных на повышение эффективности производства.

Таблица 1.1

Этапы автоматизации ТП

Типы автоматизации	Объем автоматизации операций управления	Примеры характерных процессов и объектов
1 Автоматизированные системы местного управления отдельными технологическими операциями, машинами и установками	Защита технологических установок от аварийных режимов, регулирование отдельных параметров	Осветительные и облучающие, вентиляционные установки, насосные станции (подачи воды, удаления навоза), машины для ветеринарной обработки животных, кормораздатчики, смесители и др.
2 Автоматизированные системы дистанционного управления технологическими агрегатами	То же, что для 1, а также измерения, сигнализация, многовязное регулирование, логические операции	Грануляторы и брикетеропрессовки кормов, доильные установки, пастеризаторы молока и др.
3 Автоматизированные системы централизованного управления поточными линиями и группами агрегатов	То же, что для 2 а также регистрация информации, элементы оптимизации, табло отображения информации (мнемосхемы и др.)	Поточная линия раздачи кормов, уборки навоза, кормоприготовления, обработка молока, вентиляции помещения
4 АСУ технологическими процессами одно-целевых комплексов	То же, что 3, а также информационно-диспетчерские пункты с производственной связью, централизованным контролем, отображением информации и управлением автоматическими агрегатами и линиями	Крупные комплексы по дощадиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота, свинооткормочные комплексы, теплицы
5 АСУ технологическими процессами многоцелевых комплексов	То же, что 4, но с развитыми операторской, диспетчерской и информационной системами до уровня служб и элементами адаптации структуры технологических процессов	Крупные молочные и свинооткормочные комплексы с замкнутым циклом воспроизводства и службами заготовки кормов и реализации продукции
6 Модернизация САУ ТП и АСУ ТП	То же, что и для 1-5, но с использованием современных цифровых приборов	Те же объекты, что и 1-5

Целью дисциплины «Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства» является изучение и освоение методов исследования технологических процессов как объектов управления и синтеза систем автоматического управления, а также совершенствование типовых решений по автоматизации основных технологических процессов сельскохо-

зяйственного производства с использованием новейших перспективных средств автоматизации.

1.3 Общая характеристика сельскохозяйственного производства

Сельское хозяйство тесно связано со всеми отраслями республики, оно поставляет другим отраслям республики 2/3 своей продукции и потребляет около 60% средств производства, поступающих из обеспечивающих отраслей.

В сельскохозяйственном производстве принято выделять ряд крупных самостоятельных отраслей (животноводство, птицеводство, овощеводство, полеводство, теплицы и т.д.), и ряд вспомогательных производств (по переработке сельскохозяйственной продукции, по обслуживанию и ремонту техники и др.), которые различаются между собой содержанием и структурой.

Содержание отрасли определяется видом производимого продукта, а структура — характером и объемом технологических процессов и операций (например, в полеводстве — возделывание и уборка зерна, овощей, корнеплодов и т.д., в животноводстве — выращивание животных мясного, молочного направления и т.п.).

Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства тесно связана с механизацией производства, в развитии которой можно выделить пять характерных этапов.

Первый этап — машинизация или механизация основных производственных процессов, исключая применение ручного труда на основных операциях.

Второй этап — комплексная механизация, то есть ручной труд не используют не только на основных, но и на вспомогательных операциях.

Третий этап — комплексная механизация и автоматизация производственных процессов, когда человек вообще освобождается от ручного труда не только на основных и вспомогательных операциях, но и на операциях по их управлению и регулированию, а в отдельных случаях также на операциях по контролю за работой машин.

Полное завершение комплексной механизации и автоматизации процессов сельскохозяйственного производства приводит к созданию новых более производительных типов сельскохозяйственных предприятий.

Характерной особенностью таких предприятий является то, что все выполняемые в них производственные операции, а следовательно и все выполняющие их машины, находятся между собой в тесной взаимосвязи как по преемственности технологических процессов, так и по производительности. Благодаря этому такое производство принимает вид поточного, характерного для индустриального производства. Этим самым сельскохозяйственная техника вступила в **четвертый этап** своего развития. Сельскохозяйственное производство перешло на методы индустриального производства, например при выполнении комплекса таких производственных операций, как содержание и кормление крупного рогатого скота, свиней и особенно птицы и т.д.

Внедрение индустриальных методов и промышленной технологии в молочное скотоводство, равно как и в другие отрасли продуктивного животноводства, было обусловлено тем, что здесь уровень механизации труда значительно отставал от растениеводства, не говоря о других отраслях народного хозяйства.

Так, за период с 1960 по 1972 год затраты труда на производство 1 центнера зерна сократились в колхозах республики в 7,3 раза, а в совхозах в 4,4 раза. В то же время трудовые затраты на получение 1 центнера молока снизились соответственно в 2 и 1,6 раза. Не лучше обстояло дело и в других отраслях. Столь существенное различие в росте производительности труда объясняется в основном двумя причинами. Во-первых, различным уровнем механизации технологических процессов и, во-вторых, различным ростом урожайности зерновых и продуктивности животных.

Существовавшая технология производства продуктов животноводства и птицеводства базировалась на излишней индивидуализации ухода за животными и птицей. Это сдерживало разработку высокопроизводительных машин и установок, препятствовало внедрению современной организации производства и труда, прогрессивных систем содержания скота, а, в конечном счете, снижению эффективности производства в этих отраслях сельскохозяйственного производства.

Переход к промышленным методам ведения животноводства сопровождался *концентрацией и специализацией* производства при комплексной механизации и автоматизации технологических процессов.

Вокруг областных и других крупных промышленных городов, а также во вновь организуемых совхозах на осваиваемых землях полесской зоны началось строительство крупных комплексов: молочно-товарных ферм на 800–1200 голов; откормочных комплексов КРС на 10 тыс. голов скота, свиноводческих комплексов на 24, 54 и 108 тысяч голов, крупных птицефабрик и тепличных комбинатов площадью от 1 до 36 га.

Техническое оснащение ферм и комплексов высокопроизводительными машинами проходило в тесном сочетании с интенсификацией производства, внедрением новейших прогрессивных технологий и системы содержания скота, рациональной организацией труда, хорошо поставленной племенной работой, системой воспроизводства стада, при высокой профессиональной квалификации, дисциплине и культуре труда производственного персонала. Концентрация производства позволила на крупных комплексах внедрить специализацию труда. Особенно это наглядно проявилось на молочно-товарных комплексах.

Молочный комплекс «Щапово» на 2 000 коров по своей технической оснащенности и уровню механизации всех технологических процессов являлся самым новейшим, где были сконцентрированы достижения науки и практики.

Доение коров на комплексе производилось высокопроизводительной доильной установкой «Карусель», которую обслуживали трое рабочих. Все поголовье выдаивалось за восемь с половиной часов, затем после получасо-

вого перерыва производилось повторное доение коров второй бригадой рабочих.

С увеличением объема производства остальные технологические операции производились также бригадами работников со сменной организацией труда при полной их загрузке в течение смены. В результате затраты труда в расчете на 1 ц молока при продуктивности коров 4500 кг составили 1,2 чел-часа, против 5,5 чел-часа и 10–11 чел-часов на молочно-товарных фермах совхозов и колхозов соответственно.

Спустя два года удой на комплексе снизился до 2500 кг молока на корову. Причин этому несколько, но основной явилось то, что нарушился индивидуализм кормления коров. Кормление должно производиться в соответствии с физиологическим состоянием животного и удоем на данный период времени, который является переменным за период лактации.

В системе автоматизации и механизации процессов на комплексе отсутствовали отдельные звенья, что привело к общему снижению эффективности производства.

Пятый этап механизации связан с образованием фермерских хозяйств, для которых целесообразна разработка универсальных механизмов и соответствующая им система управления, более эффективная при относительно небольших объемах производства сельскохозяйственной продукции.

1.4 Технологическая структура сельскохозяйственного производства.

Классификация типовых технологических процессов как объектов автоматизации

Сельскохозяйственное производство включает ряд крупных отраслей: полеводство, животноводство, овощеводство и др. Такое деление, несомненно, условно, но все-таки в определенной степени оно характеризует содержание каждой из названных отраслей и охватывает их структуру.

Под **структурой отрасли** следует понимать те производственные процессы и технологические операции, которые ее составляют. В полеводстве это возделывание и уборка зерна, свеклы, картофеля и т.д.; в животноводстве — уход за животными и уборка помещений, поение, кормление животных и птицы, доение, стрижка и т.д.

В связи с разнообразием структур, вызванных биологическими особенностями возделываемых культур и физиологическими свойствами животных и птиц, требуется большое число разнородных машин и орудий, а также средств обслуживания. Кроме того, по мере развития сельскохозяйственной науки и накопления практических данных количество процессов, выполняемых в различных отраслях, неуклонно возрастало.

Существенным шагом в повышении производительности труда в сельском хозяйстве, а, следовательно, и эффективности производства стала концентрация и специализация производства по отраслям. Это привело к созданию поточных высокопроизводительных технологических линий по перера-

ботке сельскохозяйственных продуктов и обслуживанию животных и птиц, выращиванию растений.

Дальнейшее повышение производительности труда в сельском хозяйстве возможно лишь при условии автоматизации процессов, что позволяет обеспечить оптимизацию выращивания растений, содержания и кормления животных. С помощью средств автоматики расширяются биологические возможности производства продукции.

Система машин, разработанная для сельского хозяйства на период до 1990 года, имела около трех тысяч наименований по типам, почти 60% из которых предназначены для полеводства и около 30% — для животноводства и птицеводства, что значительно усложняло задачу проектирования систем автоматизации и создания средств автоматики для объектов сельскохозяйственного производства. Следовательно, типизация и универсализация сельскохозяйственной технологии и техники для каждой из отраслей является весьма актуальными. Классификация процессов и объектов автоматизации позволяет правильно подойти к определению типажа элементов и систем автоматики.

Ни один метод классификации не может удовлетворить требований каждого технолога или конструктора. Один интересуется в основном технологическими процессами, другой — конструктивными особенностями мобильных и стационарных агрегатов, третий — физико-механическими свойствами почвы и растений, четвертый — энергетическими характеристиками сельскохозяйственной техники, специалист-автоматчик интересуется в первую очередь параметрами, характеризующими автоматизируемую операцию и степень связности процесса.

Для классификации технологических процессов приняты следующие основные признаки: неравномерность и общность протекания процессов и действие, характеризующее одним показателем.

При классификации рекомендуется следовать основным принципам: *во-первых*, иерархичность структуры классификации, в которой каждый подкласс имеет один и только один непосредственно предшествующий ему (включающий его) класс; между всеми подклассами, входящими в один класс существует отношение соподчинения; *во-вторых*, терминология и классификация должна представлять собой систему взаимосвязанных понятий и определений. Нарушение последнего условия ведет к параллелизму между отдельными наименованиями, например, между отраслью и производством или агротехническими и технологическими требованиями и т.д.

Производственный процесс — есть совокупность технологических процессов направленных на создание конечного продукта и его берут за основу при разработке систем автоматики.

Как было отмечено ранее, в сельскохозяйственном производстве принято выделять ряд крупных основных отраслей и ряд вспомогательных производств, которые различаются между собой содержанием и структурой.

При формировании требований к системам управления технологическими процессами в основных отраслях сельскохозяйственного производства следует учитывать, что система управления должна обеспечить оптимальное функционирование биологических объектов (животных и растений), которые характеризуются своей инерционностью на внешние воздействия, однако чувствительны к предельно допустимым значениям параметров внешней среды, это предъявляет к средствам автоматизации не столько требования точности управления, сколько надежности работы оборудования.

В этом отношении вспомогательные производства более динамичны и приближаются к промышленному производству, что и определяет соответственные требования к системам управления процессов этих производств.

В свою очередь *технологический процесс* представляет собой совокупность приемов и операций, целесообразно направленных на перевод материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию. Структура технологического процесса как объекта управления может быть представлена в виде совокупности производительных звеньев, связанных между собой материальными потоками. Как правило, звенья обработки чередуются со звеньями хранения, связанными звеньями транспортировки.

Технологические процессы могут совершаться параллельно или последовательно во времени.

Технологические процессы могут быть сложными (ТП 2, ТП 4), состоящими из множества операций и простыми (ТП 1), представляющими собой одну технологическую операцию (рис. 1.1).

Материально-технологические процессы протекают в реальном времени и отражаются в изменении материальных потоков.

По характеру изменения материальных потоков во времени различают *непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные технологические процессы*.

К *непрерывным* относятся процессы, в которых материальные потоки на входе и выходе производственных звеньев непрерывны во времени. Параметры, характеризующие непрерывные процессы, как правило, являются непрерывными физическими величинами: температура, давление, расход вещества или энергии и т.п. Для непрерывных технологических процессов используют специализированное оборудование в виде агрегатов, предназначенных для выпуска однородной продукции. К непрерывным процессам относятся химические, тепловые, теплоэнергетические и т.п. Модели и алгоритмы управления непрерывными технологическими процессами базируются на разработанных методах теории автоматического регулирования и управления. По классификации непрерывные технологические процессы относятся к классу простых процессов.

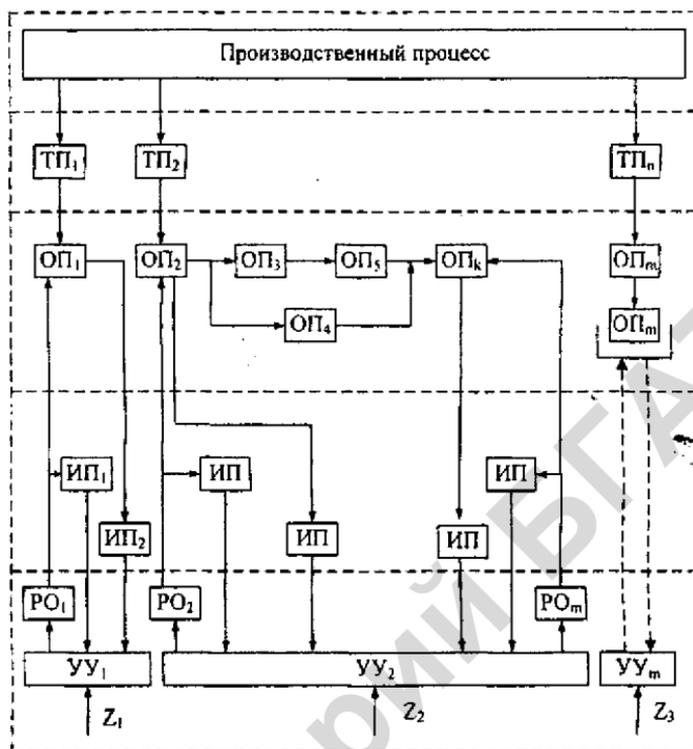


Рис. 1.1 Функциональная схема автоматизированного производственного процесса:
 ТП – технологический процесс; ОП – технологическая операция; ИП – информационный параметр; РО – рабочий орган; УУ – устройство управления; Z – цель управления;
 1, 2, 3...m, n, k – порядковый номер

Дискретные технологические процессы — это те, в которых материальные потоки изменяются во времени дискретно. Дискретные технологические процессы связаны с переработкой отдельных партий материала. Обработка выходного продукта здесь представляет собой последовательность отдельных технологических операций с фиксированным концом и началом. Дискретные технологические процессы осуществляются, как правило, на универсальном технологическом оборудовании, что позволяет выполнять на одном и том же рабочем месте несколько видов операций.

В дискретно-непрерывных технологических процессах материальные потоки изменяются во времени дискретно-непрерывно. Обработка входных продуктов осуществляется последовательно-параллельно на специализированном технологическом оборудовании. На каждой технологической установке выполняется один вид операций.

Производительности установок согласованы в едином технологическом потоке.

Модели и алгоритмы управления дискретно-непрерывными технологическими процессами базируются на методах алгебры релейных цепей.

Разделение технологического процесса на технологические операции позволяет выявить длительность операции, очередность ее проведения, цикличность, то есть алгоритмизировать технологический процесс.

Алгоритм — это предписание, которое определяет содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомый результат.

Алгоритм функционирования представляет собой совокупность предписаний, необходимых для правильного выполнения технологического процесса в каком-либо устройстве или совокупности устройств.

Функционирование технологического объекта состоит в изменении состояния звеньев обработки и транспортировки (переход с одной операции на другую) и изменении состояния звеньев хранения (изменение количества продуктов, хранящихся в них).

Изменение состояния звеньев производится с помощью рабочих органов, управляющие сигналы на которые поступают с устройства управления.

Производственное звено (*технологическая операция*) представляет собой механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие.

Технологические операции сельскохозяйственного производства весьма сложны и многообразны, но, несмотря на это, их можно представить в виде ряда типовых операций как объектов управления. Основным показателем, по которому операции относятся к тому или иному типу, является идентичность их физико-химических особенностей, т.е. материальных и энергетических внутренних связей. Типовая операция содержит все необходимые и достаточные характеристики, позволяющие выделить их из большого многообразия физико-химических явлений. При этом должно учитываться их целевое назначение.

Одним из классификационных признаков технологической операции как объекта автоматизации является *агрегатное состояние вещества*.

По признаку агрегатного состояния перерабатываемого вещества и его фазовых превращений во многих случаях можно найти группы процессов с общими для них типовыми схемами автоматизации (например, системы управления потоками жидкостей, газов, твердых, сыпучих, волокнистых, пастообразных и многоагрегатных материалов, перемещаемых дозаторами, конвейерами и другими транспортными устройствами (табл. 1.2). Агрегатное состояние обрабатываемого материала оказывает существенное влияние на выбор исполнительных и первичных преобразователей систем автоматизации. Агрегатное состояние материала на входе в объект может отличаться коренным образом от состояния на выходе из объекта. Это свойство необходимо учитывать при разработке технических средств автоматизации сельскохозяйственного назначения.

**Классификация по агрегатному состоянию
обрабатываемого материала**

Вид материала	Состояние	Наименование материала
газообразные	свободное	воздух, газы
	под давлением	пар, кислород, воздух
жидкие	однородное	вода, молоко, жидкое топливо, масло растительное
	неоднородное	пищевые отходы, навозная жижа
тестообразные	сплошная масса	животный жир, масло, смазочные материалы, увлажненный корм
	штучное	расфасованные масло и творог, яйца, мясо
волокнистые	крупнофракционное	сено, хлебная масса, солома, навоз, лен, пенька, листва
твердые	сплошная масса	почва, глина, металл, дерево
	штучное	корнеклубнеплоды, овощи, фрукты, жмых
	сыпучее	зерно, комбикорм, мука, песок

Однако признак агрегатного состояния вещества является недостаточным, так как характеризует статическое состояние вещества. О фазовых превращениях, происходящих с веществом в объекте, этот признак сведений не дает. Поэтому необходимым классификационным признаком технологических процессов как объектов автоматизации является характер связей в процессах.

По характеру связей различают: механические и гидродинамические; тепло- и массообменные без изменения агрегатного состояния вещества; электрические, химические, биологические и комбинированные процессы.

Этот признак указывает на закономерности, которым подчиняется автоматизированный технологический процесс. Иначе говоря, типизация *технологических* процессов заключается в установлении общности математического описания процессов и их аппаратурного оформления.

С этими закономерностями неразрывно связаны особенности и динамические свойства объекта (процесса), они обуславливают структуру системы управления и регулирования.

Пользуясь названными классификационными признаками можно выделить следующие типовые технологические процессы сельскохозяйственного производства (табл. 1.3).

Обычно под объектом автоматизации понимается аппарат, машина или установка, в которых протекает тот или иной технологический процесс. Поскольку технологический процесс является определяющим фактором при разработке схем автоматизации, в нашем учебном пособии *под объектом автоматизации* будем понимать технологический процесс, аппарат, машину, установку или совокупность их. В этой связи объекты автоматизации классифицируются нами в соответствии с типом протекающих в них техно-

логических процессов, определяющих принципиальные решения автоматизации: какие параметры следует регулировать, контролировать, с изменением каких параметров необходимо оказывать управляющее воздействие.

Таблица 1.3

Классификация по типу технологических процессов

Способ воздействия	Наименование технологической операции	Наименование технологической установки
Механический	транспортирование	транспортёры, элеваторы, водо- и газопроводы, вытяжные трубы
	сортирование, очистка	триеры, калибровочные и зерноочистительные машины
	смешивание	смесители, питатели, дозаторы, весы
	измельчение	дробилки, мельницы
	резание	плуги, культиваторы, соломо- и силосорезки, стригальные машины
	сжатие, разряжение	компрессоры, вакуумные установки
	раздача корма	кормораздатчики
	дозирование	весы, питатели
Тепловой	гранулирование, брикетирование	грануляторы, прессы
	нагревание	теплогенераторы, электрокалориферы, водонагреватели, электропечи, котлы, сушилки, запарники
Электрический	охлаждение	холодильники и вентиляционные установки, конденсаторы
	освещение	лампы накаливания, люминисцентные лампы, прожекторы
	облучение	ультрафиолетовые, инфракрасные и бактерицидные установки
	электротехнологические	электроочистительные машины, стимуляторы роста, пастеризаторы, дезинсекторы, электролиз
Гидравлический	электроснабжение	генераторы, преобразователи, электродвигатели
	мойка	корнеклубнсмойки, моечные установки
	разделение	молочные сепараторы, маслоизготовители
Биологический	перемещение	насосные и дождевальные установки, водокачки, гидротараны
	брожение	опарные котлы, смесители, чаны
	фотосинтезирование	установки дополнительного освещения
Химический	агробслуживание	приборы агроконтроля семян и растений
	окисление	горение, обжиг
	силосование	силосование кормов, засолка, маринование, квашение
Химический	химобработка	обработка грубых кормов, очистка деталей и материалов

Технологические процессы одного типа (например, процессы нагревания) могут отличаться аппаратным оформлением, свойствами перерабатываемых веществ и т. д. Однако все они протекают по одним и тем же законам и характеризуются аналогичными зависимостями между параметрами. Характер этих зависимостей в первую очередь определяют параметры, которые должны участвовать в управлении. Для одного типа процессов, протекающих в аппарате наиболее распространенной конструкции, может быть разработано решение по автоматизации, в принципе приемлемое для всех разновидностей этих процессов. Такое решение является **типовым**. Наличие типового решения значительно облегчает работу по синтезу систем автоматического управления для каждого конкретного случая.

Типовые технологические процессы, имеющие распределенные параметры, описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Поэтому их анализ, как правило, весьма сложен и труден.

Выбор системы управления типовыми технологическими процессами основан на принципиальном упрощении их физической сущности. Упрощение это состоит в значительном пренебрежении фактором распределенности параметров процесса и в замене его объектами с сосредоточенными параметрами. Такое упрощение процесса, как правило, вполне, допустимо и дает удовлетворительные результаты.

1.5 Агростоотребования к системам автоматического управления технологическими процессами

При создании автоматических систем управления технологическими процессами одним из ответственных этапов является разработка оптимального, то есть самого эффективного, варианта технологического процесса, лежащего автоматизации.

Решение этой задачи требует специальных знаний и необходимого опыта по определению заданных параметров, точности, производительности, способов обработки.

В сельскохозяйственном производстве наиболее ответственным этапом является определение параметров, определяющих показатели качества технологических процессов. Здесь нужны знания и опыт специалистов сельскохозяйственного производства, в полной мере владеющих основами технологической науки.

Требования к показателям качества технологических процессов (параметрам) можно выразить в описательной или графической форме (рис. 1.2).

Номинальное значение параметра $У_n$ может быть задано однозначно, например $\theta_v = 20^\circ\text{C}$, или в пределах: $\theta_v = 18\text{--}20^\circ\text{C}$ либо $\theta_v \geq 20^\circ\text{C}$ и т.п.

Для решения задач автоматизации важны сведения о допустимых отклонениях параметра от нормы и длительности отклонения.

Например, температурный режим в свиарнике-откормочнике влияет на расход корма. Как видно из рис. 1.2 минимальный расход корма на цент-

нер привеса наблюдается при температуре воздуха в помещении равной 15 °С. Заниженная температура воздуха в зимний период уменьшает затраты энергии на нагрев воздуха, однако, при этом увеличивается расход корма для животных. При повышенной температуре воздуха снижается эффективность использования корма животными.

Показателем качества сушки семенного зерна является его всхожесть, что видно на рис. 1.3. При повышенной температуре сушки зерна клейковина (белки) зерна подвергаются денатурации, что приводит к ухудшению качества продовольственного и особенно семенного зерна. Уменьшение температуры теплоносителя приводит к увеличению энергетических затрат на сушку.

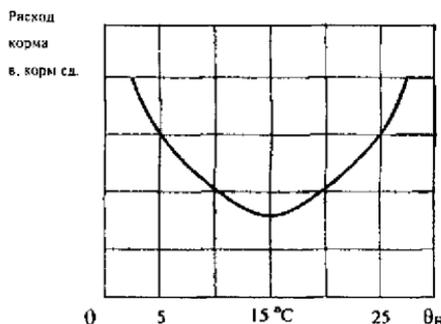


Рис. 1.2 Характер зависимости расхода корма на центнер привеса свиней от температуры (θ_в) воздуха в помещении

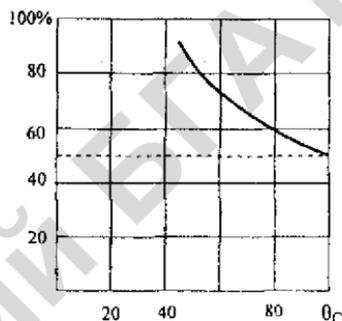


Рис. 1.3 Примерная зависимость всхожести семян от температуры теплоносителя θ_с при сушке

Получение продукции связано с определенными производственными и энергетическими затратами на оборудование и средства автоматизации, и если механизация определяет технологию производства, то автоматизация ТП оказывает непосредственно влияние на качественные показатели процесса, которые для последнего примера можно в обобщенном виде выразить графически.

Увеличение удельных производственных затрат при снижении качества сушки связано с тем, что для получения запланированного урожая следующего года необходимо пропорционально увеличить количество высеваемых семян и соответственно этому увеличиваются производственные затраты.

Для получения семян более высокого качества необходимо оптимизировать управление сушильными агрегатами.

Рассмотрим в общем виде технологический объект, для которого необходимо решить задачу оптимизации.

Технологический объект имеет входные переменные (входы), обозначаемые через x_1, x_2, \dots, x_n или вектором \bar{X} , и выходные переменные (выходы) y_1, y_2, \dots, y_m (вектор \bar{Y}). В некоторых случаях выделяют управляющие входы, или входы управления, обозначаемые u_1, u_2, \dots, u_k (вектор \bar{U}).

Зависимость между входом и выходом объекта, или модель объекта, может быть записана в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned}y_1 &= \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n); \\y_2 &= \varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \\y_m &= \varphi_m(x_1, x_2, \dots, x_n); \end{aligned} \quad (1.1)$$

или в векторной форме

$$\bar{Y} = \varphi(X) \text{ или } \bar{Y} = \varphi(X, U) \quad (1.2)$$

Качество работы объекта определяется функцией цели Z (или критерием оптимальности). Функция цели Z зависит от входных и выходных переменных объекта

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (1.3)$$

Функция цели может, например, определять производительность установки, себестоимость продукции, прибыль, получаемую при работе установки. В процессе оптимизации функция цели должна принимать минимальное или максимальное значение в зависимости от того, что это за величина (например, себестоимость должна принимать минимальное значение, прибыль — максимальное).

Задача оптимизации заключается в нахождении таких значений переменных x_1, x_2, \dots, x_n и y_1, y_2, \dots, y_m , которые обеспечивают минимальное или максимальное значение функции цели. При этом на переменные должны накладываться определенные ограничения. Одни ограничения имеют вид системы уравнений представляющей математическую модель объекта; другие ограничения могут иметь вид равенств или неравенств, ограничивающих область изменения переменных

$$\begin{aligned}\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) &= 0 \\ \Psi(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) &\leq 0 \end{aligned} \quad (1.4)$$

Ограничения в виде равенств, к которым в частности относятся уравнения модели объекта, уменьшают размерность пространства варьируемых переменных. Число таких ограничений не может быть больше числа переменных. Ограничения в виде неравенств выделяют допустимую область в пространстве переменных. Если ограничение имеет вид строгого неравенства ($>$ или $<$), то допустимая область не содержит своей границы (область называется *открытой*), если же ограничение нестрогое (\geq или \leq), то область содержит свою границу (область называется *замкнутой*).

Таким образом, общая *задача оптимального управления* ставится следующим образом:

- найти переменные x_1, x_2, \dots, x_n и y_1, y_2, \dots, y_m , обеспечивающие максимум (или минимум) функции цели

$$\max Z(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m)$$

при условиях

$$\begin{aligned} \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) &= 0 \\ \psi_j(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m) &\leq 0 \end{aligned} \quad (1.5)$$

$i = 1, 2, \dots, \kappa; j = 1, 2, \dots, i;$

▪ или в векторной форме

$$\begin{aligned} \max F(\bar{X}, \bar{Y}) \\ \varphi_i(X, Y) &= 0; \\ \text{при } i &= 1, 2, \dots, \kappa; \\ \psi_j(X, Y) &\leq 0; \\ \text{при } j &= 1, 2, \dots, i \end{aligned} \quad (1.6)$$

Обозначим все переменные, как входные, так и выходные через x_j , тогда задача оптимального управления будет иметь вид

$$\begin{aligned} \max F(\bar{x}) \\ \text{при } \varphi_i(\bar{x}) &= 0; i = 1, 2, \dots, \kappa; \\ \psi_j(\bar{x}) &\leq 0; j = 1, 2, \dots, i \end{aligned} \quad (1.7)$$

1.6 Понятие системы. Классификация автоматизированных систем управления

Под системой (рис. 1.4) мы будем понимать некоторую сущность, состоящую из многих компонентов, которая реагирует на воздействия внешней среды. Система способна воспринимать информацию из внешней среды, перерабатывать ее по некоторым ей свойственным алгоритмам и в свою очередь оказывать воздействие на внешнюю среду. Для связи с внешним миром у системы имеются входы и выходы.

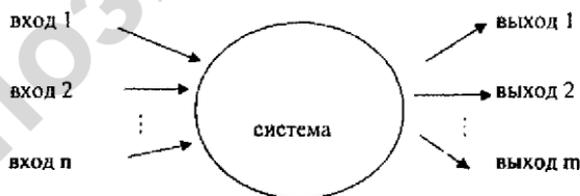


Рис. 1.4 Обобщенная схема системы

Из повседневной практики известны примеры систем искусственного, естественного происхождения и комбинированные.

Примером естественной системы может служить человек или животное. Система «человек» получает информацию через органы чувств, т.е. через ор-

ганы зрения, обоняния, осязания, вкуса, слуха. Способность системы разговаривать, писать, двигаться обеспечивает выход информации.

Примером искусственной системы может служить система управления микроклиматом в теплице. Информация о состоянии внешней среды от датчиков температуры и влажности поступает в систему управления. На выходе из системы — поступление тепла от калорифера или движение фрамуг, увлажнение почвы и воздуха.

В комбинированных системах часть функций выполняется автоматическими устройствами, а часть — человеком.

Каждая система может состоять из множества подсистем, имеющих свои входы и выходы для контакта с внешней средой и другими подсистемами. Отличительными признаками каждой системы являются: информационные параметры, алгоритм функционирования и способ воздействия данной системы или подсистемы на внешнюю для нее среду.

В современной автоматике системы управления разделяют на автоматизированные системы управления производством (АСУП), автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы автоматического управления технологическими процессами (САУ ТП).

АСУП — это человек-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации и управления в различных сферах, главным образом в организационно-экономической деятельности человека, например, управление хозяйственно-плановой деятельностью отрасли, предприятием, комплексом, территориальным регионом.

АСУ ТП — это тоже человек-машинная система, предназначенная для контроля режимов работы, сбора и обработки информации о протекании технологических процессов локальных производств. Обычно АСУ ТП охватывают отдельные цеха, животноводческие фермы и птицефабрики, хранилища, хозяйства и агрообъединения.

АСУ подразделяют на *автоматизированные и автоматические*.

Система автоматизированная — совокупность управляемого объекта, измерительной, преобразующей, передающей и исполнительной аппаратуры, в которой получение, преобразование и передача информации, формирование управляющих команд и их использование на воздействия на управляемый процесс осуществляется частично автоматически, а частично с участием людей-операторов.

Развитие вычислительной техники дало возможность резко увеличить объем и скорость обработки информации, что позволило создать автоматизированные системы управления предприятием, автоматизированные диспетчерские системы автоматизированного управления отраслью промышленности.

Система автоматическая — совокупность управляемого объекта, измерительной и управляющей аппаратуры, в которой (в отличие от *системы автоматизированной*) получение, преобразование и передача информации,

формирование управляющих команд и их использование для воздействия на управляемый процесс осуществляется автоматически без участия человека.

САУ ТП представляет собой совокупность автоматических управляющих устройств и управляемого объекта, взаимодействующих друг с другом без непосредственного участия человека.

Система автоматического управления (САУ) — комплекс устройств, обеспечивающих автоматическое изменение ряда координат (или одной координаты) объекта управления с целью установления желаемого режима работы объекта.

Под желаемым следует понимать такой режим, при котором достигается цель управления: обеспечивается достижение заданных значений регулируемых величин или оптимизируется определенный критерий качества управления.

Таким образом, САУ — технические устройства, непосредственно выполняющие заданный алгоритм функционирования установок действующих независимо друг от друга. Они находятся на самой низкой ступени иерархической лестницы системы управления, на средней ступени находятся АСУ ТП и на более высокой АСУП (рис. 1.5).

1.7 АСУ ТП сельскохозяйственного производства

Внедрение средств автоматизации стало возможным после осуществления комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства.

Наиболее насыщены приборами и средствами автоматики современные животноводческие, птицеводческие и телличные комплексы промышленного типа, предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции, которые не уступают заводам среднего размера.

Молочные фермы и комплексы имеют типоразмерный ряд 200, 400, 800, 1200 и 2000 коров; их проектировали с моноблочной и павильонной застройкой, привязного и боксового содержания, с доением на площадках и в молокопровод, с групповым и индивидуально-групповым кормлением, с раздачей кормов мобильными и стационарными раздатчиками.

Фермы и комплексы для дорастивания и откорма молодняка крупного рогатого скота также являются специализированными. Созданы открытые откормочные площадки размерами от 1 до 30 тыс. голов при групповом кормлении в секциях, с раздачей кормов мобильными и стационарными раздатчиками. На площадках дорастивают и откармливают скот от 150 до 450 кг живой массы.

Молодняк месячного возраста и старше выращивают на специализированных комплексах с кондиционированным микроклиматом, кормлением заменителем молока и кормосмесями.

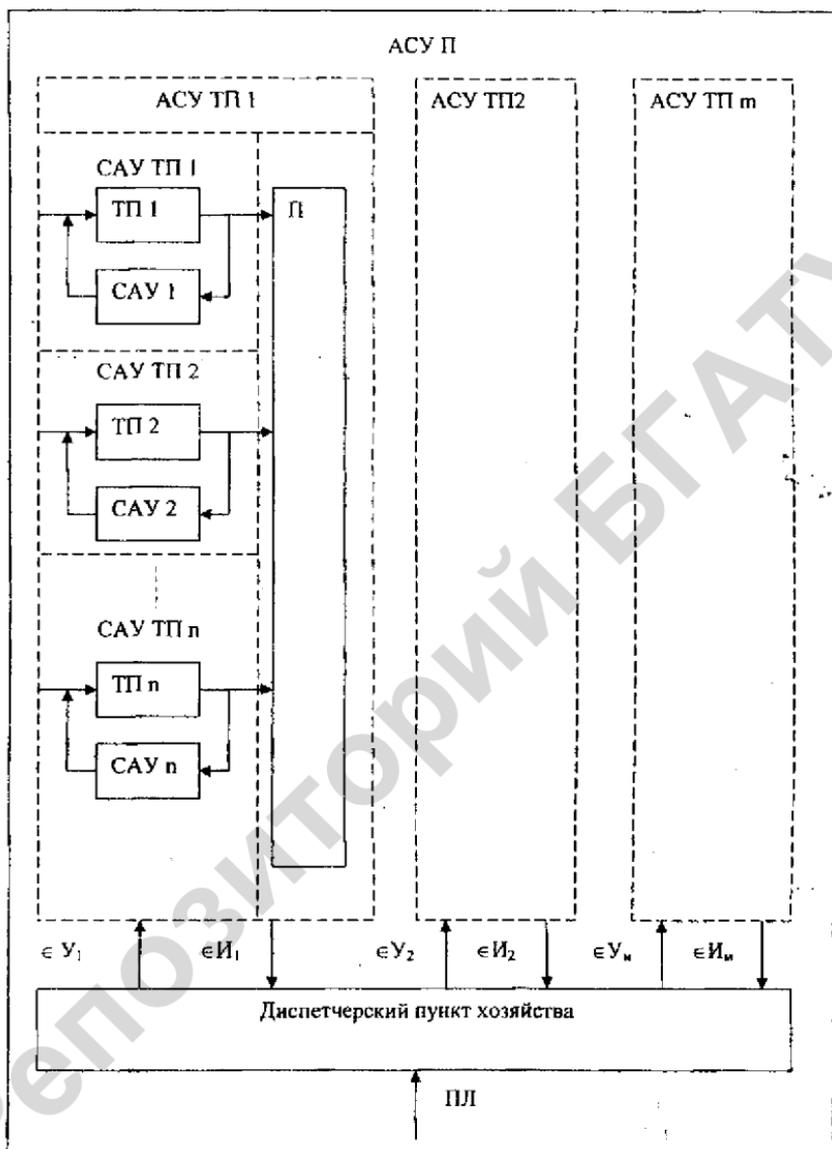


Рис. 1.5 Обобщенная схема автоматизированных систем управления: eY – множество уставок САУ ТП; eI – множество первичной информации; ПЛ – плановое задание; П – объект управления

При создании ферм для выращивания ремонтного молодняка крупного рогатого скота, поступающего на молочные комплексы, учитывают требова-

ния физиологии роста и эффективного развития молодых особей. На этих фермах применяют выпас молодняка и содержание его в природно-климатических условиях зоны, в то же время механизированная раздача кормов, поение, механизированные системы навозоудаления, микроклимата и др. обеспечивают условия, близкие к условиям промышленного содержания взрослых особей.

Различают промышленные фермы и комплексы для выращивания и откорма свиней с разомкнутым и замкнутым циклом воспроизводства.

Комплексы с замкнутым циклом широко применяют на практике. Четкий биологический конвейер таких комплексов обеспечивает заданный ритм получения, развития и откорма свиней и машинную технологию кормления, создания микроклимата, удаления и переработки навоза.

Птицеводство первым среди других отраслей сельскохозяйственного производства начало переход на промышленную основу.

Если в начале перестройки птицеводства одна птичница обслуживала от 800–1000 до 2000–2500 кур или 3–5 тыс. цыплят, а единственной «машинкой» в птичнике была подвесная дорога с ручной тележкой. В современном птичнике работают десятки электродвигателей. Труд птичницы наполняется новым содержанием по управлению всем сложным, крупным производством, включающим многотысячное поголовье птицы, десятки и сотни механизмов, электрооборудование и аппаратуру автоматики.

Внутри отрасли произошла специализация труда, включающая вопросы инкубации птицы, производства яиц, выращивания и переработки птицы на мясо.

Тепличное овощеводство относится к числу наиболее энергоемких производств. В среднем затраты на обогрев теплиц составляют 40–50% от себестоимости продукции. Для повышения его эффективности необходимы изучение, обобщение и использование передового опыта, применение высокоэффективных технологий производства овощей, методов и средств создания необходимых условий среды для получения высоких урожаев, позволяющих более экономно расходовать тепловую и электрическую энергию.

Увеличение нагрузки на обслуживающий персонал на крупных комплексах делают технологические процессы трудноуправляемыми. Это приводит к существенным потерям в производстве, где участвуют биологические объекты.

Промышленные сельскохозяйственные комплексы принципиально отличаются от промышленных предприятий. Для них характерны наличие в технологическом процессе биологического объекта (животных, растений) требующего применения ручных операций обслуживания и не поддающегося (на современном этапе) строгому математическому описанию; низкая надежность ряда поточных систем механизации, не позволяющая создавать полностью автоматические поточные линии; отсутствие лабораторного оборудования для оценки качества сельскохозяйственной продукции, наличие в помещениях для животных агрессивных газов, что ограничивает применение многих первичных приборов и регистрирующих устройств, отсутствие отра-

ботанных решений по биологии и технологии; требования простоты и доступности в обращении с элементами АСУ ТП; строгие ограничения по стоимости создаваемых АСУ ТП; отсутствие формализации многих технологических связей и большие трудности в формализации агрозооветеринарных воздействий на объект и др.

В связи с этим на комплексы сельскохозяйственного назначения нельзя перенести многие положения, принятые при построении АСУ ТП промышленных предприятий.

Несмотря на вышесказанное, к настоящему времени накоплен определенный опыт по созданию систем автоматизации животноводческих комплексов.

На рис. 1.6 показана организационно-функциональная структура АСУ ТП животноводческого комплекса. Система обеспечивает выполнение следующих основных функций автоматического управления технологическими процессами: автоматическую защиту электрооборудования, технологического оборудования и людей от опасных режимов (для этих целей предусмотрены датчики ДЗ воздействующие через сравнивающие устройства АЗ на исполнительный механизм ИМЗ); автоматическое регулирование отдельных (или группы) технологических параметров (регулирование ведется по цепи Д2-РП-ИМ2); задания регуляторам устанавливаются вручную или автоматически (при использовании средств цифрового управления); логические операции автоматизированного управления агрегатами (соблюдение последовательности работы, условий пуска и остановки и т.д.) по цепи Д1-ЛУ-ИМ1 при сложной логике и необходимости автоматического изменения режима работы агрегатами целесообразно использовать логические контроллеры; автоматизированный сбор технологической информации в пункте 3 — информационной точке комплекса (сбор информации может осуществляться регистраторами, экспрессными приборами и т.д.); передачу данных в вычислительный центр (ВЦ) по каналам 4 и возвращение обратной информации; ручное управление технологическими процессами специалистами 5 по «советам» от ЭВМ; централизованное диспетчерское управление персоналом комплекса, службой ремонта СР, на основании укрупненной технологической информации, поступающей на табло ТБ, и путем подачи распоряжений персоналу на местах по аппаратам связи С.

По такой схеме могут выполняться системы комплексной автоматизации современных промышленных животноводческих ферм и комплексов.

Техническое исполнение, уровень автоматизации технологических процессов могут быть различными, но структура всех АСУ ТП идентична.

Основные требования, предъявляемые к структуре АСУ ТП:

– иерархичность в управлении технологическим процессом, т.е. соподчиненность в решении задач регулирования отдельных параметров, логического взаимодействия работы звеньев технологического процесса; осуществление иерархии в решении задач при разной степени автоматизации технологического процесса;

- группировка в организационно-функциональной структуре операций обработки обезличенной информации в информационном центре 3 и работы с информацией, обеспечивающей принятие наиболее эффективных решений в диспетчерском пункте Д и операторских пунктах б;
- введение в систему набора средств связи, оргтехники (табло ТБ) и других устройств хранения и отображения информации для обеспечения своевременности и централизации прохождения информации. Например, диспетчер Д анализирует эффективность технологического процесса по данным, получаемых от специалистов 5, от специалистов информационного центра 3, от операторов б, а также осуществляет непосредственный контроль через централизованную систему датчиков Д_д средств сигнализации и регистрации информации, выведенных на табло диспетчера ТБ;
- независимость и гибкость в работе нижних этажей системы управления.

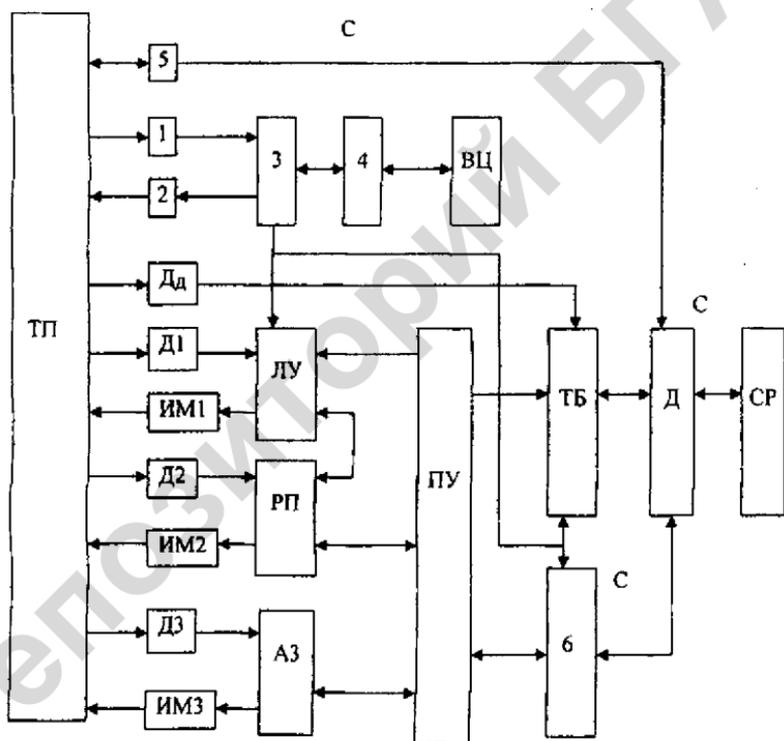


Рис. 1.6 Примерная организационно-функциональная структура развитой АСУ ТП животноводческого комплекса: 1 – устройства получения первичной информации (регистраторы, приборы, средства лабораторного анализа); 2 – устройства для реализации командной (исполнительной) информации; 3 – информационный центр с набором регистрирующих приборов, хранилищ информации и табло отображения информации; 4 – автоматические средства передачи и приема данных; 5 – оперативный персонал (осеменаторы, ветеринарные фельдшеры, лаборанты, учетчики и др.); 6 – операторы поточных линий; Д – диспетчер; С – средства связи

Автоматизированный технологический процесс современного животноводческого комплекса в общем виде можно представить многомерной системой состоящей из управляемого объекта ТП и управляющей системы АСУ ТП (рис. 1.7).

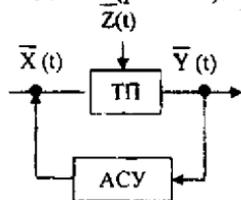


Рис. 1.7 Схема замещения автоматизированного технологического процесса

Такую схему замещения имеют животноводческие откормочные, репродукторные и молочные комплексы. Каждый из объектов имеет свои векторные состояния, свой набор технологических процессов, составляющих производственный процесс.

В представленном объекте множество внутренних, внешних и перекрестных информационных связей. При управлении важно выделять основные связи, решающим образом влияющих на качественные показатели управления.

С позиций теории автоматического управления представленный на рис. 1.7 объект можно проанализировать следующим образом.

Выходные параметры системы определяют многомерным вектором $\bar{Y}(t)$, управляющие воздействия — вектором $\bar{X}(t)$ и возмущающие воздействия на объект — вектором $\bar{Z}(t)$.

Для любого момента времени t вектор состояний будет иметь вид:

$$\bar{Y}(t) = Y\{Y(t_0); X(t, t_0); Z(t, t_0)\} \quad (1.8)$$

В реальных условиях функции $\bar{Y}(t)$, $\bar{X}(t)$, $\bar{Z}(t)$ ограничены пространствами: $\bar{Y}(t) \in \bar{A}(t)$; $\bar{X}(t) \in \bar{B}(t)$ и $\bar{Z}(t) \in D(t)$.

Цель управления сложными технологическими процессами — достижение экстремума функционала затрат на единицу получаемой продукции

$$z = z\{y(t), t\}$$

Точность достижения цели управления можно оценить по показателям качества управления, которые в основном имеют три разновидности количественного выражения:

$$Q = Q(z^* - z); Q(t) \leq Q_{\text{зад}}(t); Q = \Phi\{\epsilon(t)\} \quad (1.9)$$

где Q , $Q(t)$ — показатель и функция качества управления;

$Q_{\text{зад}}(t)$ — заданное значение функции качества;

z^* , z — расчетное (идеализированное) и текущее (измеренное) значение функционала цели управления;

$\bar{\varepsilon}(t) = \bar{Y}^*(t) - \bar{Y}(t)$ — ошибка в управлении по выходному вектору состояний [$Y^*(t)$ — расчетное (идеализированное) значение; $\bar{Y}(t)$ — текущее (измеренное) значение].

При синтезе структуры и анализе функционирования АСУ ТП возникают следующие задачи:

- обосновать вид и число контролируемых переменных, отображаемых вектором $\bar{Y}(t)$;
- выбрать вид и необходимое число управляющих переменных;
- разработать алгоритм, обеспечивающий требуемое качество управления;
- разработать и практически осуществить технический комплекс автоматических устройств, позволяющих измерять $\bar{Y}(t)$ и по заданному алгоритму управления вырабатывать управляющие воздействия $\bar{X}(t)$.

В современной теории автоматического управления нет методов, которые позволили бы в общем виде решить задачу синтеза управляющей системы, характеризуемой многомерными векторами состояний $Y(t)$ и управления $X(t)$, имеющей нелинейные, чаще всего стохастические, связи между технологическими звеньями (подсистемами) и в контур управления которой входит человек-оператор. Поэтому элементы теории автоматического управления можно применять лишь для решения частных задач синтеза систем автоматического регулирования и управления, входящих в АСУ ТП.

Автоматизированное управление позволяет решать широкий круг задач оптимизации и адаптации структуры технологического процесса к внешним условиям и текущего функционирования. Управление направлено на компенсацию внешних и внутренних возмущающихся воздействий. Этими возмущениями могут быть естественное функционирование и развитие сельскохозяйственных животных, птицы и растений, изменения скоростей подачи или состава сырья, колебания температур процесса и изменение скоростей подвода или отвода энергии, требования к изменению качества продукта или спроса на него, а также различные комбинации перечисленных факторов. Основные виды возмущающих воздействий на технологический процесс, можно разделить на три группы:

$f_1(t)$ — текущие возмущения с часовым циклом, являющиеся случайными процессами;

$f_2(t)$ — дискретные возмущения с суточным циклом;

$f_3(t)$ — дискретные возмущения с сезонным (годовым) циклом.

Для компенсации этих возмущений в системе управления технологическими процессами имеются три контура управления (рис. 1.8).

Контур 1 компенсирует высокочастотные сигналы возмущающих воздействий, которые как случайные процессы характеризуются корреляционной функцией и математическим ожиданием.

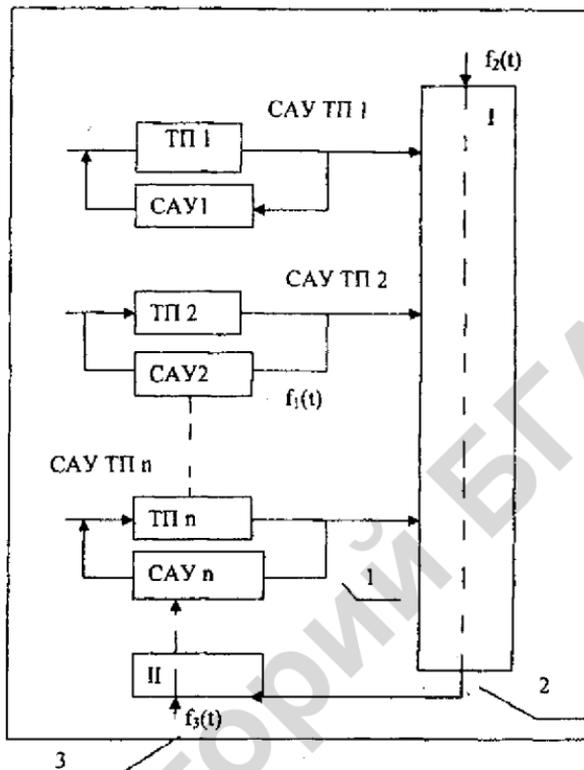


Рис. 1.8 Схема, иллюстрирующая контуры управления для компенсации возмущающих воздействий: *I* – объект управления; *II* – система управления второго уровня; *1* – первый контур управления; *2* – второй контур управления; *3* – третий контур управления; СК – специалисты комплекса

Основные частоты возмущений при текущем управлении лежат в пределах $1-3600 \text{ } 1/\text{ч}$. Частотные оценки рассчитывают по корреляционной функции и спектральной плотности.

Контур 2 оперативного управления решает задачи оптимизации оперативного (суточного, декадного) планирования технологических операций и осуществления направленных воздействий на технологический процесс. При управлении по этому контуру решаются задачи корректирования рационов; отелов, осеменений, профилактических мероприятий по уходу за животными, техникой; оптимизации режима работы технологического оборудования; оптимизации параметров микроклимата и др. (рис. 1.9).

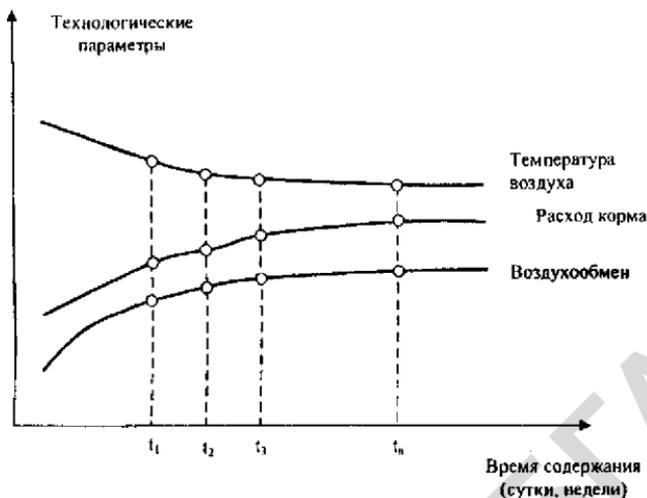


Рис. 1.9 Траектория составляющих вектора процесса

Траектория составляющих вектора процесса показана на рис. 1.9.

Это кривые, характеризующие в зависимости от времени расход корма, температуру воздуха в помещении, расход воды, изменение живого веса коровы и т.д. При оптимальной траектории вектора процесса достигаются минимальные затраты на центнер молока. **Задача управления производством состоит в том, чтобы выявить оптимальную траекторию и обеспечить ход процесса по этой траектории.** В таком общем виде процесс управления относится к области задач динамического программирования или регулирования с адаптацией, т.е. к наиболее сложному разделу автоматизации производства. При динамическом программировании траектория процесса управления и управляющие воздействия вырабатываются непосредственно в ходе производственного процесса в зависимости от его текущих показателей и их изменений.

Управление по этому контуру осуществляется в результате расчетов по определению наилучших значений управляющих воздействий на данный период времени и реализации их через специалистов в виде задания оперативному персоналу комплекса или изменений заданий на работу автоматических систем в контуре 1.

Сведения об управляющих воздействиях в определенные для комплекса часы ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$) в обработанном виде заносят в блокнот управляющих устройств, как уставки программных и регулирующих устройств, чем определяют режим работы.

Контур 3 обеспечивает расчет среднегодовых технологических показателей и их оптимизацию путем подачи текущих оперативных и годовых управляющих воздействий.

Необходимость в годовом управлении возникает в том случае, если управляемый параметр за многолетний интервал времени не остается постоянным и его изменение должно происходить по определенной траектории. При этом неизбежны случайные отклонения параметра под действием возмущений, носящих характер случайных величин или процессов. Например, на молочном комплексе требуется получить заданный темп приращения продуктивности либо на свиноводческом комплексе совершенствовать технологический процесс таким образом, чтобы обеспечить заданный годовой прирост привесов откармливаемого поголовья и т.д. При таких условиях требуется управлять технологическим процессом по контуру 3. На молочном комплексе, например, управление ведется путем подбора скота, выбраковке малопродуктивных и не приспособленных к промышленному производству особей, совершенствование технологии содержания скота.

1.8 Критерии и источники экономической эффективности автоматизации процессов сельскохозяйственного производства

Ранее мы рассмотрели технологические предпосылки автоматизации как технической задачи. От технической возможности следует отличать экономическую целесообразность автоматизации того или иного процесса или производства в целом. Экономические требования к автоматизации производственного процесса в животноводстве состоят в том, чтобы полученное решение было экономически эффективным, выгодным.

По сложившейся традиции при анализе экономических показателей того или иного технического решения используют ряд критериев: затраты живого труда (или обратную величину — производительность живого труда), расход кормов на единицу производимой продукции, себестоимость продукции, удельные приведенные расчетные затраты. При сравнении технических решений, резко отличающихся друг от друга в экономическом отношении, использование перечисленных критериев нередко дает совпадающую оценку. Иное положение имеет место в тех случаях, когда различие между вариантами невелико, причем они близки к оптимальному решению. Рассмотрим решение в окрестности оптимума на таком примере механизации и автоматизации производственного процесса, в котором достигается только сокращение затрат живого труда, а продуктивность животных, их сохранность и расход кормов не изменяются. Поскольку экономический эффект механизации и автоматизации нередко отождествляют с повышением производительности живого труда и снижением себестоимости продукции, рассмотрим этот вопрос.

В качестве обобщенного показателя, характеризующего насыщенность производства средствами механизации и автоматизации, можно принять величину капитальных затрат K на соответствующее оборудование. Тогда по мере увеличения уровня механизации и автоматизации затраты живого труда будут изменяться по кривой T_{Σ} (рис. 1.10). Сначала они резко снижаются, а затем темп их изменения замедляется, и они даже могут начать снова возрастать.

тать: при чрезмерном «увлечении» механизацией дополнительные затраты высококвалифицированного труда по уходу за оборудованием T_0 могут превысить тот выигрыш, который получается на операциях собственно производственного процесса T_n , поскольку $T_\Sigma = T_0 + T_n$.

Величина $T_{\text{мин}}$ характеризует максимально возможное сокращение затрат живого труда, а K_T соответствующий максимальный уровень механизации и автоматизации. Однако, если рассмотреть изменение себестоимости продукции, то стремление к максимальному уровню механизации и максимальному выигрышу в затратах живого труда нельзя признать оптимальным решением задачи. Действительно, в себестоимость C_Σ продукции наряду с составляющей затрат труда C_T входят, как слагаемые, амортизационные отчисления от стоимости оборудования и отчисления на его текущий ремонт, пропорциональные K , как показано на рисунке 1.10, б, прямой C_a . В результате при повышении уровня механизации кривая себестоимости C_Σ изменяется так, как показано на рисунке 1.10, б. Причем легко показать, что в точке минимума получаем $K_c < K_t$. Действительно, согласно условию, кривая $T_\Sigma(K)$ имеет минимум в точке K_t .

Рассмотрим себестоимость продукции C_Σ как функцию K , т.е. $C_\Sigma(K)$. В первом приближении, если не учитывать изменений относительно малых затрат на электроэнергию:

$$C_\Sigma(K) \approx T_\Sigma(K) + k_a K + A \quad (1.10)$$

где k_a — коэффициент амортизационных и ремонтных отчислений;
 $A = \text{const}$ — сумма остальных составляющих себестоимости, которые по условию задачи остаются постоянными и от K не зависят (затраты на корм и др.).

В точке минимума себестоимости $\frac{dC_\Sigma(K)}{dK} = 0$. Следовательно,
 $\frac{dT_\Sigma(K)}{dK} + k_a \approx 0$, откуда в точке минимума себестоимости $\frac{dT_\Sigma(K)}{dK} \approx -k_a$.
 Минимум себестоимости достигается в такой точке кривой $T_\Sigma(K)$, в которой производная $\frac{dT_\Sigma(K)}{dK}$ приближенно равна коэффициенту амортизационных и ремонтных отчислений, взятому со знаком минус. Очевидно, что область $\frac{dT_\Sigma(K)}{dK} < 0$ соответствует значениям $K < K_t$, как следует из рисунка 1.10, а.

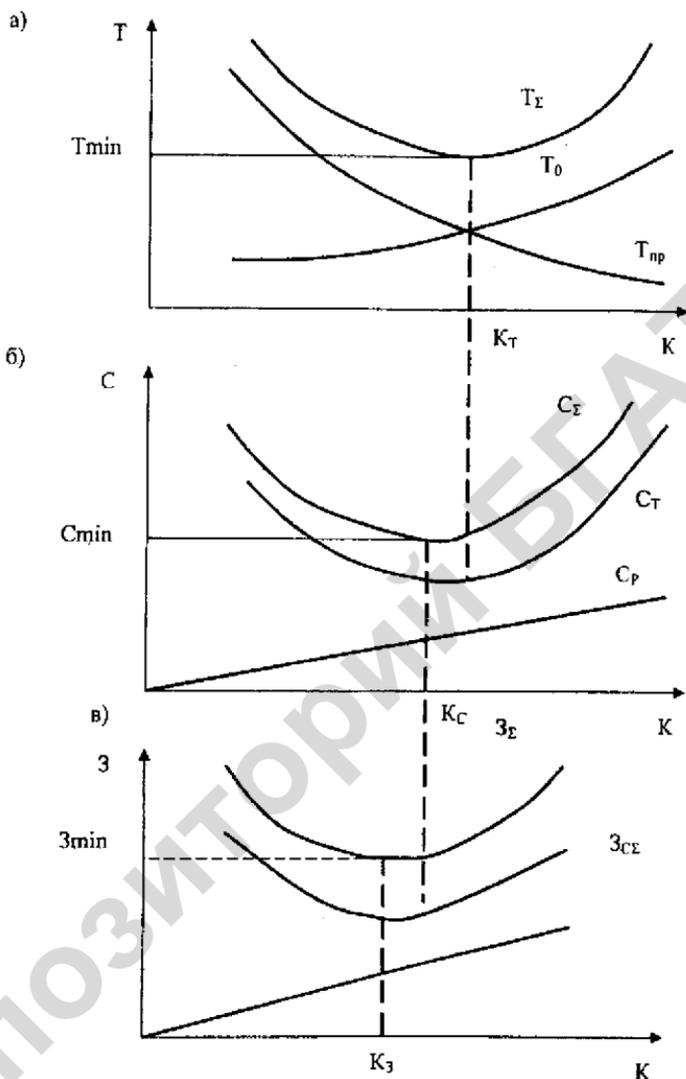


Рис. 1.10 Экономический эффект механизации и автоматизации: а – изменение затрат живого труда по сравнению с капвложениями; б – изменение себестоимости по сравнению с капвложениями; в – изменение величин приведенных расчетных затрат по сравнению с капвложениями

Величина $C_{мин}$ характеризует максимальный выигрыш в себестоимости, а K_c — соответствующий уровень механизации. Однако и эта точка не является экономически оптимальной.

Необходимо учесть, что осуществление механизации сопряжено с капитальными вложениями K . Сокращение себестоимости должно быть не мак-

симальным, а таким, чтобы вложенные средства окупались в достаточно короткие сроки. Это условие объясняется тем, что величина приведенных расчетных затрат должна быть сведена к минимальному значению:

$$Z = p_n K + C_{\Sigma}, \quad (1.11)$$

где p_n – нормативный коэффициент экономической эффективности.

Наносим зависимость (1.11) на график (рис. 1.10, в), мы получим точку действительного экономического оптимума $K_{\text{опт}}$, характеризующую оптимальный, т.е. экономически наиболее выгодный, уровень механизации и автоматизации. Аналогично тому, как это сделано выше, легко показать, что $K_{\text{опт}} < K_c < K_r$. *Максимальный экономический эффект механизации и автоматизации не достигается ни при максимальном уровне механизации, ни при максимальном сокращении затрат живого труда, ни при максимальном снижении себестоимости продукции. Он достигается при максимальном сокращении приведенных расчетных затрат.*

Дифференцируя (1.11), получим условия минимума полученных затрат в виде:

$$\frac{dZ}{dK} = p_n + \frac{dC_{\Sigma}}{dK} = 0, \text{ откуда в точке оптимума } \frac{dC_{\Sigma}}{dK} = -p_n \quad (1.12)$$

Оптимальный уровень механизации и автоматизации достигается тогда, когда элементарное сокращение себестоимости, отнесенное к элементарному приращению капитальных вложений в механизацию, становится равным нормативному коэффициенту экономической эффективности.

Таким образом, оптимальный уровень механизации и автоматизации требует определенного соотношения между затратами на оборудование и получаемым сокращением себестоимости продукции (рис. 1.11).

Вместо определения приведенных расчетных затрат для оценки экономического эффекта иногда используют величину срока окупаемости. Найдем связь между этими двумя критериями в связи с определением оптимального варианта технического решения.

Экономически равноценные затраты обладают одинаковыми приведенными затратами. Пусть первый вариант имеет приведенные затраты:

$$Z_1 = p_n K_1 + C_{\Sigma 1}, \quad (1.13)$$

$$\text{а второй} \quad Z_2 = p_n K_2 + C_{\Sigma 2}, \quad (1.14)$$

причем $Z_1 = Z_2$, а $K_1 > K_2$ (это ограничение не нарушит общего результата).

Приравняв правые части равенств (1.13) и (1.14), получим:

$$\frac{K_1 - K_2}{C_{\Sigma 2} - C_{\Sigma 1}} = \frac{1}{p_n} \quad (1.15)$$

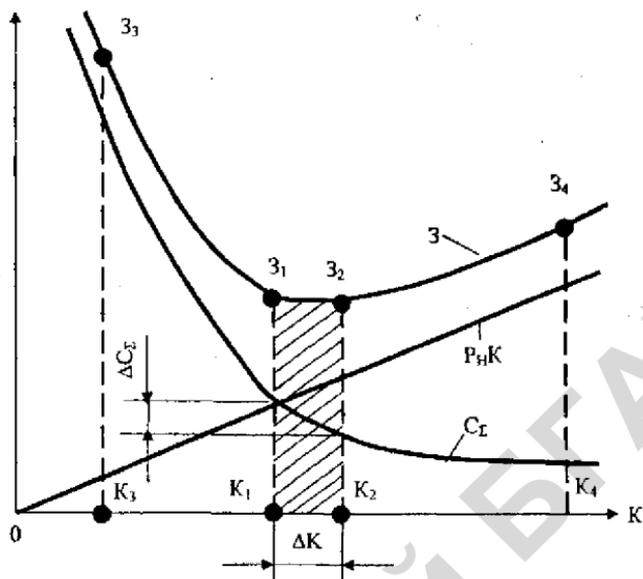


Рис. 1.11 Оптимальный уровень механизации и автоматизации

Учтем, что $\frac{1}{p_n} = T_n$ — нормативному сроку окупаемости. С другой стороны, в левой части формулы (1.15) мы получим явное выражение срока окупаемости:

$$\frac{K_1 - K_2}{C_{\Sigma 2} - C_{\Sigma 1}} = T \quad (1.16)$$

где T — срок окупаемости дополнительных капитальных вложений при замене второго варианта первым.

Следовательно, при сравнении двух экономически равноценных вариантов срок окупаемости дополнительных капитальных вложений получится равным нормативному: $T = T_n$. Очевидно, что такой же результат получится, если принять $K_1 < K_2$.

Если сравниваемые варианты по своей экономической эффективности различны, то $3_1 \neq 3_2$. Примем, что лучшим является первый вариант, следовательно $3_1 < 3_2$. Подставляя в это неравенство значение затрат согласно (1.13) и (1.14) и учитывая (1.15), получим в результате преобразований:

$$\frac{K_1 - K_2}{C_{\Sigma 2} - C_{\Sigma 1}} < \frac{1}{p_n} \quad (1.16)$$

или $T < T_n$.

При сравнении двух экономически различных вариантов более выгодный вариант имеет срок окупаемости дополнительных капитальных

вложений, меньший нормативного, и наоборот. Отметим, что чем больше экономическое различие между сравниваемыми вариантами, т.е. чем больше неравенство $Z_1 < Z_2$, тем больше и неравенство $T < T_H$. Чем выгоднее рассматриваемый вариант в сравнении с исходным, тем меньше его срок окупаемости T и тем больше этот срок окупаемости отличается от нормативного значения.

С первого взгляда может показаться, что это противоречит сказанному выше, так как в точке оптимума мы получим $T = T_H$. Этот вопрос разъясняет рис. 1.10. Пусть оптимальный, т.е. наилучший, вариант имеет $Z = Z_1$. В достаточной близости к точке оптимума можно принять:

$$\left| \frac{dC_{\Sigma}}{dK} \right| \approx \left| \frac{\Delta C_{\Sigma}}{\Delta K} \right| \quad (1.18)$$

Тогда

$$\frac{\Delta K}{\Delta C_{\Sigma}} \approx \frac{1}{P_H} = T_H \quad (1.19)$$

Обозначим вариант, достаточно близкий к оптимальному, индексом 2.

Тогда

$$\Delta K = K_2 - K_1 \quad \text{и} \quad \frac{K_2 - K_1}{C_{\Sigma 1} - C_{\Sigma 2}} \approx T_H \quad (1.20)$$

$$\Delta C = C_{\Sigma 1} - C_{\Sigma 2}$$

При сравнении двух вариантов, каждый из которых расположен достаточно близко к оптимальному, получается нормативный срок окупаемости.

Если же со вторым или первым вариантом сравнить явно неоптимальный вариант, например третий (Z_3) или четвертый (Z_4), то для оптимального или близкого к нему варианта получится $T < T_H$ (как показано выше). Таким образом, если при сравнении двух вариантов срок окупаемости получается значительно меньшим, чем нормативное значение, это свидетельствует только о том, что один из сравниваемых вариантов или они оба далеки от оптимального. При приближении обоих сравниваемых вариантов к точке оптимума срок окупаемости приближается к нормативному значению. Из сказанного вытекает важное различие между применением метода приведенных затрат и метода срока окупаемости.

Пусть мы получим N вариантов технических решений, соответственно имеющих определенные приведенные затраты: $Z_1, Z_2, \dots, Z_k, \dots, Z_N$. Экономическая эффективность каждого варианта характеризуется непосредственно величиной его приведенных затрат: располагая их в ряд по мере возрастания величины Z_k , мы получим всю последовательность вариантов, расположенных в порядке убывания их экономической эффективности.

Экономическая оценка вариантов с помощью срока окупаемости достаточно удобна при сопоставлении только двух вариантов. При большем их ко-

личестве такой метод неудобен, так как расчет с помощью срока окупаемости требует сопоставления всех вариантов, взятых по два, попарно. Таким образом в отличие от метода расчетных затрат мы не можем получить оценку всех вариантов и выбрать из них лучший, как показано выше. При сопоставлении же вариантов попарно величина получаемого T зависит, естественно, от того, в каком порядке соединяются в пары сравниваемые варианты: чем больше экономическое различие между вариантами, входящими в данную пару, тем меньше получается T . Однако его величина совершенно не указывает на экономическое положение этих двух вариантов по отношению ко всем остальным. При сравнении нескольких вариантов, срок окупаемости как критерий экономической эффективности оказывается более слабым, чем приведенные затраты.

В представленных выше формулах приведенные затраты выражаются в виде двучлена, состоящего из капитальных вложений, умноженных на нормативный коэффициент эффективности и себестоимости продукции. При исследовании экономической эффективности автоматизации нам потребуется рассмотреть структуру приведенных затрат более подробно. С этой целью введем выражение удельных приведенных расчетных затрат в виде

$$З = \frac{З}{N_p} = \frac{G + F + T + E}{N_p} \quad \begin{matrix} \text{руб} \\ \text{ед. в год} \end{matrix} \quad (1.21)$$

где $З$ — приведенные расчеты затраты на годовую продукцию;

N_p — годовая продукция в расчетных единицах;

G — затраты на корм;

F — составляющая капиталовложений (основных фондов);

T — затраты живого труда в стоимостном выражении;

E — затраты на электроэнергию и топливо.

Составляющая капиталовложений F вычисляется по формуле:

$$F = p_H \sum_i K_i + \sum_i k_{ai} K_i = \frac{1}{T_H} \sum_i K_i + \sum_i k_{ai} K_i, \quad (1.22)$$

где p_H — нормативный коэффициент экономической эффективности;

T_H — нормативный срок окупаемости в годах;

i — вид оборудования;

K_i — капиталовложения на соответствующие i -е оборудование с учетом затрат на его транспорт и монтаж;

k_{ai} — коэффициент, учитывающий ежегодные амортизационные и ремонтные отчисления, величина которого зависит от конкретного вида i -го оборудования.

Для отдельного процесса или машины формула удельных приведенных затрат может быть записана в виде:

$$z = \frac{(p_n + k_a)K + G + T + E}{N_p} \quad (1.23)$$

где k_a — коэффициент амортизационных отчислений.

Экономический эффект механизации и автоматизации в общем случае складывается из ряда составляющих.

Трудовой эффект. Он обусловлен сокращением прямых затрат живого труда T по уходу за скотом или птицей или на вспомогательных процессах на ферме благодаря применению на соответствующих трудовых операциях машин вместо мускульных усилий человека. Эффект состоит в том, что T сокращается сильнее, чем возрастает сумма $F + E$.

Энергетический эффект. Он обусловлен сокращением расхода топлива и электроэнергии, улучшением графика работы электрических сетей и энергетического оборудования, сокращением потерь тепла. Эффект состоит в сокращении E .

Структурный эффект. Он имеет особое значение в связи с автоматизацией производства и обусловлен тем, что устройство и принципы действия автоматизированного оборудования существенно отличаются от неавтоматизированного. За счет изменения устройства оборудования достигается сокращение регулирующих и запасных емкостей, металлоемкости и стоимости оборудования, сокращаются потери производственной площади на устройстве служебных проходов, увеличивается плотность поголовья скота или птицы в расчете на квадратный метр пола помещения или кубический метр его объема. Увеличивается концентрация размещения построек на территории фермы, сокращаются инженерные коммуникации. В результате сокращается составляющая капиталовложений F , т.е. основные фонды хозяйства.

Отметим, что вышеперечисленные виды экономического эффекта непосредственно не связаны с количеством или качеством продукции, выраженными величинами N_p , т.е. с продуктивностью скота и птицы, и поэтому образуются только за счет сокращения числителя формулы (1.21).

Технологический эффект. Существует группа средств механизации и автоматизации, которые непосредственно связаны и влияют на технологию производства, обуславливая важный *технологический экономический эффект*. Так, улучшение микроклимата увеличивает продуктивность молочных коров, крупного рогатого скота и свиней на откорме, яичной и мясной птицы, автоматизация раздачи кормов сокращает его потери при потреблении животными и транспортировке, регулируемый световой день повышает продуктивность несушек и улучшает сортность яиц. В этом случае изменению подвергается как числитель, так и знаменатель формулы (1.21). Это обуславливает методическое отличие технических средств механизации и автоматизации, дающих трудовой, энергетический и структурный эффект и в силу этого влияющих только на числитель формулы (1.21).

2 СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Понятие синтеза

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

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

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

Синтез САУ включает три основных этапа.

На первом этапе разрабатывается математическая модель проектируемой (синтезируемой) системы.

Способы математического описания класса САУ ТП приведены в табл. 2.1. Математическая модель отображает связи между *показателями состояния*, например быстродействием и надежностью системы, ее точностью, качеством выпускаемой продукции и т.п., и *параметрами управления*, с помощью которых осуществляется воздействие на проектируемую систему, в результате чего меняются ее показатели, состояния и параметры управления. Математическая модель определяет область допустимых вариантов проектирования.

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

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

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

Второй этап часто объединяется с первым.

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

Математические модели процессов

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

2.2 Синтез САУ поточных технологических линий

2.2.1 Структура САУ поточных технологических линий (ПТЛ)

Объектом управления САУ является технологический процесс. Структура технологического объекта управления может быть представлена в виде совокупности производственных звеньев, связанных между собой материальными потоками.

Как правило, звенья обработки чередуются со звеньями хранения, связанными звеньями транспортировки. *Производственное звено (технологическая операция)* представляет собой любое механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие. Совокупность технологических операций, осуществляемых на определенном технологическом оборудовании, образует *технологический процесс*.

Функционирование технологического объекта управления состоит в изменении состояния звеньев обработки и транспортировки (переход с одной операции на другую) и изменении состояния звеньев хранения (изменение количества продуктов, хранящихся в них).

Структурная схема САУ ТП представлена на рис. 2.1.

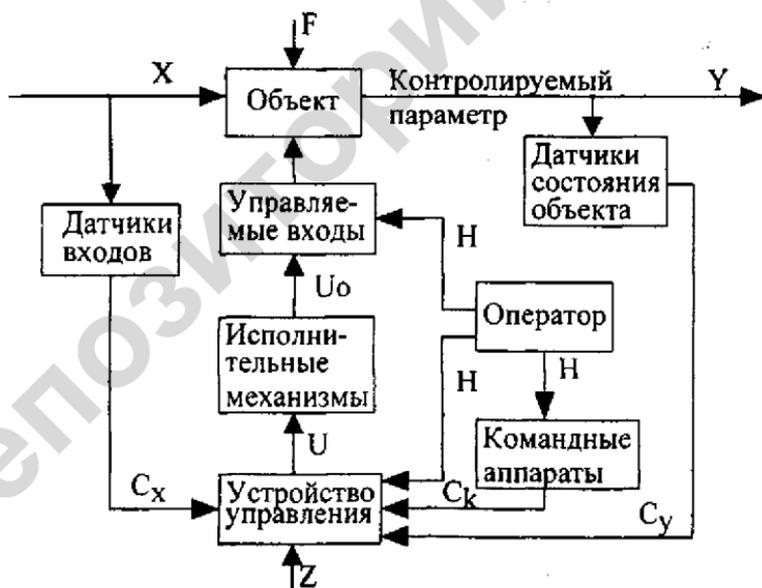


Рис. 2.1 Обобщенная схема системы автоматического управления: X – входы объекта; Y – состояние объекта; U_0 – управляющие воздействия; U – информация об управляющих воздействиях; H – ручное воздействие; C_x , C_y – множество сигналов от датчиков, изменяющих входы объекта и его состояние; C_k – сигналы, формируемые командными аппаратами; Z – цель управления

Датчиком называется преобразователь контролируемой регулируемой величины в выходной сигнал для дистанционной передачи и дальнейшего использования. Он характеризуется входными и выходными величинами, чувствительностью. Датчики представляют собой чувствительные элементы, предназначенные для измерения физических неэлектрических входных величин (уровня, влажности, скорости, веса, температуры и др.) и преобразования их в сигналы или состояние дискретного элемента, например, контакта. Контакт может формировать двоичный (двухпозиционный) сигнал.

К *командным аппаратам* относятся: кнопки, переключатели, тумблеры, а также реле времени. При помощи первых в автоматические системы ручным воздействием оператора подаются дискретные сигналы, вторые — обеспечивают циклическую работу оборудования в соответствии с алгоритмом.

Сигналы. Обмен информацией в автоматических системах происходит при помощи сигналов.

Носителями сигналов являются физические величины, например токи, напряжения, световые волны, воздушные струи, магнитные состояния. Физические величины представляют собой определенное пространственное распределение последовательных серий импульсов на одной или нескольких параллельных линиях, распределение точек изображения на плоскости и т.д., называются *информационными параметрами* в том случае, когда посредством этих определяющих параметров передается информация. Если физическая величина является носителем двух и более информационных параметров, то она является многомерным сигналом. Информационные параметры обладают определенным набором значений.

Некоторые примеры типовых форм сигналов, которые встречаются в системах автоматического управления и их информационное содержание представлено в табл. 2.2.

Алгоритм (алогорифм) — точно определенное правило действий (программа), для которого задано указание, как или в какой последовательности это правило необходимо применять к исходным данным задачи, чтобы получить ее решение.

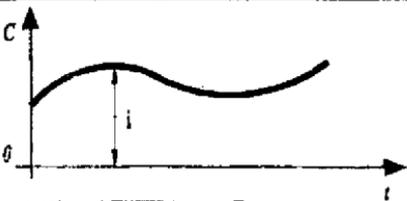
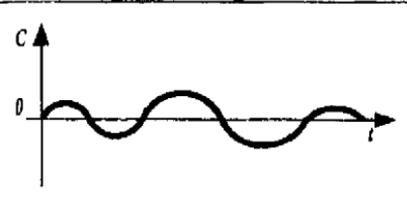
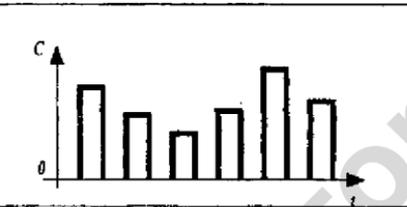
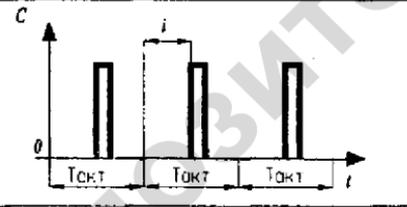
Характеристиками алгоритма являются: детерминированность (определенность) — однозначность результата процесса при заданных исходных данных; дискретность определяемого алгоритмом процесса — расчлененность его на отдельные элементарные акты, возможность выполнения которых человеком или машиной не вызывает сомнения; массовость — исходные данные для алгоритма можно выбирать из некоторого множества данных (потенциально бесконечного), т.е. алгоритм должен обеспечивать решение любой задачи из класса однотипных задач.

Устройство управления — обеспечивает координацию действий всех устройств системы автоматического управления (САУ) в соответствии с алгоритмом. Устройство управления может быть разработано на *релейно-контактных схемах (РКС)*, на *бесконтактных логических элементах*, а

также в качестве устройства управления может быть использован *логический контроллер*.

Таблица 2.2

Типовые формы аналоговых и дискретных сигналов

Форма сигнала	Характеристика сигнала
	<p>Аналоговый сигнал (аналоговый непрерывный, информационный параметр — амплитуда)</p>
	<p>Частотно-аналоговый сигнал (аналоговый непрерывный, информационный параметр — частота)</p>
	<p>Сигнал опроса (аналоговый прерывистый, информационный параметр — высота прямоугольных импульсов (амплитуда))</p>
	<p>Импульсный сигнал (аналоговый прерывистый, информационный параметр — положение фазы прямоугольного импульса)</p>
	<p>Двоичный двухпозиционный сигнал (дискретный непрерывный, информационный параметр — два значения «0» и «1»)</p>

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

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

Управляющие воздействия U_0 подаются на объект с определенной целью. Цель управления — это требуемое состояние или последовательность состояний объекта во времени. Если цель формируется иначе, то для управления объектом ее необходимо перевести на язык состояний объекта управления, т.е. описать с помощью функций выходных параметров.

К функциональным обязанностям **оператора** при обслуживании САУ ТП относятся:

- проведение технического обслуживания приборов и средств автоматизации;
- изменение уставок регулирующих приборов и программных устройств в соответствии с корректировкой хода производственного процесса;
- настройка режимов работы регулирующих органов на регулируемых входах объекта;
- выполнение роли звена системы регулирования (при отсутствии регулятора);
- осуществление пуска и остановки системы (в соответствии с требованиями к САУ ТП).

Синтез программно-логических систем автоматического управления технологическими процессами — одна из основных задач проектирования всего комплекса автоматизации процесса.

2.2.2 Формализация САУ ПТЛ. Определение объема автоматизации

В процессе разработки схемы автоматизации на основании анализа условий работы технологического оборудования и агрегатов, законов и критериев управления объектом должен быть определен оптимальный уровень автоматизации технологического процесса. Здесь, после внимательного рассмотрения технологического процесса решаются следующие вопросы:

- установление технологических параметров, подлежащих автоматическому регулированию и контролю, уточнение пределов их изменений и выбор методов измерения этих параметров с целью выбора технических средств;
- определение оптимального объема автоматизации (получение информации о технологическом процессе, воздействие на технологический процесс для управления им, стабилизация технологических параметров), контроль и регистрация технологических параметров и состояния технологического оборудования);
- определение, каким образом должно происходить управление технологическим оборудованием: автоматически или дистанционно;
- выбор технических средств автоматизации, наиболее полно отвечающих предъявленным требованиям и условиям работы;

-- размещение приборов и аппаратов на щитах, непосредственно агрегатах и т.д.

Разработку схемы автоматизации начинают с разработки алгоритма управления, в процессе чего определяется объем автоматизации. Для примера произведем разработку схемы автоматизации кормораздаточной линии.

Разработка алгоритма САУ ТП. Первым шагом разработки алгоритма САУ является словесное описание алгоритма функционирования технологической линии, составляемое обычно совместными усилиями технологов, конструкторов и проектировщиков. В ходе разработки задания на проектирование определяют последовательность работы исполнительных органов технологической линии обеспечивающих эффективность функций управления, основными из которых являются безопасность работы объекта и правильное выполнение технологического процесса. Качественные показатели работы оборудования технологической линии определяются и корректируются на втором этапе проектирования.

Пример. Рассмотрим словесное описание цикла работы линии раздачи корма с помощью мобильного рельсового кормораздатчика (рис. 2.2).

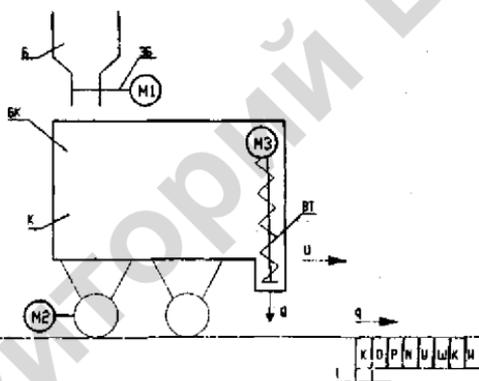


Рис. 2.2 Технологическая схема мобильного кормораздатчика: Б – накопительный бункер, ЗБ – электродвигательная заслонка; К – мобильный кормораздатчик; БК – бункер кормораздатчика; ВТ – выгрузной транспортер; М1 – привод ЗБ; М2 – привод К; М3 – привод ВТ; U – скорость передвижения К; Q – производительность ВТ; l – длина одной кормушки; q – норма одного рациона корма

Линия раздачи корма состоит из: бункера Б с электродвигательной заслонкой ЗБ; кормораздатчика К, имеющего накопительный бункер БК, оборудованный шнековым транспортером ВТ. Перемещение К осуществляется реверсивным электроприводом М2.

Включают линию в работу по заданной программе контакты суточного реле времени. Включение контактов кратковременное.

Если контакты включены, корм в Б имеется и К находится под Б, открывается ЗБ и происходит загрузка БК. При загрузке БК до нормы ЗБ закрыва-

ется, привод К включается и он перемещается к началу кормушек, где включается привод ВТ и происходит раздача корма. В конце кормушки К останавливается, привод ВТ выключается, с выдержкой времени включается реверс привода К и он перемещается в исходное положение под Б.

В соответствии с зоотребованием в каждую кормушку должно быть загружено q кг корма. Неравномерность загрузки кормушки не должна превышать $\pm 10\%$.

Словесное описание цикла работы технологической линии характеризует последовательность работы механизмов, однако является недостаточным для описания алгоритма управления ТП.

Для формализации алгоритма управления необходимо определить тип и количество командных аппаратов таким образом, чтобы обеспечить выполнение требований функционирования оборудования технологической линии, т.е. срабатывания командных аппаратов и исполнительных механизмов должны составлять непрерывную логическую цепочку.

Реализация алгоритма управления обеспечивается устройством управления, которым, как отмечалось ранее, может быть релейно-контактная схема (РКС), контроллер, или устройство на бесконтактных логических элементах.

Командные приборы и устройства управления являются, как было отмечено ранее, сложными устройствами. Первые преобразуют незлектрические и электрические величины в сигналы. Вторые срабатывают под воздействием сигналов и обеспечивают подачу в объект энергии или организационных воздействий с целью перевода материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию.

В устройстве управления для реализации алгоритма используются исполнительные элементы командных приборов, формирующие информационные сигналы, и элементы устройств управления, воспринимающие эти сигналы.

В релейно-контактных электрических схемах в качестве исполнительных элементов командных аппаратов используются размыкающие и замыкающие контакты, в качестве воспринимающих элементов исполнительных устройств — катушки магнитных пускателей, электромагнитов.

Для формализации алгоритма ТП применим следующие буквенные обозначения:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — исполнительные элементы командных приборов ручного воздействия;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ — исполнительные элементы командных приборов технологического воздействия;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — воспринимающие элементы исполнительных устройств;

$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ — привода реле времени;

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

z'_c — контакт суточного реле времени.

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

В табл. 2.3 приведены символы, обозначающие определенные действия, операции, состояния элементов САУ, вспомогательные обозначения, позволяющие связать отдельные элементы в цепочку причинно-следственных связей.

Таблица 2.3

Основные обозначения в символической записи алгоритма

Наименование операции, условия их осуществления	Место изображения символа	Символ	Пример
Элемент изменяет исходное состояние	Перед символом элемента	↑	↑ σ_1 , ↑ X_1
Элемент возвращается в исходное положение	То же	↓	↓ σ_1 , ↓ X_1
Воздействие командного элемента на воспринимающий элемент	Между обозначениями элементов	-	↓ σ_1 - ↓ X_1
Выполнение технологической операции (цифрой над символом обозначается наименование технологической операции)	После обозначения включения воспринимающего элемента	1, 2, ..., n	$\frac{1}{\uparrow X_1 - \uparrow \sigma_2}$ 1 - открытые за- слонки
Одновременное срабатывание нескольких элементов	Между обозначениями элементов		$\uparrow \sigma_2$  $\uparrow X_1$ $\downarrow X_2$
Срабатывание последующего элемента происходит после срабатывания всех параллельных цепочек	То же		$\downarrow \sigma_1$ $\uparrow X_2$ $\uparrow B_n$  $\uparrow X_3$
Вспомогательные символы			
Включаемый механизм совершает вращение	Над обозначениями элемента		 X_4, X_5
Вспомогательные символы			
Поступательные движения назад	То же	←	← X_2
Поступательные движения вперед	То же	→	→ X_1

Примечания: 1. Элементы САУ имеют два состояния (контакт замкнут – разомкнут, исполнительный механизм включен – отключен) и символы (↑, ↓), которые обеспечивают обозначение состояния элементов.

2. Вспомогательные символы облегчают чтение алгоритма, однако нанесение их необязательно.

3. Наименование технологических операций и требования к ним приводятся дополнительно при разработке алгоритма.

Записи алгоритма с помощью символов должны предшествовать обоснование и выбор командных приборов, при этом следует придерживаться основных принципов:

- 1) количество командных приборов должно быть таково, чтобы можно было составить логическую цепочку причинно-следственных связей работы САУ ТП;
- 2) САУ ТП должна строиться на базе серийно выпускаемых приборов;
- 3) приборы должны наиболее полно отвечать предъявляемым требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта;
- 4) установка приборов не должна влиять на ход технологического процесса и обеспечивать бесперебойность работы оборудования в течение минимум одного цикла;
- 5) должна быть проработана кинематика взаимодействия первичного преобразователя командного прибора с объектом.

Используя словесное описание технологического процесса, условные обозначения и рекомендации, *обоснуем выбор командных приборов и произведем запись алгоритма САУ ТП для нашего примера.*

В соответствии с технологией раздачи корма, кормораздатчик предварительно должен быть заполнен кормом из бункера Б.

Заполнение БК кормом производится путем открытия заслонки ЗБ. Естественно, открытие ЗБ должно производиться, когда К находится под Б, иначе, произойдет просыпание корма на пол. Для контроля положения К под Б используем элемент σ_1 .

Открытие ЗБ должно произойти при наличии корма в Б, в противном случае должна сработать сигнализация о нарушении технологического процесса. Для контроля наличия корма в Б используем элемент σ_2 .

Имеет значение место установки датчика уровня в бункере — он должен контролировать наличие в бункере корма минимум на один цикл работы кормораздатчика. Если корма в Б будет меньше чем на одну дачу, прервется цепочка причинно-следственных связей (не сработает датчик загрузки К) и технологический процесс прервется.

При выполнении вышеуказанных условий и замыкании контакта суточного реле времени срабатывает привод X_1 , открывая ЗБ. Ограничивает открытие ЗБ конечный выключатель σ_3 . Привод X_2 закрывает ЗБ. Ограничивает закрытие ЗБ конечный выключатель σ_5 . При заполненном БК и закрытой ЗБ включается привод X_3 кормораздатчика, который перемещается к началу кормушек, где посредством срабатывания конечного выключателя σ_6 включается привод X_5 выгрузного транспортера. Кинематика срабатывания конечного выключателя σ_6 зависит от конструкции упора, воздействующего на σ_6 . При коротком упоре (рис. 2.3, а) происходит срабатывание σ_6 , включение X_5 и затем обратное срабатывание контакта σ_6 . Отключение X_5 производится уже срабатыванием другого командного аппарата.

При сплошном упоре на кормушках (то есть упор по всей длине кормушки — рис. 2.3, б) обратное срабатывание контакта конечного выключателя $в_6$ произойдет в конце кормушки, когда требуется отключить привод X_3 , т.е. включение и отключение X_3 производится одним и тем же командным аппаратом. Конструктивно второй вариант менее надежный, так как сложно обеспечить удержание контакта $в_6$ в одном состоянии на большом протяжении длины кормушек и требует больших материальных затрат на сам упор и его установку.

Отключение приводов X_2 и X_3 и возврат К в исходное положение (привод X_4) производится срабатыванием контакта $в_7$ конечного выключателя.

В приведенном примере каждый из реверсивных электродвигателей М1 и М2 рассматривается как два исполнительных органа (X_1, X_2) и (X_3, X_4) соответственно.

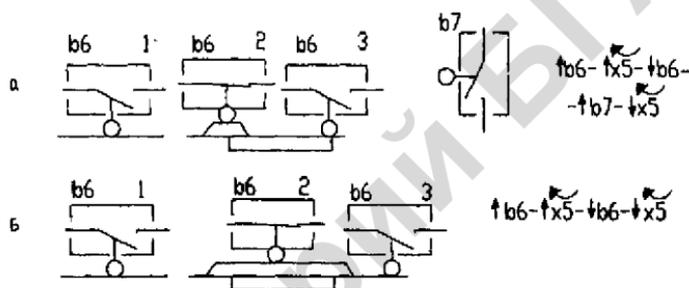


Рис. 2.3 Кинематическая схема взаимодействия конечного выключателя с упором:

1, 2, 3 — обозначение позиции командного прибора

Принятые решения по выбору командных аппаратов оформляются в виде таблицы (табл. 2.4) или для «зримости» процесса в виде рис. 2.4. Второй вариант предпочтительнее.

Таблица 2.4

Буквенное обозначение командных приборов и исполнительных устройств

Обозначение элемента	Наименование командного прибора и исполнительного устройства
1	2
$в_1$	Конечный выключатель, фиксирующий положение К под Б
$в_2$	Датчик наличия корма в Б
$в_3$	Конечный выключатель, фиксирующий открытое состояние ЗБ
$в_4$	Датчик заполнения БК кормораздатчика
$в_5$	Конечный выключатель, фиксирующий закрытое состояние ЗБ
$в_6$	Конечный выключатель управления приводом выгрузного транспортера
$в_7$	Конечный выключатель фиксирующий К в конце кормушек

1	2
→ X_1	Привод открытия ЗБ
← X_2	Привод закрытия ЗБ
→ X_3	Привод К «вперед»
← X_4	Привод К «назад»
X_5	Привод ВТ

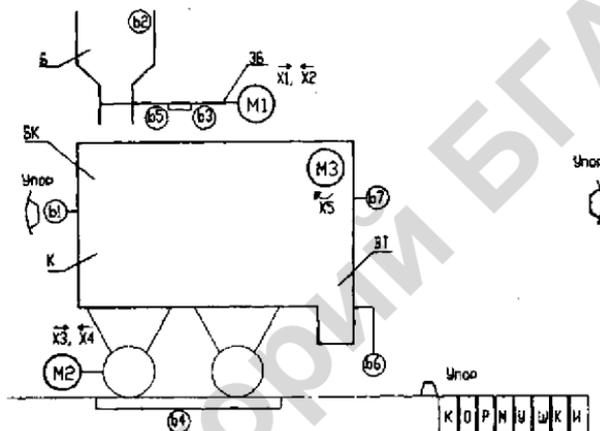


Рис. 2.4 Схема расположения командных приборов и исполнительных устройств на объекте управления

Как отмечалось ранее, при определении количества командных аппаратов следует также установить номенклатуры выпускаемых промышленностью приборов и соответствие их требованиям и условиям работы на автоматизируемом объекте.

Если какой-либо прибор не выпускается промышленностью, следует пересмотреть состав структурной схемы САУ ТП, чтобы обеспечить непрерывность цепочки причинно-следственной связи работы САУ на приборах промышленного производства.

В нашем примере в качестве командных приборов, исполнительные элементы которых обозначаются буквами ϵ_1 , ϵ_3 , ϵ_5 , ϵ_6 и ϵ_7 , можно использовать конечные выключатели. Номенклатура выключателей, выпускаемых современной промышленностью, достаточна для выбора типа. В качестве датчика уровня (ϵ_2) можно использовать мембранные и флажковые датчики

$$\uparrow a_1 - \uparrow x_1 - \downarrow a_1 \begin{cases} \uparrow x_6 - \uparrow x_7 \\ \uparrow x_2 - \uparrow x_3 - \uparrow x_4 \end{cases}$$

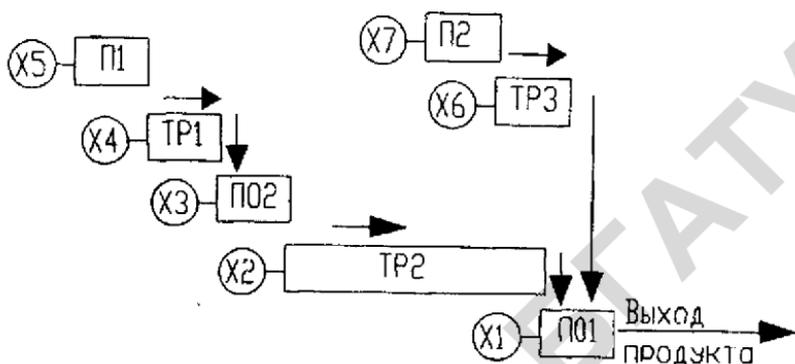


Рис. 2.5 Примерная схема поточной технологической линии: П1, П2 – питатели; ПО1, ПО2 – потребители; ТР1, ТР2, ТР3 – транспортеры; X₁, X₂, ..., X₇ – исполнительные устройства; → – направление потока материала

При остановке технологической линии вначале следует отключить исполнительные устройства питателей (закрыть заслонки), а затем, с выдержкой времени, необходимой для удаления материала из оборудования технологической линии, отключить все оставшиеся исполнительные устройства:

$$\uparrow a_2 \left\{ \begin{array}{l} \downarrow x_5 \\ \downarrow x_7 \\ \downarrow z \end{array} \right\} \downarrow a_2 - \uparrow z \left\{ \begin{array}{l} \downarrow x_1 \\ \downarrow x_2 \\ \downarrow x_3 \\ \downarrow x_4 \\ \downarrow x_6 \end{array} \right\} \downarrow z - \downarrow z'$$

Поочередное отключение исполнительных устройств оборудования технологической линии по мере схода с него материала экономически нецелесообразно, например,

$$\uparrow a_2 \left\{ \begin{array}{l} \downarrow x_5 \\ \downarrow z \end{array} \right\} \uparrow z' - \downarrow x_4 - \uparrow z'' - \downarrow x_3 - \uparrow z''' - \downarrow x_2 - \uparrow z'''' - \downarrow x_1 - \downarrow z - \downarrow z' - \downarrow z'' - \downarrow z''' - \downarrow z''''$$

так как усложняет принципиальную схему, требует больших затрат на её реализацию, что делает её менее надёжной в работе и не окупается экономией энергии.

Требования по обеспечению нормированной раздачи корма относятся к качественным показателям процесса. Для нашего примера их можно выразить уравнением:

$$q = \frac{L(Q \pm \Delta Q)}{U \pm \Delta U}, \quad (2.1)$$

где q – доза корма, загружаемого в кормушку (параметр);

Q – производительность питателя кормораздатчика;

U – скорость кормораздатчика;

$\pm \Delta Q$ и $\pm \Delta U$ – возмущающие воздействия.

В данном примере Q и U являются входными воздействиями. Чтобы получить заданное значение $q_{зад}$ вручную, устанавливают такой режим регулирующих органов соответствующий значениям Q_1 и U_1 . При этом получаем:

$$q_{зад} = \frac{LQ_1}{U_1} \quad (2.2)$$

В ходе функционирования объекта возникают возмущения. В нашем случае возмущающими воздействиями являются изменение производительности питания ΔQ и скорости кормораздатчика ΔU . Эти величины могут быть переменны во времени, т.е. $\Delta Q = f_1(t)$ и $\Delta U = f_2(t)$.

Анализируя влияние возмущений на значение параметра, определяют максимальные отклонения параметра. Для нашего примера:

$$q_{max} = \frac{L(Q_1 + \Delta Q_{max})}{(U_1 - \Delta U_{min})} \quad (2.3)$$

$$q_{min} = \frac{L(Q_1 + \Delta Q_{min})}{(U_1 - \Delta U_{max})} \quad (2.4)$$

Если $(q_{max} - q_{min}) > \Delta q_{доп}$, в структуру алгоритма вводят регулирующий орган — устройство, обеспечивающее целенаправленное воздействие на объект управления.

Для нашего примера управляющим воздействием может быть как скорость кормораздатчика:

$$- \uparrow x_3 - \downarrow e_1 - \downarrow e_4 - \uparrow e_6 - \uparrow x_5 - \downarrow e_5 - ,$$

так и производительность питателя кормораздатчика:

$$- \uparrow x_5 - \downarrow e_5 - .$$

В структуру разомкнутой системы управления вводится элемент системы управления с обратной связью (замкнутая система), и система становится комбинированной.

Символическая запись технологического процесса дает полный алгоритм работы схемы и позволяет применить любой инженерный метод синтеза принципиальных схем автоматического управления технологическим процессом (см. табл. 2.1).

Рассмотрим другие возможные варианты записи алгоритма функционирования СУ.

Вариант 2 (рис. 2.6)

Положение кормораздатчика можно фиксировать не двумя командными аппаратами (σ_1 и σ_7), а одним командным аппаратом σ_1 , который будет срабатывать в исходном положении кормораздатчика (под бункером) и в конце кормушек.

Для упрощения записи алгоритма и анализа весовых состояний не будем рассматривать этап загрузки кормораздатчика кормом. Пуск системы произведем вручную.

Тогда алгоритм управления запишется:

$$\uparrow a - \uparrow x_3 - \downarrow a - \uparrow \sigma_1 - \uparrow \sigma_4 - \uparrow \sigma_6 - \uparrow x_5 - \downarrow \sigma_6$$

$$\downarrow \sigma_1 - \left\{ \begin{array}{l} \downarrow x_3 \\ \downarrow x_5 \\ \uparrow z \end{array} \right\} \uparrow z' - \uparrow x_4 - \uparrow \sigma_1 - \downarrow z - \downarrow z' - \downarrow \sigma_1 - \uparrow \sigma_1 - \downarrow \sigma_1 - \downarrow x_4$$

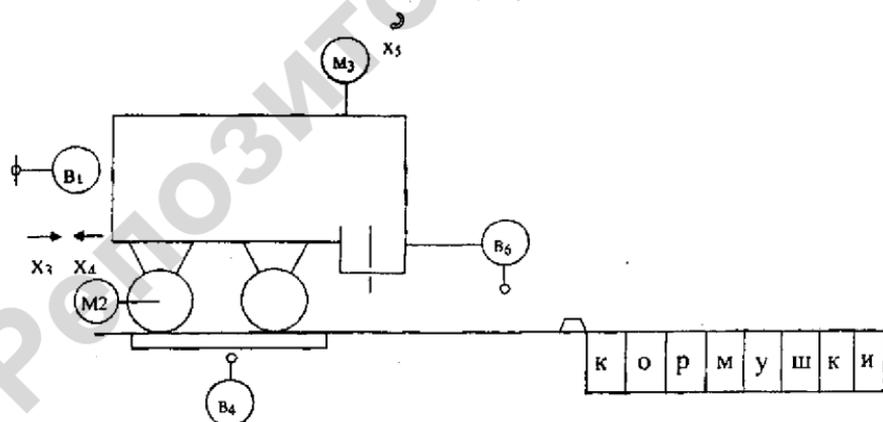


Рис. 2.6 Упрощенная схема автоматизации кормораздачи (вариант 2)

Вариант 3 (рис. 2.7)

При управлении исполнительными механизмами x_3 , x_4 и x_5 одним командным аппаратом θ_1 алгоритм работы системы будет следующий:

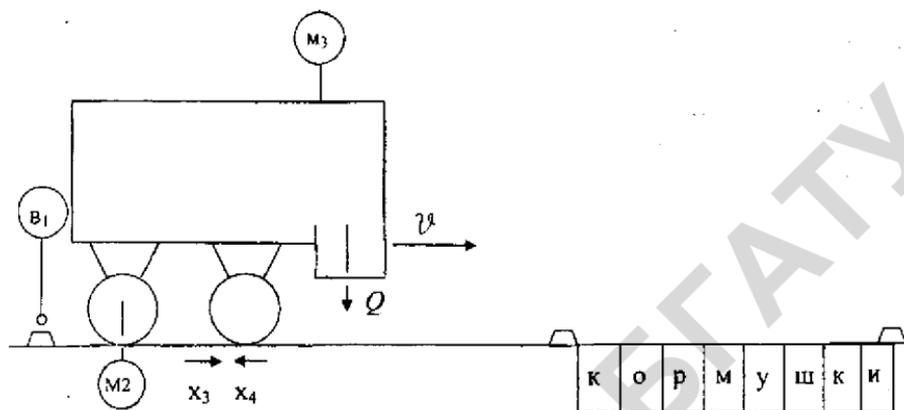


Рис. 2.7 Упрощенная схема автоматизации кормораздачи (вариант 3)

Тогда алгоритм управления запишется:

$$\uparrow a - \uparrow x_3 - \downarrow a - \uparrow \theta_2 - \downarrow \theta_1 - \uparrow x_5 - \uparrow \theta_1 \left\{ \begin{array}{l} \downarrow x_3 \\ \downarrow \theta_1 \\ \uparrow z \end{array} \right\} \downarrow x_5 - \uparrow z' - \uparrow x_4 - \uparrow \theta_1 - \downarrow z - \downarrow z' - \uparrow \theta_1 \\ - \downarrow \theta_1 - \uparrow \theta_1 - \downarrow x_4$$

Определение реализуемости алгоритма САУ ТП. Запись алгоритма ТП в виде символов удобно не только своей наглядностью, но и тем, что она служит основой синтеза РКС. Обычно для этой цели служат таблицы включений, однако для записи всего цикла работы механизмов ТП они громоздки и для определения реализуемости алгоритма воспользуемся записью в виде символов, где каждое изменение состояния командного аппарата или исполнительного органа будет рассматриваться как такт.

Под реализуемостью алгоритма ТП понимают возможность синтеза РКС без применения промежуточных реле (логических), или если они нужны, определение их количества, необходимого для реализации РКС.

С целью определения возможности реализации цикла каждому элементу символической записи присваивается так называемый «вес». Первому элементу присваиваем «вес» равный единице. «Вес» каждого последующего «нового» элемента удваивается (см. верхнюю строку).

Начальный вес всей схемы принимается равным нулю, независимо от того замкнут или разомкнут контакт командного аппарата, включен или отключен исполнительный орган.

С каждым тактом весовое состояние схемы меняется. При изменении исходного состояния элемента к весовому состоянию схемы прибавляется весовое состояние элемента, при возвращении элемента в исходное состояние от весового состояния схемы вычитается весовое состояние элемента. Такая запись производится для всего цикла работы.

Произведем проверку реализуемости алгоритма 1-го варианта

Такт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вес элемента	1	2	4	8	4	16	32	8	2	64
Запись алгоритма	$\uparrow B_1 - \uparrow B_2 - \uparrow z'_c - \uparrow x_1 - \downarrow z'_c - \uparrow B_5 - \uparrow B_3 - \downarrow x_1 - \downarrow B_2 - \uparrow B_4$									
Вес состояния	1	3	7	15	11	27	59	51	49	113

1	11	12	13	14	15	16	17
2	128	32	16	128	256	1	64
3	$\uparrow x_2 - \downarrow B_3 - \downarrow B_5 - \downarrow x_2 - \uparrow x_3 - \downarrow B_1 - \downarrow B_4$						
4	241	209	193	65	317	320	256

1	18	19	20	21	22	23	24	25
2	512	1024	512	2048	256/1024/4096	8192	16384	2048
3	$\uparrow B_6 - \uparrow x_5 - \downarrow B_6 - \uparrow B_7 \left\{ \begin{array}{l} \downarrow x_3 \\ \downarrow x_5 \\ \uparrow z_1 \end{array} \right\} \uparrow z'_1 - \uparrow x_4 - \downarrow B_7 -$							
4	768	1792	1280	3328	61544	14336	30720	286672

1	26	27	28	29	30	31
2	4096	8192	512	512	1	16384
3	$-\downarrow z_1 - \downarrow z'_1 - \uparrow B_6 - \downarrow B_6 - \uparrow B_1 - \downarrow x_4$					
4	24576	16384	16896	163984	16385	1

Реализуемость алгоритма определяется анализом его весового состояния. На первом этапе определяется корректность записи весового состояния — весовое состояние в последнем такте цикла работы оборудования технологической линии не должно быть числом отрицательным.

Дополнительные сведения об объеме автоматизации берутся из требований к схеме управления, где должны быть указаны режимы работы оборудования, объем защиты и сигнализации.

2.2.3 Разработка релейно-контактных схем

Запись структур и условий работы релейных схем. Математическим аппаратом метода алгебраизации схем является двузначная алгебра логики (булева алгебра), которая изучает связи между переменными, принимающими только два значения (например, 0 и 1). Такие переменные называются *логическими*. Цифры 0 и 1 не выражают в данном случае количественных соотношений, а являются символами, характеризующими условия или состояния в релейных устройствах: 0 — цепь разомкнута, 1 — цепь замкнута.

При анализе релейных устройств выделяют их следующие основные части.

Приемные (входные) элементы, воспринимающие входные воздействия: ручные команды оператора, сигналы других автоматических устройств. К ним относятся ключи и кнопки управления, приборы, контролирующие состояние технологических переменных процессов, и т.д.

Промежуточные элементы, обеспечивающие определенную последовательность передачи воздействий приемных элементов на исполнительные.

Исполнительные элементы, воздействующие на внешние объекты. К ним относятся контакторы, электромагниты, сигнализаторы.

Аналитическая запись структуры релейных схем. Наиболее распространенным способом изображения структуры релейных схем является их графическое вычерчивание, при котором контакты командных элементов и исполнительные органы изображаются в виде графических символов. При описании схем, изображенных в развернутом начертании, приходится для каждого контакта и исполнительного органа, помимо графических символов, вводить буквенные обозначения. При небольшом усложнении буквенных обозначений можно совершенно отказаться от использования графических символов.

Элементы структурной схемы обозначаются обычно буквами латинского алфавита.

Примем следующие обозначения:

- командные элементы $A, B, C, \dots, N;$
- промежуточные элементы $Y1, Y2, Y3, \dots, Yn;$
- исполнительные органы $X1, X2, X3, \dots, Xn;$
- исполнительное устройство — реле времени $Z1, Z2, Z3, \dots, Zn.$

Контакты командных, промежуточных элементов и исполнительных органов:

- – размыкающие $\overline{a}, \overline{b}, \overline{c}, \dots, \overline{x_1}, \overline{x_2}, \overline{x_3}, \dots;$
- – замыкающие $a, b, c, \dots, x_1, x_2, x_3, \dots;$
- – контакты реле времени $z'_1, z'_2, z'_3, z'_n;$
- постоянно-замкнутый контакт – 1;
- постоянно-разомкнутый контакт – 0.

Однако данная система буквенных обозначений не является обязательной. В иных случаях целесообразно применять другие обозначения.

При принятых обозначениях структура релейной схемы (рис. 2.8, а) будет иметь вид, изображенный на рисунке 2.8, б. Однако во избежание ошибок, связанных с написанием больших и малых букв алфавита, целесообразно использовать комбинированное обозначение (рис. 2.8, с).

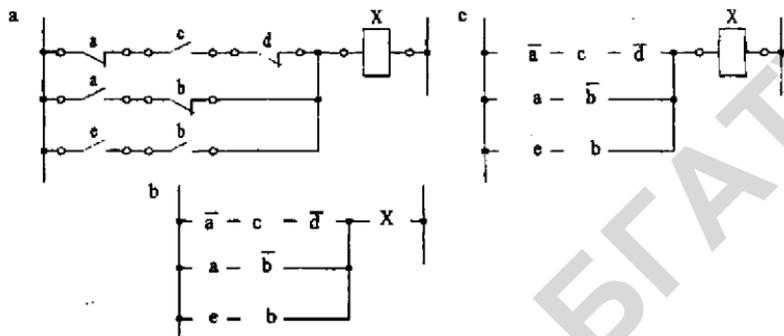


Рис. 2.8 Варианты изображения структуры релейных схем

Если обозначить последовательное соединение знаком умножения (точкой), а параллельное соединение — знаком сложения (плюсом), то структуру релейных схем можно записать в виде аналитических выражений, которые носят название *структурных формул схем*.

Если использовать те же символы, что и при упрощении изображения структурной схемы (рис. 2.8, б), то структурная формула будет иметь вид:

$$f(X) = \bar{a} \cdot c \cdot \bar{d} + a \cdot \bar{b} + eb \quad (2.5)$$

Правая часть этой структурной формулы выражает контактную схему, контактный двухполюсник. В левой части индекс X при функции f указывает, что контактный двухполюсник воздействует на один исполнительный орган X .

По виду соединений различают параллельно-последовательные схемы (схемы класса II — рис. 2.8) и с мостиковыми соединениями (рис. 2.9). Последние часто называют схемами класса H, так как простейшая схема такого вида, состоящая из пяти структурных элементов, по своему начертанию сходна с буквой H (параллельно-последовательная структура).

Применение мостиковых соединений приводит к существенному сокращению числа контактов.

Из рис. 2.9 видно, что в схемах класса H каждый из начальных структурных элементов (в данном случае a и d)

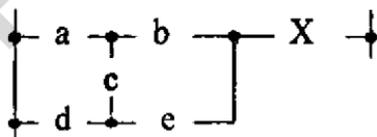


Рис. 2.9 Простейшая мостиковая схема класса H

соединен последовательно с каждым из конечных структурных элементов (в данном случае e и e). Структурные элементы, включенные в мостовое соединение (в данном случае c), входят в несколько различных цепей, которые могут образоваться в схеме между ее начальными и конечными полюсами. Поэтому схему можно описать структурной формулой:

$$f(x) = a \cdot b + d \cdot e + a \cdot c \cdot e + d \cdot c \cdot b \quad (2.6)$$

При помощи структурной формулы можно выразить структурные схемы, содержащие несколько исполнительных органов.

Пусть в схему должны быть включены исполнительные органы X_1, X_2, \dots, X_n , на которые должны воздействовать контакты элементов A, B, C, \dots, Q .

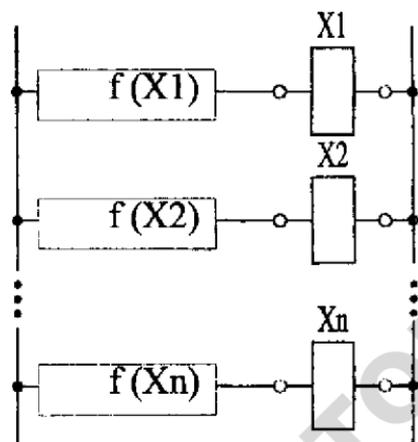


Рис. 2.10 Структура схемы управления

Для каждого из элементов, исполнительные органы которых должны быть включены в схему, можно написать структурную формулу в следующем виде:

$$\begin{aligned} f(X_1) &= f_1(a, b, c, \dots, q); \\ f(X_2) &= f_2(a, b, c, \dots, q); \\ &\dots \\ &\dots \\ f(X_n) &= f_n(a, b, c, \dots, q). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Условное графическое изображение этих формул представлено на рис. 2.10.

Так как воздействующие контакты включены последовательно с исполнительными органами, а цепи различных исполнительных органов включены между собой параллельно,

то структуру всей схемы, изображенной на рис. 2.10, можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} F_{сх.} &= f_1(a, b, c, \dots, q) \cdot X_1 + \\ &+ f_2(a, b, c, \dots, q) \cdot X_2 + \dots + \\ &+ f_n(a, b, c, \dots, q) \cdot X_n, \end{aligned} \quad (2.8)$$

или в общем виде:

$$F_{сх.} = f(a, b, c, \dots, q; X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.9)$$

Таким образом, алгебраическая функция, содержащая условные обозначения контактов в виде прописных букв и реагирующих органов — в виде заглавных букв, соединенных между собой знаком умножения и сложения,

может выражать структуру некоторой релейной схемы. Необходимо заметить, что такая структурная форма непосредственно не выражает условий работы входящих в нее исполнительных органов.

Для получения условий работы исполнительных органов необходимо формулу такого типа для всей релейной схемы преобразовать в ряд формул вида (2.5), выражающих контактные схемы для каждого из реагирующих органов. Это соответствует преобразованию релейной схемы в вид, показанный на рис. 2.9.

Следует различать структурные формулы, содержащие только символы контактов, т.е. выражающие контактные схемы, и структурные формулы, содержащие символы контактов и исполнительных органов, т.е. выражающие релейные схемы в целом.

При записи структурных формул примем следующие обозначения: прописной буквой f будем обозначать функцию, содержащую только символы контактов, а буквой F — структурную схему исполнительного органа.

Основные законы алгебры логики. Упрощение контактных схем. В процессе синтеза контактных схем могут возникнуть сложные структуры с большим количеством контактных элементов.

Существуют методы преобразования РКС, которые позволяют получить эквивалентные формы с меньшим количеством контактных элементов в отличие от исходных, которые выполняют те же логические функции.

В основу отдельных методов заложен математический аппарат так называемой алгебры логики, созданной английским ученым Булем.

Справедливость законов булевой алгебры для контактных схем будем устанавливать путем рассмотрения схем, соответствующих левым и правым частям равносильных выражений. В качестве символа равносильности примем символ, одинаковый с символом равенства в обычной алгебре (=).

1. Переместительные законы

относительно сложения: $a + b = b + a$ (2.10)

Соответствующие этим выражениям схемы представлены на рис. 2.11, а.

Левая и правая схемы представляют нормально разомкнутые цепи, каждая из которых при срабатывании любого из элементов (a или b) замыкается, т.е. эти схемы равносильны.

относительно умножения: $a \cdot b = b \cdot a$ (2.11)

Соответствующие этим выражениям схемы представлены на рис. 2.11, б.

Их равносильность также очевидна.

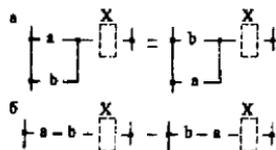


Рис. 2.11 Иллюстрация переместительного закона для РКС: a — относительно сложения, b — относительно умножения

2. Сочетательные законы

относительно сложения: $(a + b) + c = a + (b + c)$ (2.12)

относительно умножения: $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$ (2.13)

Соответствующие этим выражениям пары равносильных схем представлены на рис. 2.12, а, б.

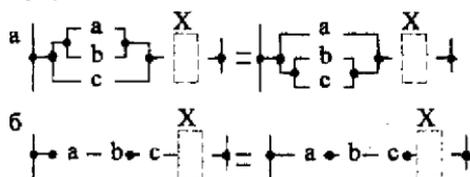


Рис. 2.12 Иллюстрация сочетательного закона для РКС: а – относительно сложения; б – относительно умножения

3. Закон идемпотентности (повторения, тавтологии):

$a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a = a^n = a$ (2.14)

$a + a + a + \dots + a = n \cdot a = a$ (2.15)

Любое число соединенных последовательно или параллельно контактов одного и того же элемента (или одинаковых групп контактов различных элементов) может быть заменено одним контактом этого элемента (или одной группой контактов).

Эта равносильность может быть проиллюстрирована схемами, представленными на рис. 2.13, а, б.

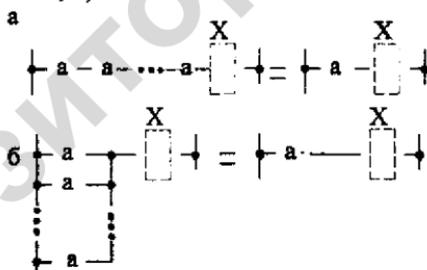


Рис. 2.13 Иллюстрация закона повторения для РКС: а – относительно сложения; б – относительно умножения

Очевидно, что воздействие на цепь любого числа соединенных последовательно или параллельно контактов одного элемента аналогично воздействию одного контакта этого элемента.

4. Законы нулевого множества:

$$0 + a = a; \quad (2.16)$$

$$0 \cdot a = 0; \quad (2.17)$$

$$0 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot \dots \cdot q = 0. \quad (2.18)$$

В структурной формуле контактной схемы каждый аргумент, выражающий контакт, является переменной величиной, которая может, как уже указывалось, принимать всего два значения: одно соответствующее замкнутой цепи, а другое — разомкнутой; функция, в зависимости от значения входящих аргументов, может принимать два аналогичных значения.

Обозначим замкнутую цепь постоянным числом — единицей, а разомкнутую цепь — постоянным числом — нулем.

Введение этих обозначений позволяет вывести целый ряд равносильностей и значительно расширить преобразование схем.

В связи с введенными обозначениями равносильность (2.16) будет справедлива, так как при параллельном соединении контакта какого-либо элемента a с постоянно разомкнутой цепью общее состояние цепи будет определяться состоянием элемента a , а в равносильности (2.17) при последовательном соединении контакта какого-либо элемента с постоянно разомкнутой цепью общая цепь всегда будет разомкнута независимо от состояния элемента a .



Рис. 2.14 Иллюстрация законов нулевого множества для РКС: a — относительно сложения; b — относительно умножения

5. Законы универсального множества:

$$1 \cdot a = a; \quad (2.19)$$

$$1 + a = 1; \quad (2.20)$$

$$1 + a + b + c + \dots + q = 1. \quad (2.21)$$

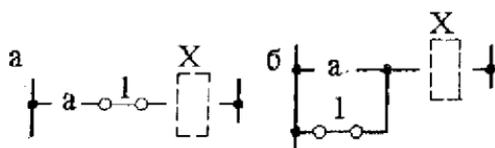


Рис. 2.15 Иллюстрация законов универсального множества для РКС: a — относительно сложения; b — относительно умножения

Т.е. при последовательном соединении контакта какого-либо элемента a с постоянно замкнутой цепью общее состояние цепи будет определяться состоянием элемента a , а при параллельном соединении контакта с постоянно замкнутой цепью общая цепь будет всегда замкнута независимо от состояния элемента a .

6. Законы дополнительности:

логическое противоречие: $a \cdot \bar{a} = 0$ (2.22)

Выражение $a \cdot \bar{a}$ представляет собой схему, изображенную на рис. 2.16, а. Эта схема является постоянно разомкнутой цепью независимо от состояния элемента a ;

закон исключенного третьего: $a + \bar{a} = 1$ (2.23)

Выражение $a + \bar{a}$ представляет собой схему, изображенную на рис. 2.16, б. Эта схема является постоянно замкнутой цепью независимо от состояния элемента a .



Рис. 2.16 Иллюстрация законов дополнительности для РКС: a – относительно сложения; b – относительно умножения

Рассмотренные равносильности после введения понятий замкнутой и разомкнутой цепей действительны не только для единичных элементов, но также для случаев, когда буквенные символы обозначают выражения, состоящие из нескольких элементов (2.18 – 2.21).

Из самого значения нуля и единицы следует, что:

$$\bar{0} = 1, \quad (2.24)$$

$$\bar{1} = 0. \quad (2.25)$$

Равносильности (2.24) и (2.25) могут быть также выведены из равносильностей (2.22) и (2.23):

$$\bar{0} = \overline{a \cdot \bar{a}} = \bar{a} + a = 1,$$

$$\bar{1} = \overline{a + \bar{a}} = \bar{a} \cdot a = 0.$$

Можно написать:

$$0 \cdot 0 = 0, \quad (2.26)$$

$$0 \cdot 1 = 0, \quad (2.27)$$

$$0 + 0 = 0; \quad (2.28)$$

$$1 + 0 = 1, \quad (2.30)$$

$$1 \cdot 1 = 1, \quad (2.29)$$

$$1 + 1 = 1. \quad (2.31)$$

$$7. \text{ Закон двойной инверсии: } \overline{\overline{a}} = a, \quad (2.32)$$

т.е. двойную инверсию можно снять.

8. Распределительные (дистрибутивные) законы:

$$a \cdot (b + c) = ab + ac; \quad (2.33)$$

$$a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c). \quad (2.34)$$

9. Законы поглощения:

$$a \cdot (a + b) = a, \quad (2.35)$$

$$a \cdot (a + b) \cdot (a + c) \cdot \dots \cdot (a + q) = a, \quad (2.36)$$

$$a + a \cdot b = a \cdot (1 + b) = a, \quad (2.37)$$

$$a + a \cdot b + a \cdot c + \dots + a \cdot q = a, \quad (2.38)$$

$$a \bullet (\overline{a + b}) = a \bullet \overline{a} + a \bullet \overline{b} = a \bullet \overline{b}, \quad (2.39)$$

$$a + \overline{a \cdot b} = a + b \quad (2.40)$$

10. Законы склеивания (распространения):

$$ab + a\overline{b} = a(b + \overline{b}) = a, \quad (2.41)$$

$$(a + b)(a + \overline{b}) = aa + a\overline{b} + ab + b\overline{b} = a(1 + \overline{b} + b) = a, \quad (2.42)$$

$$ab + \overline{a}c + bc = ab + \overline{a}c, \quad (2.43)$$

$$(a + b) \cdot (a + c) \cdot (b + c) = (a + \overline{b}) \cdot (a + c), \quad (2.44)$$

$$(a + b)(\overline{a + c}) = ac + \overline{a \cdot b}. \quad (2.45)$$

11. Законы де Моргана (законы инверсии):

$$\text{для двух переменных: } \overline{a \bullet b} = \overline{a} + \overline{b}, \quad (2.46)$$

$$\overline{a + b} = \overline{a} \bullet \overline{b}. \quad (2.47)$$

Черта над левой частью выражения является знаком отрицания или инверсии. Этот знак указывает на то, что вся функция имеет обратное значение по отношению к выражению, стоящему под знаком отрицания. Начертить схему, соответствующую всей инверсной функции, не представляется возможным, однако может быть начерчена схема, соответствующая выражению, стоящему под знаком отрицания.

Таким образом, формулы (2.46) и (2.47) могут быть иллюстрированы схемами, представленными на рис. 2.17, а и рис. 2.17, б соответственно.

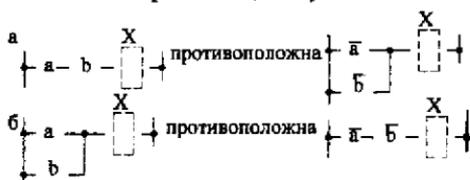


Рис. 2.17 Иллюстрация законов де Моргана для РКС: а – относительно умножения, б – относительно сложения

Для n переменных законы де Моргана будут записаны:

$$\overline{a \cdot e \cdot c \cdot \dots \cdot n} = \bar{a} + \bar{e} + \bar{c} + \dots + \bar{n}; \quad (2.48)$$

$$\overline{a + e + c + \dots + n} = \bar{a} \cdot \bar{e} \cdot \bar{c} \cdot \dots \cdot \bar{n} \quad (2.49)$$

Переместительный, сочетательный и распределительный законы соответствуют аналогичным законам обычной алгебры. Поэтому в случае преобразования структурных формул в отношении порядка сложения и умножения членов, вынесения членов за скобки и раскрытия скобок можно следовать правилам, установленным для обращения с обычными алгебраическими выражениями. Остальные законы являются специфическими для булевой алгебры.

Примеры преобразования контактных схем.

Пример 1. Требуется преобразовать с целью упрощения контактную схему, изображенную на рис. 2.18, а.

Решение. Напишем структурную формулу контактов исполнительного органа X

$$f(x) = (a + b) \cdot [e \cdot (a + d) + \bar{e} \cdot (a + c) + a \cdot \bar{f} \cdot (f + d)] \quad (2.50)$$

Используя законы булевой алгебры произведем преобразования

$$f(x) = (a + b) \cdot (e \cdot a + e \cdot d + \bar{e} \cdot a + \bar{e} \cdot c) + a \cdot \bar{f} \cdot f + a \cdot \bar{f} \cdot d,$$

так как $e \cdot a + \bar{e} \cdot a = a \cdot (e + \bar{e}) = a$, а $a \cdot \bar{f} \cdot f = 0$, то $f(x)$ примет вид

$$f(x) = (a + b) \cdot (a + e \cdot d + \bar{e} \cdot c + a \cdot \bar{f} \cdot d), \text{ но так как}$$

$$a + a \cdot \bar{f} \cdot d = a(1 + \bar{f} \cdot d) = a, \text{ то}$$

$$\begin{aligned} f(x) &= (a + b) \cdot (a + ed + \bar{e} \cdot c) = aa + aed + a\bar{e}c + ab + bed + b\bar{e}c = \\ &= a \cdot (1 + ed + \bar{e}c + b) + b \cdot (ed + \bar{e}c) = a + b \cdot (ed + \bar{e}c) \end{aligned} \quad (2.51)$$

РКС исполнительного органа X , соответствующая полученной формуле, изображена на рис. 2.18, б.

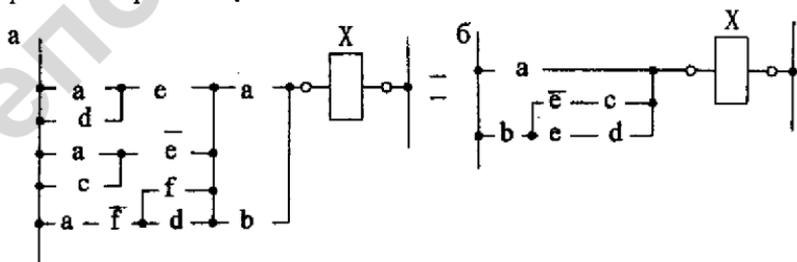


Рис. 2.18 Пример упрощения структуры РКС: а – исходная структура; б – упрощенная структура

Пример 2. Требуется преобразовать с целью упрощения контактную схему изображенную на рис. 2.19, а.

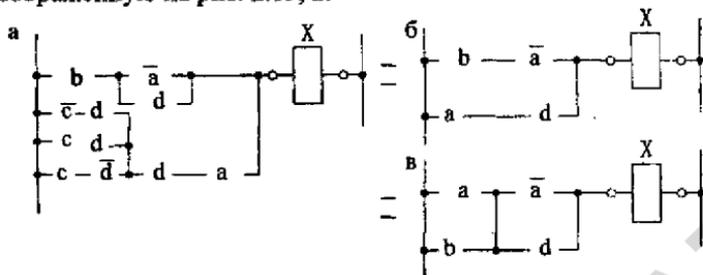


Рис. 2.19 Пример упрощения структуры РКС: а – исходная структура; б – первый вариант упрощения структуры; в – второй вариант упрощения структуры

$$f(x) = b\bar{a} + bd + \bar{c}dda + cdda + c\bar{d}da \quad (2.52)$$

Так как $c\bar{d}da = 0$, то $f(x) = b\bar{a} + bd + \bar{c}da + cda$.

Умножим $\bar{c}d$ на $\bar{a} + a = 1$.

$$f(x) = b\bar{a} + bda + bd\bar{a} + da = b\bar{a}(1 + d) + ad(b + 1) = b\bar{a} + ad$$

Схема, соответствующая полученной формуле, изображенная на рис. 2.19, б, по действию равносильна заданной.

К выражению $f(x) = b\bar{a} + bd + da$ можно также прибавить $0 = a \cdot \bar{a}$.

Тогда

$$f(x) = b\bar{a} + bd + da + \bar{a}a = d(a + b) + \bar{a}(a + b) = (a + b)(\bar{a} + d) \quad (2.53)$$

Схема, соответствующая полученной формуле, изображена на рис. 2.19, в. Она также равносильна по действию заданной схеме.

В алгебре контактных схем проще производить запись структуры цепей без скобок, анализируя функциональные возможности цепей и исключая избыточные элементы и постоянно разомкнутые цепи, т.е. структурную формулу контактов (2.53) можно было получить, не делая предварительных записей структурной формулы контактов (2.52).

Разработка устройства управления САУ ТН на релейно-контактных элементах. Принципиальные релейно-контактные схемы относятся к классу двоичных систем все входные, выходные величины и параметры состояний которых могут принимать только дискретные значения. Описать алгоритм схем такого класса можно, используя законы Булевой алгебры, теорию автоматов, векторные дифференциальные уравнения, про-

странственное изображение состояний, Марковские процессы, таблицы автоматов, графы состояний, логические таблицы.

Математическое описание алгоритма схемы, обеспечивающей управление соответствующим объектом, позволяет перейти к графическому отображению принципиальной схемы и ее дальнейшей реализации.

Разрабатывается принципиальная схема управления, как правило, для основного (автоматического) режима работы и затем дополняется элементами и связями, способными реализовать дополнительные режимы работы (ручной, наладочный).

Для математического описания алгоритма дискретных систем управления воспользуемся законами Булевой алгебры и логическими таблицами.

Исходным материалом для составления логических таблиц (частые таблицы включения, таблицы покрытий) служит запись алгоритма работы САУ ТП с помощью символов (см. п. 2.2.2).

Частные таблицы включения составляются для всех ИЭ и реле времени в порядке их срабатывания при реализации алгоритма управления.

В частную таблицу включения какого-либо элемента входят из символической записи ТП, во-первых, данный элемент и все те командные и промежуточные элементы, от которых этот элемент срабатывает и отключается и, во-вторых, некоторые другие вспомогательные элементы, необходимые для реализации данной частной таблицы включения.

Рассмотрим примеры построения частных таблиц включения и построения по ним первоначальных структурных формул.

Для составления частных таблиц включения для всех командных и исполнительных органов используем те же обозначения, что и при символической записи ТП.

В горизонтальных строках таблицы вписаны все электрические элементы (Э). Вертикальные столбцы — это такты (Т).

При переходе от одного такта к другому меняется состояние хотя бы одного из электрических элементов.

Знаком «+» обозначается включение элемента (попадание под напряжение катушки реле магнитного пускателя, электромагнита или нажатие кнопки управления или конечного выключателя), а знаком «-» — их выключение или отпускание. Нулевой такт характеризует состояние всех элементов в начале цикла.

Для удобства синтеза принимают, что в начале цикла все элементы отключены (катушки пускателей и реле не находятся под напряжением, а конечные выключатели не нажаты).

Однако в реальных условиях может быть, что в начале цикла некоторые конечные выключатели будут нажаты, а некоторые электромагниты или пус-

катели будут включены. Поэтому хотя такое состояние элементов не повлияет на результат синтеза, при переходе структурной формулы к реальной схеме контакты конечных выключателей, нажатых в начале цикла, должны быть заменены на инверсные.

В частных таблицах включения элемент, для которого составляется таблица, с целью его отличия от других элементов, обводится кружком и помещается в таблице включения первым.

Рассмотрим пример построения частных таблиц включения и получение первоначальных структурных формул для **первого варианта символической записи ТП**.

В частную таблицу включения элемента x_1 (табл. 2.6) войдут элементы:

z'_c – элемент пуска технологической линии;

v_1, v_2 – элементы, определяющие исходное состояние агрегата (загрузка К кормом, нахождение К в исходном положении);

v_3 – элемент отключения x_1 .

При корректной записи в таблице включения «вес» в последнем такте должен равняться «0».

Таблица 2.6

Таблица включений ИЭ x_1

Э	Вес Э	Такты										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_1	1	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
z'_c	2	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
v_3	4	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
v_1	8	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
v_2	16	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Вес схемы		0	8	24	26	27	25	29	28	24	16	0

Частная таблица включений проверяется на реализуемость в интервале цикла работы элемента X_1 (такты 3, 4, 5). Если алгоритм ТП реализуем, то с помощью его элементов можно сделать реализуемыми и все полученные из него частные таблицы включения, что и видно из данной частной таблицы включений.

С целью упрощения анализа частной таблицы включения элемента обозначим:

- такт, предшествующий такту включенного состояния ИЭ — тактом срабатывания (такт 3);
- такт, предшествующий такту отключенного состояния ИЭ — тактом отпускания (такт 6);
- такты включенного состояния ИЭ называются рабочими тактами ИЭ (такты 3–6), остальные такты — холостыми.

Реализуемость схемы управления без дополнительных элементов характеризуется повторяемостью весового состояния схемы. В данном случае весовое состояние не повторяется, и схема может быть реализована без дополнительных элементов.

Представленная в таблице запись тактов не совсем удобна для ее чтения. В дальнейшем в таблицах включений знаками «-» и «+» будем обозначать такты срабатывания элементов, а промежутки между этими тактами заполнять знаками не будем.

Для удобства анализа таблиц при разработке схем удобно также таблицы включений размещать рядом с таблицами покрытий (описание будет приведено далее в тексте).

Из структурной теории релейных устройств известна следующая общая формула для определения первоначальной структуры какого-либо элемента X :

$$f(x) = f_{cp}(x) + X \cdot \overline{f_{отп}}(x), \quad (2.54)$$

где f_{cp} — логическое произведение контактов элементов в тактах срабатывания, обеспечивающее замкнутую цепь элемента, для которого определяется структурная формула (контакт ИЭ в f_{cp} не входит);

$f_{отп}$ — логическое произведение контактов элементов в такте отпускания, обеспечивающее в этом такте замкнутую цепь элемента, для которого определяется структурная формула (контакт этого элемента в $f_{отп}$ не входит).

Определим цепь включения ИЭ X_1 по таблице включений. ИЭ X_1 в такте срабатывания включается тогда, когда для логического произведения контактов этого такта у элементов z'_1 , v_1 и v_2 будут использованы замыкающие контакты (элемент v_1 замкнется в такте 1, элемент v_2 — в такте 2, z_1 — такте 3), а у элемента v_3 будет использован замкнутый контакт.

Таким образом, $f_{cp}(x) = z'_1 \cdot \overline{v_3} \cdot b_1 \cdot b_2$

В тактах рабочего хода ИЭ X_1 элементы z_1 и v_3 изменили свое состояние, а элементы v_1 и v_2 остались в прежнем состоянии, поэтому структурная формула в такте отпускания будет иметь вид:

$$f_{отп}(x_1) = \overline{z'_1} \cdot b_3 \cdot b_1 \cdot b_2,$$

а полная структурная формула цепи управления ИЭ X_1 :

$$f(x_1) = z'_1 \cdot \overline{v_3} \cdot b_1 \cdot b_2 + \overline{z'_1} \cdot b_3 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot X_1.$$

Используя основные законы алгебры логики произведем преобразование структурной формулы контактов ИЭ X_1

$$f(x_1) = z'_1 \cdot \overline{v_3} \cdot b_1 \cdot b_2 + z'_1 \cdot X_1 + \overline{v_3} \cdot X_1 + \overline{v_3} \cdot X_1 + \overline{v_3} \cdot X_1$$

В результате преобразований получена структурная формула контактов ИЭ X_1 , состоящая из пяти параллельных цепей.

Для упрощения первоначальной структурной формулы контактов ИЭ X_1 можно воспользоваться **таблицей покрытия**. Ее назначение – исключить из первоначальной структурной формулы ИЭ лишние слагаемые (которые или не реализуют какие-либо такты, или реализуют их с помощью дополнительных слагаемых структурной формулы). Таблицы покрытия строятся следующим образом: в горизонтальных строках левого столбца выписываются все суммы произведений, имеющиеся в первоначальных структурных формулах элементов, а в вертикальных столбцах – номера тактов включенного состояния данного элемента, в том числе и такта срабатывания. Такт отпущения ИЭ в таблицу покрытий не входит.

Далее определяется, какими тактами реализуется каждое произведение структурной формулы, и в тех тактах, где данное произведение вызывает замкнутую цепь для элемента, ставят знак «X». Произведения, в строках которых нет ни одного знака «X», исключаются из первоначальной структурной формулы, так как они не реализуют ни одного такта.

Произведения, знаки «X» которых перекрываются такими знаками другого произведения, также могут быть исключены, так как для каждого из тактов включенного состояния ИЭ достаточно замыкание всего одной цепи.

Воспользовавшись частной таблицей включений ИЭ X_1 и полученной первоначальной структурной формулой ($f(x_1)$), построим таблицу покрытия для ИЭ X_1 и произведём минимизацию первичной структурной формулы элементов.

Таблица 2.7
Таблица покрытия ИЭ X_1

№	Цепи	Такты			
		3	4	5	6
1	$z'_0 \cdot \bar{b}_3 \cdot b_1 \cdot b_2$	x	x	-	-
2	$\bar{b}_3 \cdot x_1$	-	x	x	x
3	$\bar{b}_1 \cdot x_1$	-	-	-	-
4	$\bar{b}_2 \cdot x_1$	-	-	-	-
5	$z'_0 \cdot x_1$	-	x	-	-

Цепочка контактов 1 обеспечит замкнутую цепь в тактах 3 и 4 в соответствии с записью начального условия $f_{cp}(x_1)$. В такте 5 элемент z'_0 меняет свое состояние, т.е. цепь размыкается.

Цепочка контактов 2 в такте 3 будет разомкнута, так как ИЭ X_1 включается в такте 4, в этом же такте замкнется и его контакт в цепочке 2 в тактах 4–6 обеспечит замкнутую цепь.

Цепочки 3 и 4 не обеспечивают замкнутую цепь ни в одном такте, так как контакты \bar{b}_1 и \bar{b}_2 являются инверсными контактам θ_1 и θ_2 , которые в тактах 3–6 замкнуты, значит \bar{b}_1 и \bar{b}_2 в этих тактах разомкнуты.

Таким образом, замкнутую цепь в тактах 3–6 обеспечат две параллельно соединенные цепочки контактов

$$f(x_1) = z'_0 \cdot \bar{b}_3 \cdot b_1 \cdot b_2 + \bar{b}_3 \cdot x_1 = \bar{b}_3 \cdot (z'_0 \cdot b_1 \cdot b_2 + x_1),$$

при этом обеспечивается «перехват».

В данном случае перехват происходит в такте 4, когда цепочка 1 еще не разомкнулась, а цепочка 2 уже замкнута.

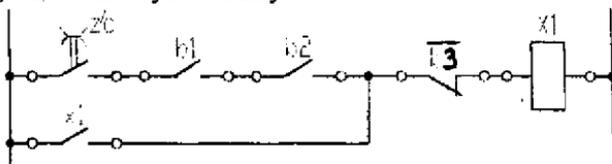


Рис. 2.20 Принципиальная схема ИЭ X_1

Проанализируем работу схемы. Включение ИЭ X_1 произойдет при замыкании контакта z'_c и выполнении двух условий – заполнения Б кормом (при этом замкнется контакт σ_2) и установки К под Б (замкнется контакт σ_1). Задвижка бункера начнет открываться. Контакты z'_c и σ_2 разомкнутся, однако ИЭ X_1 не отключится, так как цепь элементов z'_c , σ_1 , σ_2 будет заблокирована блок контактом X_1 . Электрическая цепь $\bar{b}_3 \cdot x_1$ разомкнется после полного открытия заслонки и размыкания контакта σ_3 .

Повторного открытия заслонки после заполнения БК и закрытия заслонки не должно произойти, так как контакт z'_c будет находиться в разомкнутом состоянии.

Для ИЭ X_2 :

Таблица 2.8

Таблица включений ИЭ X_2

Э	Вес	Такты						
		0	1	2	3	4	5	6
X_2	1	-			+		-	
b_4	2			+				
b_5	4	-	+			-		-
«Вес» схемы		0	4	6	7	3	2	0

Таблица 2.9

Таблица покрытий ИЭ X_2

№	Цепи	Такты	
		2	3
1	$b_4 \cdot b_5$	x	x
2	$\bar{b}_4 \cdot x_2$	-	-
3	$b_5 \cdot x_2$	-	x

$$f_{\sigma}(x_2) = b_4 \cdot b_5; \quad f_{om}(x_2) = b_4 \cdot \bar{b}_5; \quad f(x_2) = b_4 \cdot b_5 + \bar{b}_4 \cdot \bar{b}_5 \cdot X_2;$$

$$f_{\lambda}(x_2) = b_4 \cdot b_5; \quad f_{\lambda}(x_2) = b_4 \cdot \bar{b}_5$$



Рис. 2.21 Принципиальная схема ИЭ X_2

Для ИЭ X_3 :

Таблица 2.10

Таблица включений ИЭ X_3

Э	Вес	Такты								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
X_3	1	-				+			-	
b_5	2	-	+		-					
b_7	4	-						+		-
b_4	8	-		+			-			
«Вес» схемы		0	2	10	8	9	1	5	4	0

Таблица 2.11

Таблица покрытий ИЭ X_3

№	Цепи	Такты		
		3	4	5
1	$b_4 \cdot b_5 \cdot \bar{b}_7$	x	x	-
2	$\bar{b}_5 \cdot x_3$	-	-	-
3	$b_4 \cdot x_3$	-	x	-
4	$\bar{b}_7 \cdot x_3$	-	x	x

Элемент b_4 введен в таблицу включений затем, чтобы в начальный момент незагруженный К не начал перемещаться к кормушкам.

$$f_{\text{пр}}(x_3) = b_4 \cdot b_5 \cdot \bar{b}_7, \quad f_{\text{от}}(x_3) = b_4 \cdot \bar{b}_4 \cdot b_7, \quad f(x_3) = b_4 \cdot b_5 \cdot \bar{b}_7 + (\bar{b}_5 + b_4 + \bar{b}_7) \cdot X_3,$$

$$f(x_3) = b_4 \cdot b_5 \cdot \bar{b}_7 + \bar{b}_7 \cdot X_3 = \bar{b}_7 \cdot (b_4 \cdot b_5 + X_3).$$

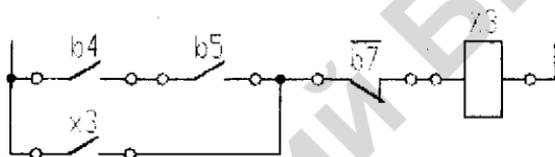


Рис. 2.22 Принципиальная схема ИЭ X_3

Для ИЭ X_5 :

Таблица 2.12

Таблица включений ИЭ X_5

Э	Вес	Такты								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
X_5	1	-		+			-			
b_6	2	-	+		-				+	-
b_7	4	-				+		-		
«Вес» схемы		0	2	3	1	5	4	0	2	0

В данном случае за цикл работы оборудования, весовое состояние схемы 2 повторяется при рабочем и холостом ходу ИЭ X_5 . Это происходит в результате того, что при первом «+» срабатывании в такте 1 происходит включение ИЭ X_5 , а в такте 7 при таком же срабатывании θ_6 ИЭ X_5 не включается. В таком случае в таблицу включения следует ввести командный элемент, который при включенном и отключенном ИЭ X_5 имел разное состояние. Такими элементами могут быть X_3 или X_4 .

Таблица 2.13

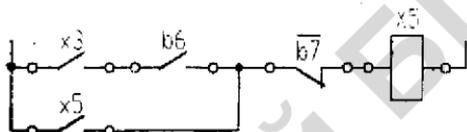
Таблица включений ИЭ X_5

Э	Вес	Такты										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_3	1	-			+			-				
b_6	2	-		+		-				+	-	
b_7	4	-	-				+			-		
X_5	8	-	+						-			
«Вес» схемы		0	8	10	11	9	13	12	4	0	2	0

Значения веса в тактах не повторяются.

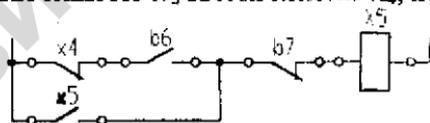
$$f_{\text{пр}}(x_5) = x_3 \cdot b_6 \cdot \bar{b}_7, \quad f_{\text{обр}}(x_5) = x_3 \cdot \bar{b}_6 \cdot b_7, \quad f(x_5) = x_3 \cdot b_6 \cdot \bar{b}_7 + (\bar{x}_3 + b_6 + \bar{b}_7) \cdot X_5;$$

$$f(x_5) = x_3 \cdot b_6 \cdot \bar{b}_7 + \bar{b}_7 \cdot (x_3 \cdot b_6 + X_5).$$

Рис. 2.23 Принципиальная схема ИЭ X_5

При прямом движении кормораздатчика сначала замыкается контакт X_3 , и при замыкании b_6 включается ИЭ X_5 , и своим контактом блокирует цепочку контактов $X_3 \cdot b_6$ и, таким образом, при размыкании этого контакта ИЭ X_5 не выключается. Цепь размыкается при размыкании контакта b_7 . При обратном движении кормораздатчика замыкание контакта b_6 не вызовет включение ИЭ X_5 , так как контакт X_3 разомкнут.

Если в таблицу включения ИЭ X_5 ввести элемент X_4 , получим схему:

Рис. 2.24 Принципиальная схема ИЭ X_5

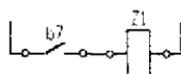
Для ИЭ Z_1 :

Таблица 2.15

Таблица включений ИЭ Z_1

Э	Вес	Такты				
		0	1	2	3	4
Z_1	1	-		+		-
b_7	2	-	+		-	
«Вес» схемы		0	2	3	1	0

$$f(Z_1) = b_7$$

Рис. 2.25 Принципиальная схема ИЭ Z_1

Для ИЭ X_4 :

Таблица 2.16

Таблица включений ИЭ X_4

Э	Вес	Такты					
		0	1	2	3	4	5
X_4	1	-		+			-
z_1	2	-	+		-		
b_1	4	-				+	
«Вес» схемы		0	2	3	1	5	4

Таблица 2.17

Таблица покрытий ИЭ X_4

№	Цели	Такты		
		1	2	3
1	$\bar{b}_1 \cdot z_1$	x	x	-
2	$\bar{b}_1 \cdot x_4$	-	x	x
3	$z_1 \cdot x_4$	-	x	-

$$f_{cp}(x_4) = \bar{b}_1 \cdot z_1; \quad f_{om}(x_4) = b_1 \cdot \bar{z}_1; \quad f(x_4) = \bar{b}_1 \cdot z_1 + \bar{b}_1 \cdot X_4 + z_1 \cdot X_4;$$

$$f(x_4) = \bar{b}_1 \cdot (z_1 + X_4).$$

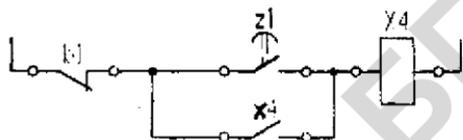


Рис. 2.26 Принципиальная схема ИЭ X_4

Полная структурная схема САУ ТП состоит из структурных схем отдельных исполнительных механизмов (рис. 2.27).

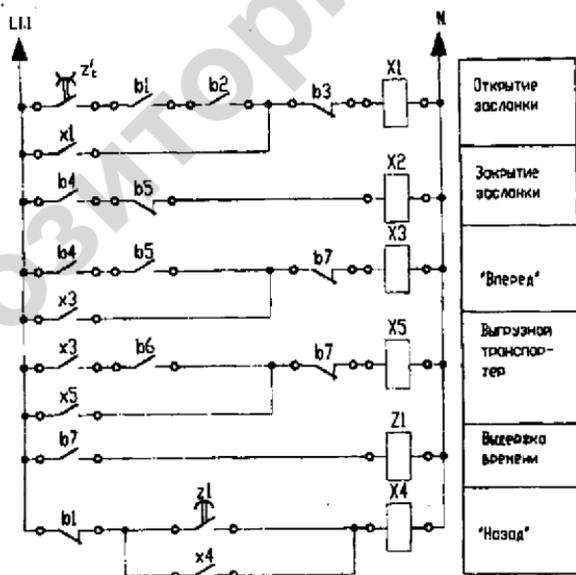


Рис. 2.27 Структурная схема САУ ТП

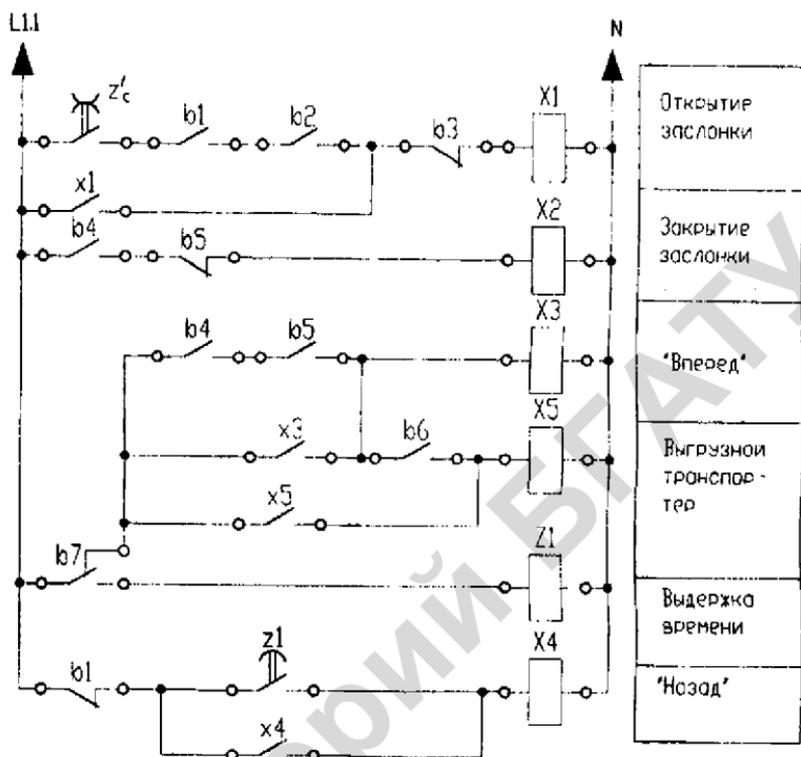


Рис. 2.28 Структурная схема САУ технологический процесс после минимизации

Рассмотрим вариант реализации РКС в случае, когда одним командным аппаратом производится управление двумя и более исполнительными механизмами, например, когда пуск кормораздагчика осуществляется вручную и он совершает возвратно-поступательное движение и останавливается в исходном положении (рис. 2.29).



Рис. 2.29 Технологическая схема раздачи корма

Если в результате анализа веса схемы окажется, что вес состояний во всех тактах алгоритма различен, то таблица включения реализуема, т.е. для

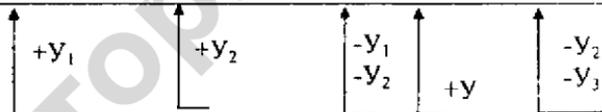
данного цикла схема может быть выполнена без применения дополнительных цикловых промежуточных элементов. Если же в тактах алгоритма включения имеются повторения весов состояний, происходит нарушение причинно-следственной связи и такой алгоритм является нереализуемым без дополнительных промежуточных элементов, которые должны имитировать ИМ и восстановить цепочку причинно-следственной связи.

При этом, включение и выключение промежуточных элементов в алгоритме выбирается таким образом, чтобы перекрыть такты с одинаковыми весовыми состояниями. При введении в таблицу включения промежуточных элементов необходимо иметь в виду, что промежуточный элемент никогда не должен изменять своего состояния сразу после нереализуемого такта. После него обязательно должен быть пропущен хотя бы один такт с другим весовым состоянием, и только после этого можно включить или выключить промежуточный элемент.

Таблица 2.18

Алгоритм функционирования системы

Такты	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вес элемента	2	0	1	2	1	4	4	2	8	4	4	8
Алгоритм	3	-	$\uparrow a - \uparrow x_1 - \downarrow a - \uparrow b_1 - \downarrow b_1 - \downarrow x_1 - \uparrow x_2 - \uparrow b_1 - \downarrow b_1 - \downarrow x_2$									
Вес схем	4	0	1	3	2	6	2	0	8	12	8	0



В алгоритме функционирования нереализуемыми тактами являются такты 0 и 6, 3 и 5, а также 7 и 9.

Если после такта 1 включить Y_1 , а после такта 7 его выключить, а также соответственно включить и выключить Y_2 и Y_3 , то зоны нереализуемости устраняются, что видно из записи алгоритма.

Такты	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
вес элемента	0	1	2	4	1	8	16	8	4	32	2/16	8	64	8	32	64
алгоритм	-	$\uparrow a - \uparrow y_1 - x_1 - \downarrow a - \uparrow b_1 - \uparrow y_2 - \downarrow b_1 - \downarrow x_1 - \uparrow x_2$								$\downarrow y_1$	$\downarrow y_2$	$\uparrow b_1 - \uparrow y_3 - \downarrow b_1 - \downarrow x_2 - \downarrow y_3$				
вес схемы	0	1	3	7	6	14	30	22	18	50	32	40	104	96	64	0

Произведем разработку РКС для полученного алгоритма:

1. Структурная схема промежуточного реле

Таблица 2.19

Таблица включений
промежуточного реле Y_1

Элемент	Вес	Такты						
		0	1	2	3	4	5	6
Y_1	1	-		+			-	
a	2	-	+		-			
x_2	4	-				+		-
Вес схемы		0	2	3	1	5	4	0

$$f_{\text{пр}}(Y_1) = a \cdot \bar{x}_2; \quad f_{\text{ом}}(Y_1) = \bar{a} \cdot x_2;$$

$$f(Y_1) = a \cdot \bar{x}_2 + \bar{a} \cdot x_2 \cdot Y_1 = a \cdot \bar{x}_2 + a \cdot Y_1 + \bar{x}_2 \cdot Y_1;$$

$$f(Y_1) = a \cdot \bar{x}_2 + Y_1 \cdot \bar{x}_2 = (a + Y_1) \cdot \bar{x}_2; \quad f(Y_1) = f(Y_1),$$

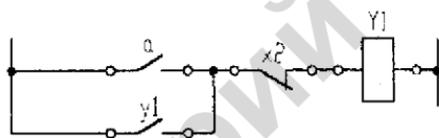


Рис. 2.30 Принципиальная схема ИЭ Y_1

2. Структурная схема ИМ X_1

Таблица 2.21

Таблица включений ИМ X_1

Элемент	Вес	Такты								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
X_1	1	-		+				-		
y_1	2	-	+							-
b_1	4	-			+		-			
y_2	8	-				+			-	
Вес схемы		0	2	3	7	15	11	10	2	0

$$f_{\text{пр}}(X_1) = y_1 \cdot \bar{b}_1 \cdot \bar{y}_2; \quad f_{\text{ом}}(X_1) = y_1 \cdot \bar{b}_1 \cdot y_2;$$

$$f(X_1) = y_1 \cdot \bar{b}_1 \cdot \bar{y}_2 + \bar{y}_1 \cdot x_1 + b_1 \cdot x_1 + \bar{y}_2 \cdot x_1;$$

$$f(X_1) = y_1 \cdot \bar{b}_1 \cdot \bar{y}_2 + b_1 \cdot x_1 + \bar{y}_2 \cdot x_1;$$

Таблица 2.20

Таблица покрытий
промежуточного реле Y_1

Схема	Такты		
	1	2	3
$a\bar{x}_2$	x	x	-
aY_1	-	x	-
\bar{x}_2Y_1	-	x	x

Таблица 2.22

Таблица покрытий ИМ X_1

Схема	Такты			
	1	2	3	4
$y_1 \cdot \bar{b}_1 \cdot \bar{y}_2$	x	x	-	-
$\bar{y}_1 \cdot x_1$	-	-	-	-
$b_1 \cdot x_1$	-	-	x	x
$\bar{y}_2 \cdot x_1$	-	x	x	-

$$f(X_1)_n = y_1 \cdot b_1 \cdot \overline{y_2} + \overline{b_1} \cdot x_1 + \overline{y_2} \cdot x_1 = y_1 \cdot b_1 \cdot \overline{y_2} + (\overline{b_1} + \overline{y_2}) \cdot x_1$$

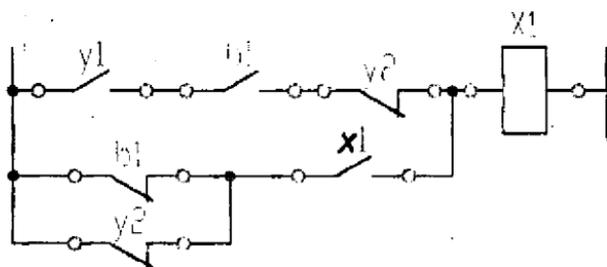


Рис. 2.31 Принципиальная схема ИЭ X_1

3. Структурная схема промежуточного реле Y_2

Таблица 2.23

Таблица включений
промежуточного реле Y_2

Элемент	Вес	Такты								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
y_2	1	-		+						
b_1	2	-		+		-			+	-
x_1	4	-	+			-				
Вес схемы		0	4	6	7	5	1	0	2	0

Таблица 2.24

Таблица покрытий
промежуточного реле Y_2

Схема	Такты		
	2	3	4
$b_1 \cdot x_1$	x	x	-
$b_1 \cdot y_2$	-	x	-
$x_1 \cdot y_2$	-	x	x

$$f_{\text{сп}}(y_2) = b_1 \cdot x_1; \quad f_{\text{см}}(y_2) = \overline{b_1} \cdot \overline{x_1};$$

$$f(y_2) = b_1 \cdot x_1 + b_1 \cdot y_2 + x_1 \cdot y_2; \quad f(y_2)_n = x_1 \cdot (b_1 + y_2)$$

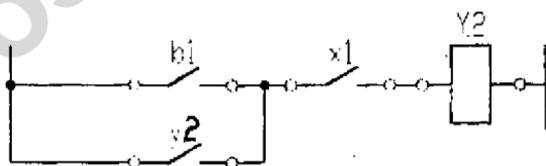


Рис. 2.32 Принципиальная схема ИЭ Y_2

4. Структурная схема ИМ X_2

Таблица 2.25

Таблица включения ИМ X_2

Элемент	Вес	Такты											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X_2	1	-					+					-	
y_1	2	-	+					-					
y_2	4	-			+			-					
b_1	8	-		+		-			+		-		
y_3	16	-								+			-
Вес схемы		0	2	10	14	6	7	1	9	25	17	16	0

Таблица 2.26

Таблица покрытий ИМ X_2

Схема	Такты				
	4	5	6	7	8
$b_1 \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$	x	x	-	-	-
$b_1 \cdot x_2$	-	-	-	x	x
$y_1 \cdot x_2$	-	x	-	-	-
$y_2 \cdot x_2$		x	-	-	-
$\overline{y_3} \cdot x_2$		x	x	x	-

$$f_{\text{ап}}(X_2) = \overline{b_1} \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot \overline{y_3}; \quad f_{\text{отн}} = \overline{b_1} \cdot \overline{y_1} \cdot \overline{y_2} \cdot y_3;$$

$$f(X_2) = \overline{b_1} \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot \overline{y_3} + b_1 \cdot x_2 + y_1 \cdot x_2 + y_2 \cdot x_2 + \overline{y_3} \cdot x_2;$$

$$f(X_2)_n = b_1 \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot \overline{y_3} + b_1 \cdot x_2 + y_1 \cdot x_2 + y_2 \cdot x_2 + \overline{y_3} \cdot x_2;$$

$$f(X_2)_n = b_1 \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot \overline{y_3} + (b_1 + y_1) \cdot x_2$$

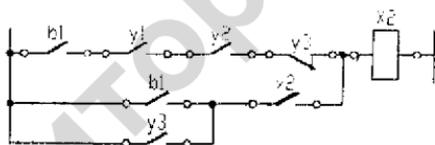


Рис. 2.33 Принципиальная схема ИЭ X_2

5. Структура схемы промежуточного реле Y_3

Таблица 2.27

Таблица включения промежуточного реле Y_3

Эл-т	Вес	Такты						
		0	1	2	3	4	5	6
y_1	1	-				+		-
x_2	2	-	+					-
b_1	4	-			+		-	
Вес схемы		0	2	6	7	3	1	0

Таблица 2.28

Таблица покрытий промежуточного реле Y_3

Схема	Такты		
	2	3	4
$b_1 \cdot x_2$	x	x	-
$\overline{b_1} \cdot y_3$	-	x	-
$\overline{x_2} \cdot y_3$	-	x	x

$$f_{\text{ом}}(y_3) = b_1 \cdot x_2; \quad f_{\text{ом}}(y_3) = \overline{b_1} \cdot \overline{x_2};$$

$$f(y_3) = b_1 \cdot x_2 + \overline{b_1} \cdot \overline{x_2} \cdot y_3 = b_1 \cdot x_2 + b_1 \cdot y_3 + x_2 \cdot y_3$$

$$f(y_3)_n = (\overline{b_1} + y_3) \cdot x_2$$

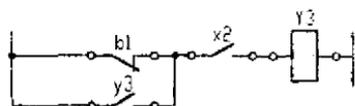
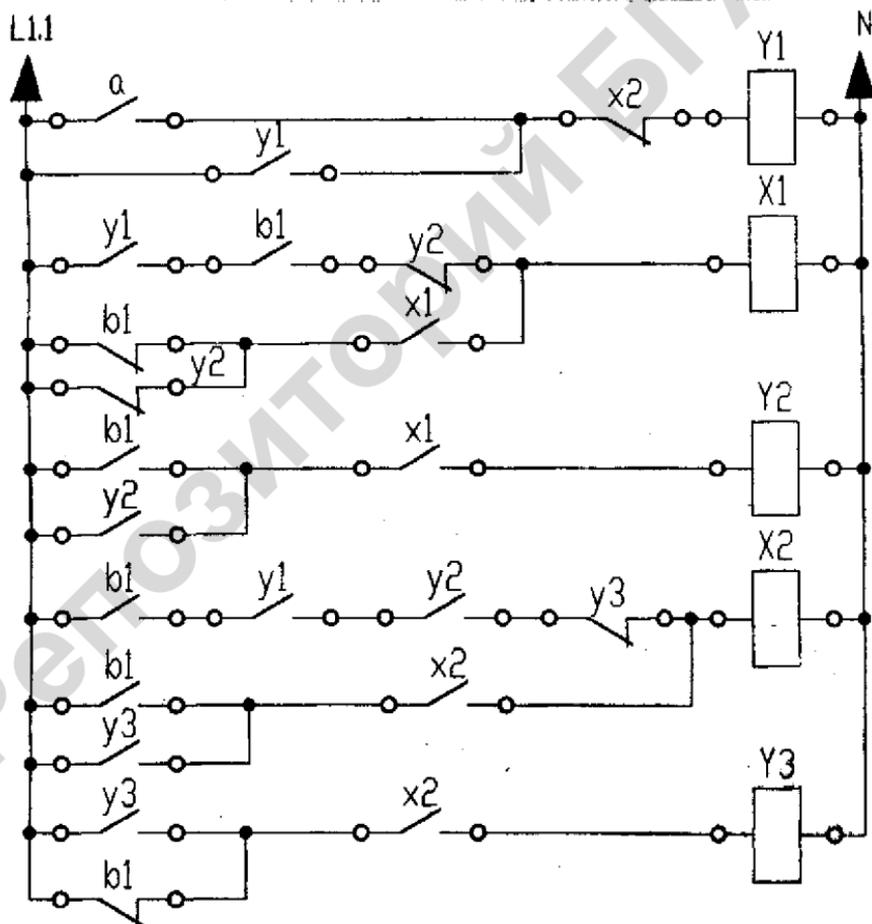
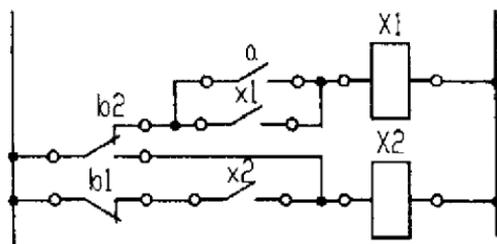


Рис. 2.34 Принципиальная схема ИЭ Y_3

Полная структурная схема управления приводом кормораздатчика при использовании в САУ кнопки и одного конечного выключателя будет иметь вид:



При использовании двух конечных выключателей составлена схема:



В настоящее время имеется обширная литература, посвященная синтезу релейных схем автоматики, позволяющая кроме разработки обеспечивать минимизацию схемы, однако сокращение командных аппаратов усложняет схему управления и увеличивает затраты на технические средства, что видно из сравнения схем, а также уменьшает надежность работы САУ. Схемы первого типа целесообразно использовать в автоматах, где имеют значение линейные расстояния между позициями срабатывания конечных выключателей. При отсутствии таких требований, целесообразно использовать более простые схемные решения.

2.2.4 Разработка устройств управления на логических элементах

Описание дискретных систем логическими функциями. Данный способ основан на применении аппарата булевой алгебры и позволяет получить аналитическое выражение для логической функции $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, которое затем применяется при разработке принципиальных схем автоматики. Булева алгебра оперирует с логическими переменными. С ее помощью задают любую логическую функцию, используя элементарные логические операции И, ИЛИ, НЕ.

Операция И (конъюнкция) обозначается точкой (\cdot), которая может опускаться при записи, или символом \wedge , например $Y = x_1 \cdot x_2 = x_1 x_2 = x_1 \wedge x_2$.

Операция И для двух переменных определяется таблицей истинности (табл. 2.29).

Операция И легко обобщается на случай n логических переменных. А именно, переменная $y = x_1 x_2 \dots x_n$ равна логической 1 только тогда, когда значение каждой переменной x_1, x_2, \dots, x_n равно логической 1, иначе $y = 0$. Логические функции и устройства (логические элементы), реализующие операции И, на схемах изображаются в виде прямоугольника, в левом верхнем углу которого помещен знак конъюнкции «&» (рис. 2.35).

Таблица 2.29

Таблица истинности для операции И (случай двух аргументов)

x_1	x_2	$y = x_1 x_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

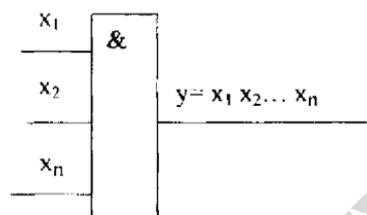


Рис. 2.35 Условное графическое изображение элемента И с n входами

Операция ИЛИ (дизъюнкция) обозначается знаком (+) или символом V. Операция ИЛИ для двух переменных определяется по табл. 2.30.

Если число входных переменных n , то функции $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ равна логической 1, если хотя бы одно из переменных x_1, x_2, \dots, x_n равна логической 1, иначе $y = 0$. На рис. 2.36 приводится пример условного графического изображения элемента ИЛИ.

Таблица 2.30

Таблица истинности для операции ИЛИ

x_1	x_2	$y = x_1 + x_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

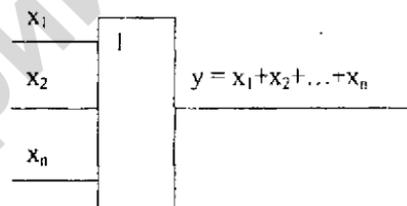


Рис. 2.36 Условное графическое изображение элемента ИЛИ с n входами

Операция НЕ, которую также называют отрицанием или инверсией, обозначается надчеркиванием (инверсия) $y = \bar{x}$ (табл. 2.31). Пример условного графического изображения элемента, реализующего операцию НЕ, представлен на рис. 2.37.

Таблица 2.31

Таблица истинности для операции НЕ

x	y
0	1
1	0

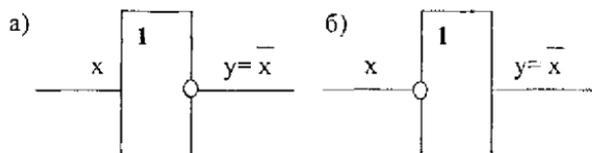
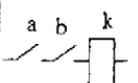
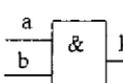
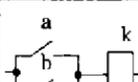
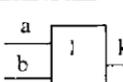
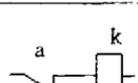
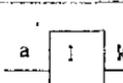
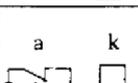
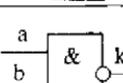
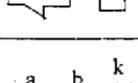
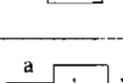


Рис. 2.37 Условное графическое изображение элемента НЕ

Таблица 2.32

Основные функции двух переменных

Функция	Таблица истинности					Символическое обозначение	Содержание логической функции	Структурная формула	Контактная схема	Условное обозначение
	a	b	1	0	0					
Конъюнкция (функция И)	f_1	1	0	0	0	$a \cdot b$	Функция имеет значение 1 тогда, и только тогда, когда и переменная a , и переменная b имеют значение 1	$f_1(k) = a \cdot b$		
Дизъюнкция (функция ИЛИ)	f_2	1	1	1	0	$a + b$	Функция имеет значение 0 тогда, и только тогда, когда обе переменные имеют значение 1	$f_2(k) = a + b$		
Инверсия (функция НЕ a)	f_3	0	0	1	1	\bar{a}	Функция имеет значение, обратное значению переменной a , и не зависит от значения переменной b	$f_3(k) = \bar{a}$		
Штрих Шеффера (функция И-НЕ)	f_4	0	1	1	1	a / b	Функция имеет значение 0 тогда, и только тогда, когда обе переменные имеют значение 1	$f_4(k) = \bar{a} \cdot b$ $f_4(k) = \overline{a \cdot b}$		
Стрелка Пирса (функция ИЛИ-НЕ)	f_5	0	0	0	1	$a \downarrow b$	Функция имеет значение 1 тогда, и только тогда, когда обе переменные имеют значение 0	$f_5(k) = \bar{a} \cdot \bar{b}$ $f_5(k) = \overline{a + b}$		

На практике наряду с элементами И, ИЛИ, НЕ в схемах автоматики используются элементы, реализующие логические функции И–НЕ и ИЛИ–НЕ (табл. 2.32)

Любую логическую функцию можно реализовать, имея элементы только ИЛИ–НЕ или только элементы И–НЕ.

Однако для аналитической записи релейных схем чаще всего используют систему из трех логических функций: инверсии, конъюнкции и дизъюнкции. Логические функции инверсии, конъюнкции и дизъюнкции обладают наиболее простыми и привычными свойствами, почти аналогичными алгебраическим операциям умножения и сложения.

Рассмотрим методику описания РКС в виде элементарных логических функций.

Пример 1. На рис. 2.38 приведена релейно-контактная схема, которую необходимо преобразовать в функциональную в виде логических функций с двумя переменными.

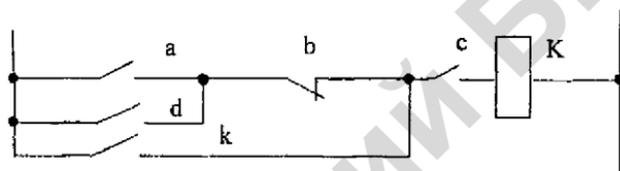


Рис. 2.38 Схема к примеру 1

Запишем структурную формулу контактов исполнительного элемента К

$$f(k) = [(a + d) \cdot \bar{b} + k] \cdot c$$

Запись структурной формулы $f(k)$ в форме логической функции с двумя переменными представлена на рисунке 2.39.

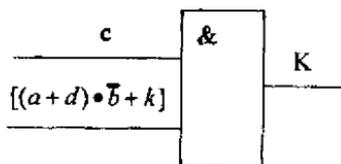


Рис. 2.39 Представление структуры на элементе И

Входная переменная, заключенная в квадратные скобки, в свою очередь, является сложной функцией, состоящей из ряда переменных.

Произведем последовательную замену входной переменной функции $[(a + d) \cdot \bar{b} + k]$ элементарными логическими функциями двух переменных до момента получения на входе элементарных переменных (рис. 2.40).

Таким образом, сложную логическую функцию, представленную, например, в виде релейно-контактной схемы, можно всегда представить в виде элементарных логических функций И, ИЛИ, НЕ.

Методика разработки принципиальных схем на бесконтактных элементах. Электронная промышленность выпускает изделия, которые могут реализовать указанные выше логические функции (см. табл. 2.32) с помощью бесконтактных электронных схем, условное обозначение которых совпадает с обозначением логических функций.

В электронных схемах данного класса применяются сигналы только двух типов — с ВЫСОКИМ и НИЗКИМ уровнями напряжений и называются **цифровыми схемами**.

Логической единице (1) логической функции соответствует напряжение высокого уровня, а логическому нулю — напряжение низкого уровня.

Цифровые схемы изготавливаются с применением ТТЛ и КМОП технологий.

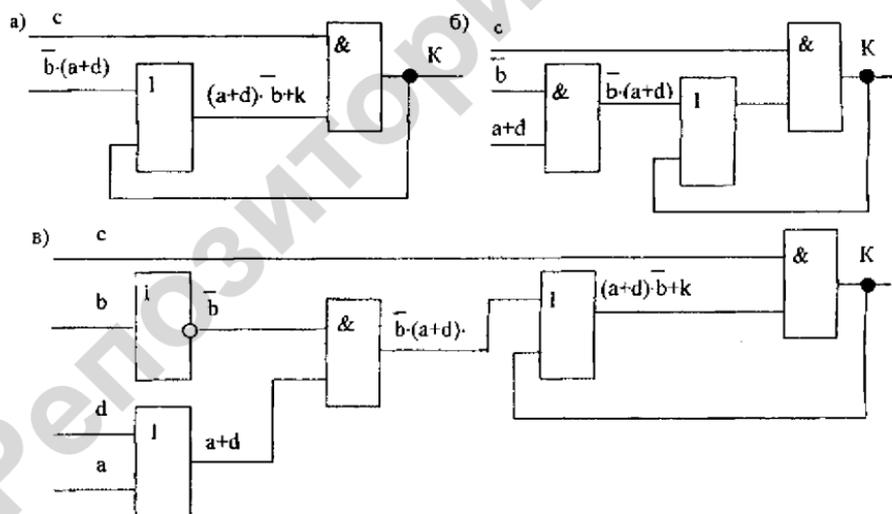


Рис. 2.40 Реализация структуры РКС на логических элементах по этапам: а – первоначальный этап; б – промежуточный этап; в – окончательный этап

ТТЛ схемы относятся к семейству схем **транзисторно-транзисторной** логики. КМОП — это сокращенное название **комплементарных** полупроводниковых приборов со структурой **металл — окисел — полупроводник**. Семейство КМОП-ИС — это широко используемые схемы с очень малым потреблением энергии.

Уровни напряжений для ТТЛ — и КМОП-схем показаны в табл. 2.33 в процентах от полного напряжения источника питания.

Цифровые ТТЛ-схемы работают всегда при напряжении 5 В, в то время как для некоторых типов КМОП-схем необходимы напряжения величиной до 15 В.

Напряжения между 0 до 0,8 В считается низким уровнем, а напряжение от 2 до 5 В для тех же ИС — высоким уровнем. Напряжения между 0,8 и 2 В попадают в неопределенную область и соответствующие сигналы нежелательны для цифровых ТТЛ-схем.

Таблица 2.33

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

ТТЛ	100%	КМОП	Уровень напряжений
ВЫСОКИЙ уровень	90%	ВЫСОКИЙ уровень	Положительное напряжение
	80%		
	70%		
	60%	Неопределенная область	
	50%		
40%			
Неопределенная обл.	30%	НИЗКИЙ уровень	Земля (\perp)
	20%		
Низкий уровень	10%		
	0		

На рис. 2.41 показаны цепи подключения ИС 2ИЛИ семейства ТТЛ. Интегральные схемы содержат элементы, очень похожие на отдельно выпускаемые (дискретные) биполярные транзисторы, диоды, резисторы, что требует для их работы подключения питания (выводы 7 и 14).

При положении контактов тумблеров SA1 и SA2, изображенных на рис. 2.41, на входы ИС 1 и 2 будут подаваться напряжения входного сигнала 0. На выходе ИС появляется напряжение выходного сигнала 0 не более 0,4 В.

При переводе контакта тумблера в нижнее положение на соответствующий вход ИС будет подаваться напряжение входного сигнала 1. На выходе ИС будет напряжение выходного сигнала 1 не менее 2,4 В.

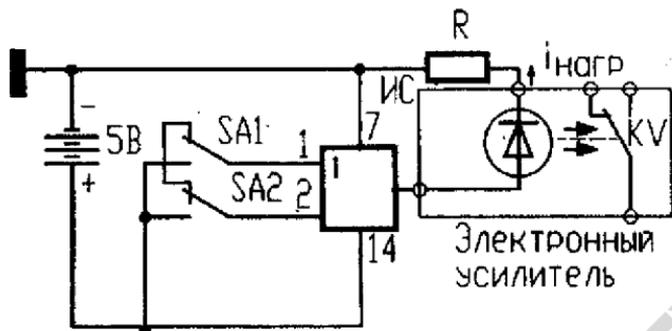


Рис. 2.41 Цепи подключения интегральной схемы 2ИЛИ

При использовании в схеме (рис. 2.41) интегральной схемы 2И, чтобы получить на выходе напряжение выходного сигнала I необходимо перевести в нижнее положение контакты обоих тумблеров.

Интегральные схемы не допускают большой выходной ток в нагрузку, поэтому для сопряжения выхода ИС с исполнительными механизмами используют специальные электронные усилители. Нагрузкой ИС служит фотодиод с рабочим током 2–3 мА.

Выходом электронного усилителя являются контакты или бесконтактный электронный вентиль. При появлении на выходе ИС напряжения выходного сигнала I контакты KV электронного усилителя срабатывают, при появлении сигнала 0 — становятся в исходное положение.

Таким образом, контакты KV могут быть использованы в цепях управления исполнительных механизмов.

Изготовители разработали множество *семейств* (типов) цифровых ИС, представляющих собой наборы схем, которые могут использоваться совместно. Если ИС принадлежит к одному семейству, то говорят, что они совместимы. Такие ИС можно легко соединять друг с другом, как показано на рис. 2.42.

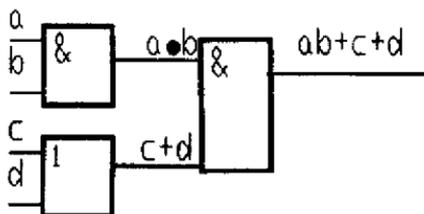


Рис. 2.42 Схема сопряжения интегральных схем одного семейства

Распространенный тип ИС показан на рис. 2.43. Этот тип относят к семейству корпусированных ИС с *двухрядным расположением* 14-ти выводов. На рис. 2.43, а за выемкой или меткой (если двигаться по направлению *против часовой стрелки*) расположен вывод 1. Дальнейшая нумерация вы-

водов осуществляется в направлении против часовой стрелки от 1 до 14, если смотреть на корпус ИС сверху.

Питание на ИС подается через выводы, обозначенные как ОБЩИЙ (вывод 7 — $-U_{пит.с.}$) и $+U_{пит.с.}$ (вывод 14). Все другие выводы являются входами и выходами ТТЛ-элементов.

Количество размещенных в корпусе логических схем зависит от количества входов одной логической схемы.

Изготовители ИС сопровождают свои изделия схемой расположения выводов (рис. 2.43, б-г).

Для примера мы используем широко распространенную ранее и снятую с производства ИС серии К155. Однако функциональные признаки элементов И, ИЛИ, НЕ остаются прежними, и при использовании более современного типа ИС следует только уточнить расположение выводов элементов схемы.

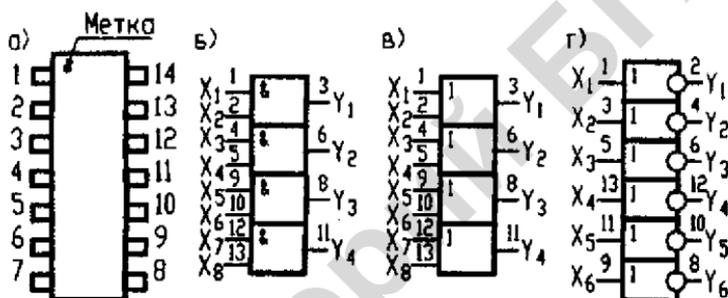


Рис. 2.43 а — маркировка типичной цифровой ИС; б, в, г — схемы расположения выводов цифровых схем К155 ЛИ1, К155 ЛЛ1, К155 ЛН1 соответственно

Произведем разработку устройства управления кормораздатчиком (УУК), функциональная схема которого представлена на рис. 2.44, на интегральных логических схемах.

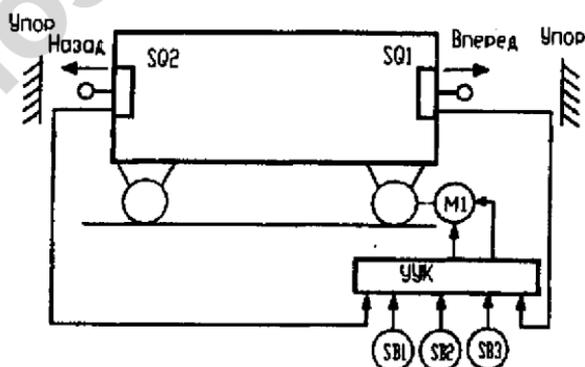


Рис. 2.44 Функциональная схема управления кормораздатчиком

Управление кормораздатчиком производится вручную с помощью кнопок SB1, SB2 и SB3. Останов кормораздатчика автоматический конечными выключателями SQ1 и SQ2.

УУК на релейных элементах представлено на рис. 2.45.

При нажатии кнопки SB1 замыкается цепь питания катушки магнитного пускателя KM1. Магнитный пускатель срабатывает и замыкаются контакты KM1 в цепи электродвигателя М. Кормораздатчик начинает перемещаться «вперед». Замыкаются также контакты KM1.1 и блокируют контакты SB1. Таким образом, при размыкании контактов кнопки SB1 кормораздатчик продолжает перемещаться «вперед». Останов кормораздатчика возможен при размыкании цепи путем ручного воздействия на кнопку SB3, размыкании контакта тепловой защиты электродвигателя КК, а также в крайнем правом положении при воздействии на конечный выключатель SQ1.

Перемещение «назад» осуществляется после замыкания контактов кнопки SB2. Схема работает аналогично. Останов кормораздатчика в крайнем левом положении происходит после срабатывания контактов конечного выключателя SQ2.

Нормально замкнутые контакты KM2.1 и KM1.2 вводятся в цепи катушек магнитных пускателей KM1 и KM2 соответственно для защиты силовой сети реверсивного электропривода от короткого замыкания. В процессе эксплуатации возможны случаи «залипания» магнитной системы пускателей и такое включение контактов KM2.1 и KM1.2 обеспечивает защиту силовой сети от короткого замыкания.

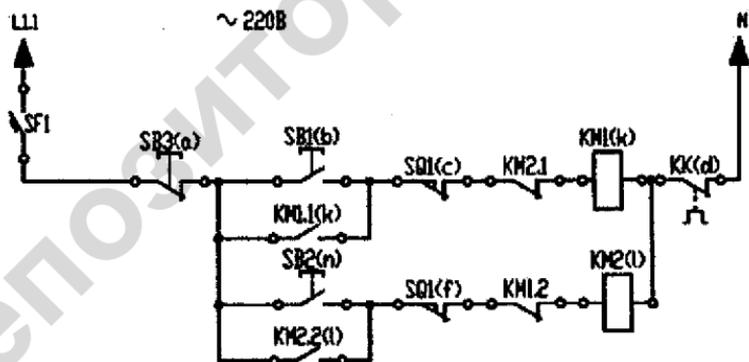


Рис. 2.45 Принципиальная электрическая схема управления перемещением кормораздатчика

Обозначим элементы принципиальной схемы буквами алфавита (*a, b, c, d, e, f, n*) и произведем запись структурных формул контактных исполнительных элементов *k* и *l*:

$$f(k) = [\bar{a} \cdot \bar{d}] \cdot [\bar{c} \cdot (b+k)];$$

$$f(l) = [\bar{a} \cdot \bar{d}] \cdot [\bar{f} \cdot (n+l)].$$

Переменные КМ2.1 и КМ1.2 логических функций в структурные формулы ИЭ не входят, так как обладают меньшим быстродействием по сравнению с остальными логическими переменными. Для обеспечения защиты от токов короткого замыкания при реверсе электродвигателя эти контакты следует подключать последовательно с соответствующими катушками магнитных пускателей.

Функциональная схема логического блока, разработанная в соответствии со структурными формулами контактов исполнительных элементов k и l кормораздатчика, приведена на рис. 2.46.

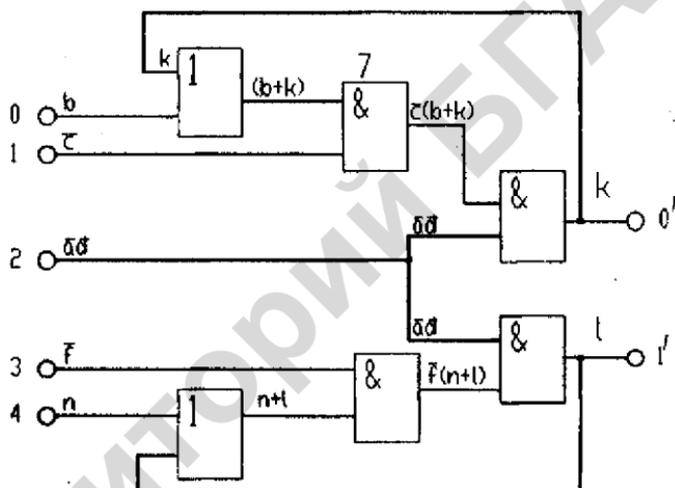


Рис. 2.46 Функциональная схема логического блока управления кормораздатчиком

При разработке принципиальной электрической схемы в соответствии с функциональной схемой следует учитывать, что обозначение логической переменной без инверсии (b, n) соответствует напряжению НИЗКОГО уровня, подаваемого на соответствующий вход логической ИС, а обозначение логической переменной с инверсией ($\bar{c}, \bar{a}, \bar{d}, \bar{f}$) — напряжению ВЫСОКОГО уровня.

На рис. 2.47 приведена принципиальная электрическая схема управления кормораздатчиком на логических ИС, которые смонтированы на печатной плате. Схема является аналогом релейно-контактной схемы (рис. 2.45).

Нами была приведена методика перевода релейно-контактных схем на бесконтактные на примере простой логической системы управления. Это позволяет нам проанализировать работу схемы и убедиться в ее работоспособности не прибегая к физическому моделированию. Предположим, что в ис-

ходном состоянии сигналы на катушках магнитных пускателей отсутствуют и контакты командных аппаратов находятся в таком состоянии, как показано на рис. 2.47, при этом напряжение логической единицы подается на выводы 10, 12 ИС D2 и выводы 2,4 ИС D1. Сигналы логической единицы на выводах 8, 12 ИС D2 отсутствуют, так как отсутствуют сигналы логической 1 на входах 9 и 13 ИС D2. При замыкании контактов SB1, на вход 2 ИС D1 подается сигнал логической 1. Сигнал логической единицы появляется на выходе 3 ИС D1 и соответственно на выходе 1 ИС D2, а затем на выходе 3 ИС D2, входе 9 ИС D2 и в конечном счете на входе 8 ИС D2. Сигнал усиливается и подается на катушку магнитного пускателя KM1. Сигнал логической единицы также с выхода 8 ИС D2 подается на вход 1 ИС D1 и тем самым блокирует сигнал логической единицы на входе 2 ИС D1, т.е. при размыкании контактов SB1 сигнал логической единицы сохраняется на выходе 3 ИС D2 и соответственно на выходе 8 ИС D2. Для снятия сигнала логической единицы с выхода 8 ИС D2 достаточно кратковременно разомкнуть один из контактов SQ1, SB3 или KK, при этом с ИС D1.1 снимается блокировка и схема становится в исходное состояние.

Аналогично работает и нижняя часть принципиальной схемы на рис. 2.47.

На интегральных схемах могут быть выполнены и такие функциональные узлы, как: «часы», реле времени, счетчики и др., функцию которых в релейно-контактных схемах выполняют дорогостоящие приборы.

Бесконтактные логические элементы не имеют движущихся частей, обладают высокой надежностью и быстродействием, не требуют наладки и регулировки в процессе эксплуатации и хорошо себя зарекомендовали в установках со сложными системами управления логического типа и с большим числом оперативных переключений.

Распространенными исполнительными элементами являются контактные аппараты: контакторы, магнитные пускатели, соленоиды приводов, электромагниты исполнительных механизмов и т.п. Для повышения надежности в качестве исполнительных механизмов в последнее время стали широко применяться тиристорные пускатели.

Недостаток схем на бесконтактных элементах, как и релейно-контактных в том, что они собираются по принципу «жесткой логики», т.е. соединение элементов схемы между собой определяется алгоритмом управления технологическим процессом. Этот недостаток отсутствует в системах управления с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК).

Контакты командных приборов	Устройство управления на логических ИС	Катушки магнитных пускателей ИМ
-----------------------------	--	---------------------------------

Печатная плата

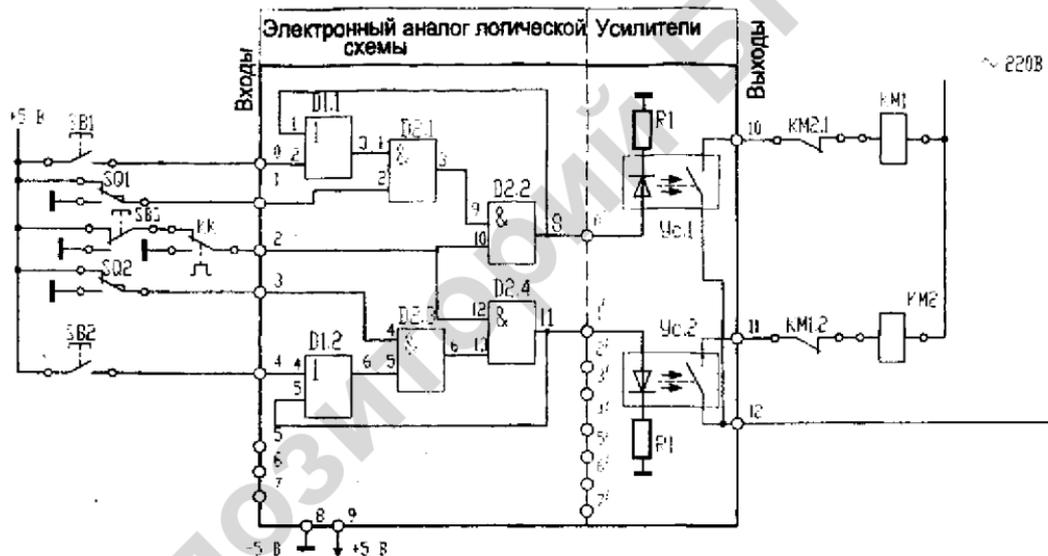


Рис. 2.47 Принципиальная электрическая схема управления перемещением кормораздатчика (цепи питания ИС на схемах не показывают)

2.2.5 Программируемые логические контроллеры в системах управления оборудованием технологических линий

Структура САУ ТП с использованием микроЭВМ. С появлением микропроцессоров (МП), являющихся основным элементом микроЭВМ, появилась новая техническая база для автоматизации производства.

Использование микроЭВМ привело к расширению возможностей, изменению состава и способов разработки, уменьшению габаритов систем управления.

Рассмотрим структуру микропроцессорной системы управления оборудованием технологической линии, представленной на рис. 2.48.

Устройство управления в данной системе включает вычислительную систему. Алгоритмы управления реализованы в виде программ, хранящихся в памяти микроЭВМ контроллера. Интерфейсные блоки и УСО предназначены для связи с ОУ (главными и вспомогательными приводами и электроавтоматикой объекта) и периферийным оборудованием (пультом оператора, дисплеем, другой микроЭВМ); пульт оператора — для выдачи команд в микроЭВМ на специальном языке.

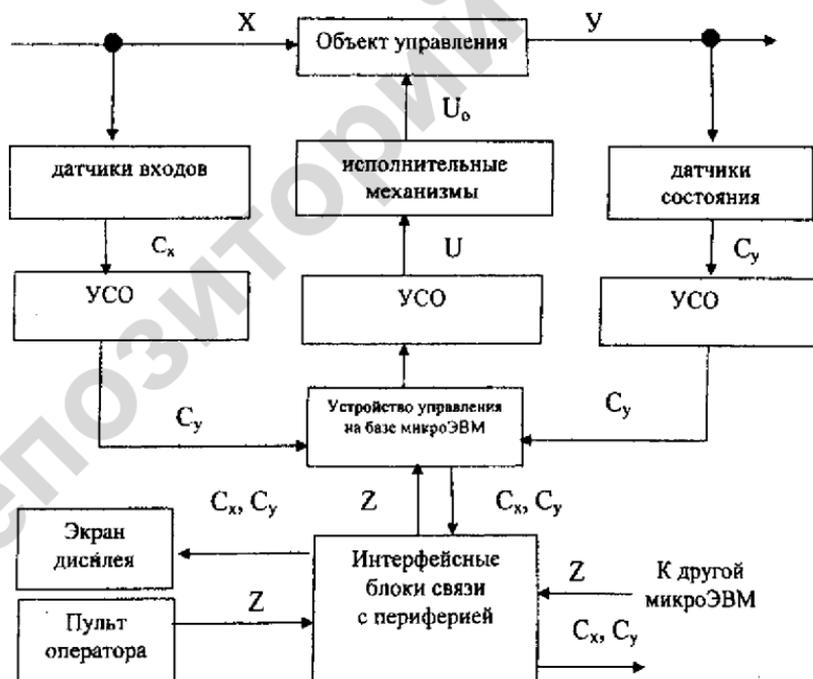


Рис. 2.48 Структурная схема микропроцессорной системы управления оборудованием технологической линии: УСО — устройство связи с объектом (остальные обозначения на схеме соответствуют обозначениям на рис. 2.1)

На экране дисплея в удобном виде отображается необходимая оператору информация о состоянии объекта и интерфейсного оборудования. В простых системах управления интерфейсные связи с периферией могут отсутствовать.

В качестве вычислительной системы устройства управления САУ ТП могут быть использованы как микро ЭВМ, так и микроконтроллеры.

Однокристалльные (однокорпусные) микроконтроллеры представляют собой приборы, конструктивно выполненные в виде БИС и включающие все составные части «голой» микроЭВМ: микропроцессор, память программ и память данных, а также программируемые интерфейсные схемы для связи с внешней средой.

Использование микроконтроллеров в системах управления обеспечивает достижение исключительно высоких показателей эффективности при столь низкой стоимости (во многих применениях система может состоять только из одной БИС микроконтроллера), что микроконтроллерам, видимо, нет разумной альтернативной элементной базы для построения управляющих и/или регулирующих систем. К настоящему времени более двух третей мирового рынка микропроцессорных средств составляют именно однокристалльные микроконтроллеры.

Принцип обработки сигналов в микроЭВМ и однокристалльных микроконтроллерах аналогичен. Для осознанного использования и эксплуатации микроЭВМ в системах управления технологическими процессами ознакомимся с ее общими принципами построения и работы на основе наиболее ранне распространенного микропроцессорного набора МП КР580 ВМ80.

Архитектура и режимы работы МП-системы на основе МП КР580 ВМ80. Микропроцессорными наборами обычно называют совокупности БИС, имеющие единые принципы организации и позволяющие строить на их основе функционально законченные МП-системы.

На рис. 2.49 представлен один из возможных способов организации МПС, который получил название шинной организации. Эта структура характерна наличием специально выделенных для обмена информации шин, которые физически представляют собой печатные проводники на платах или кабели, соединяющие между собой отдельные блоки МПС. Шины бывают однонаправленные, т.е. такие, которые передают информацию только в одну сторону, и двунаправленные, т.е. такие, по которым информация может передаваться в любом направлении.

Преимущество шинной организации состоит в том, что при такой структуре МПС управления очень легко проводить ее дальнейшее развитие. Если необходимо увеличить объем памяти или ввести новые порты ввода-вывода, то для этого достаточно просто подключить новые блоки к шинам, не изменяя ранее созданное оборудование.

Ограниченность энергии, которая может быть рассеяна в кристалле, не позволяет обеспечить достаточную нагрузочную способность выходов МП.

Поэтому в большинстве случаев требуется включение внешних буферов. Внешняя магистраль в рассматриваемой системе представлена тремя отдельными шинами: шиной данных (ШД), шиной управления (ШУ) и шиной адреса (ША). Соответственно предусмотрены три буфера: буфер шины данных (БШД), буфер шины управления (БШУ) и буфер шины адреса (БША).

МП 8080 оперирует с восьмиразрядными словами данных. Поэтому ШД здесь состоит из восьми отдельных проводников, по которым передаются двоичные сигналы. Уровни этих сигналов соответствуют стандартам уровня ТТЛ-схем.

Отметим, что в настоящее время выпускаются 4-, 8-, 16- и 32-разрядные МП. В измерительных устройствах в основном используются МП с разрядностью 4; 8; 16.

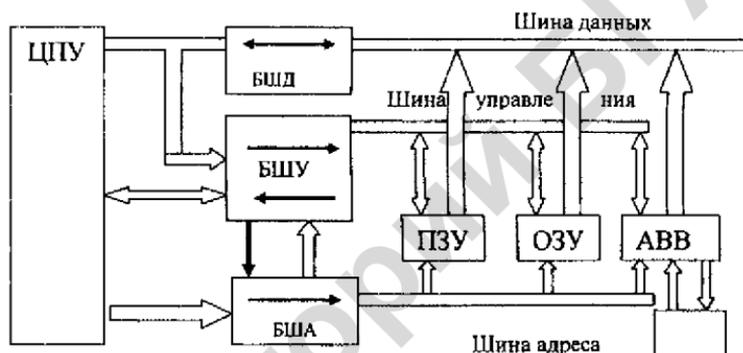


Рис. 2.49 Структурная схема микропроцессорной системы (микроЭВМ) на основе МП КР580 ВМ80 (ПУ — периферийные устройства)

Шина данных в МП-системе — двунаправленная. Информация по ней может передаваться как в ЦПУ, так и из ЦПУ. Направление передачи по ШД устанавливает ЦПУ.

Разрядностью **шины адреса** (ША) определяется предельно возможный объем памяти, которой может быть укомплектована МП-система. Чем больше объем памяти, тем более сложные программы может реализовывать система и тем мощнее ее вычислительные и управляющие возможности. МП-типа 8080 имеет 16-разрядную адресную шину. Это означает, что ЦПУ может адресоваться к $2^{16} = 65536$ ячейкам памяти. Учитывая, что *по каждому адресу может храниться 8-разрядное слово* (1 байт), получаем, что предельный объем памяти составляет в данном случае 64 кбайт (1 кбайт = 1024 байт). Шина адреса — однонаправленная, *код адреса из ЦПУ поступает на ПЗУ, ОЗУ и АБВ.*

Шина управления в рассматриваемой системе состоит из набора отдельных проводников, каждый из которых предназначен для передачи определенного сигнала в определенном направлении. МП 8080 выполнен в корпусе, имеющем 40 выводов. Это оказывается недостаточным для того, чтобы предоставить каждому сигналу управления отдельный вывод. Поэтому часть сигналов управления передается по выводам шины данных в режиме разделения времени. Этим объясняется соединение на схеме (рис. 2.49) буфера шины управления как с внутренним устройством управления (УУ), так и с шиной данных.

Шина управления также состоит из однонаправленных линий, как и шина адреса, но в отличие от нее информация по шине управления идет только от МЦ, но и к нему.

Единственным активным элементом МПС является микропроцессор, который выполняет следующие функции:

- управляет выполнением команд программы;
- управляет обменом информацией между компонентами системы;
- реагирует на разнообразные внешние сигналы.

На рис. 2.50 показана схема включения МП типа КР580 ВМ80.

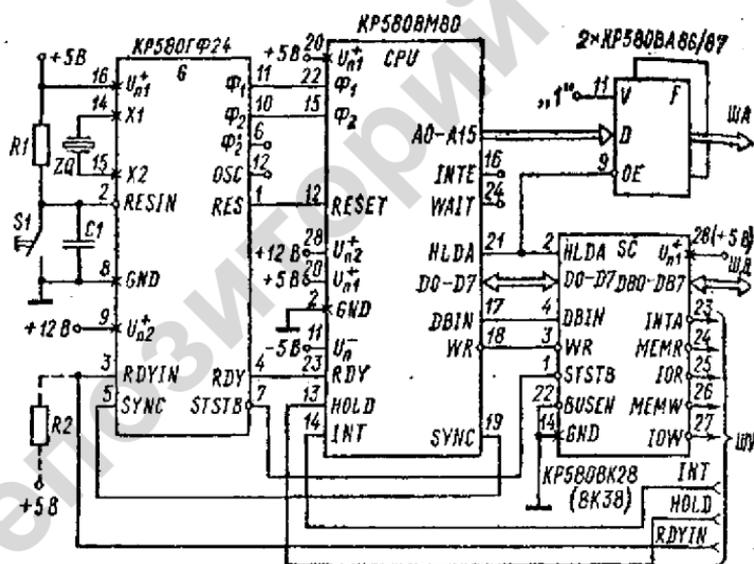


Рис. 2.50 Схема включения МП КР580 ВМ80

Управление микроЭВМ осуществляется с помощью двоичных сигналов:

- **HLDA** (подтверждение перехода в режим ПДП);
- **DBIN** (переключение шины данных на вход);

- **WR** (запись информации) — подаются на **SC** из **ЦПУ** непосредственно по отдельным проводам.

На основе принятых сигналов системный контроллер вырабатывает управляющие сигналы:

- **INTA** — подтверждение прерывания,
- **MEMR** — чтение из ячейки памяти,
- **IOR** — чтение из устройства ввода-вывода,
- **MEMW** — запись в ячейку памяти,
- **IOW** — запись в устройство ввода-вывода.

Как показано на рис. 2.50, в шину управления входят также линии подающие сигналы от указанных устройств на процессор. Это сигнал запроса прерывания **INT**, сигнал запроса на захват шин от контроллера прямого доступа к памяти **HOLD**, сигнал готовности устройства к выполнению операции **RDYin**.

Кроме упомянутых, **ЦПУ** вырабатывает еще два сигнала управления, которые могут быть использованы при построении **МП-системы**. Сюда относятся сигнал **WAIT**, свидетельствующий, что **ЦПУ** находится в режиме ожидания сигнала готовности **RDY**, и сигнал разрешения прерывания **INTE**, информирующий о том, что **ЦПУ** готово реагировать на сигнал прерывания **INT**.

Запоминание информации в микроЭВМ, как и в малых ЭВМ, может быть выполнено в устройствах сверхоперативной (регистровой), оперативной, постоянной, полупостоянной (перепрограммируемой) и внешней памяти.

Сверхоперативная память реализуется в составе **БИС МП** в форме регистров общего назначения (**РОН**), аккумуляторов и буферных регистров.

Оперативное ЗУ предназначено для использования в условиях, когда необходимо выбирать и обновлять хранимую информацию в высоком темпе работы процессора цифрового устройства. Вследствие этого в **ОЗУ** предусматривается три режима работы: 1) хранения при отсутствии обращения к **ЗУ**; 2) чтения хранимых слов; 3) записи новых слов. При этом в режимах чтения и записи **ОЗУ** должно функционировать с высоким быстродействием (обычно время чтения или записи слова в **ОЗУ** составляет доли микросекунды). В микропроцессорных устройствах **ОЗУ** используются для хранения данных (исходных данных, промежуточных и конечных результатов обработки данных).

Постоянное ЗУ предназначено для хранения некоторой однажды записанной информации, не нарушаемой и при отключении источников питания. В **ПЗУ** предусматриваются два режима работы: режим хранения и режим чтения с высоким быстродействием. Режим записи не предусматривается. Используются **ПЗУ** для хранения управляющих программ, различных таблиц и т.д. Существует несколько их разновидностей, которые различаются принципом занесения информации, а также технологией изготовления.

В перепрограммируемой памяти (ППЗУ) являющейся разновидностью **ПЗУ**, за счет использования специальных средств сохранения информации

при снятии питания и специальных приемов стирания этой информации удастся с одной стороны, сохранять записанную информацию в течение длительного периода, а с другой (под специальным воздействием) — стирать ее. В этом случае для изменения программы не требуется замены блоков ПЗУ.

Внешние запоминающие устройства, применяемые в микроЭВМ, можно разделить на два типа: с подвижными и неподвижными носителями информации.

Устройства ввода-вывода МП-систем. Ввод и вывод информации в МП-системах осуществляется, как правило, с помощью специальных БИС.

Одной из наиболее употребляемых микросхем ввода-вывода является БИС *параллельного периферийного адаптера*. На рис. 2.51 — это микросхема типа КР580 ВВ55. Такой адаптер позволяет переключать шину данных МП-системы на работу с одним из трех портов ввода-вывода, РА, РВ или РС. Управление адаптером производится программно.

После начальной установки по входу RES в микросхему через шину данных записывается управляющая информация, определяющая режим работы каждого из портов. Таких режимов три: простой ввод-вывод (режим 0), стробируемая однонаправленная передача информации (режим 1) и стробируемая двунаправленная передача информации (режим 2).

Адресация к конкретному порту адаптера производится с помощью адресных сигналов А0 и А1. При этом сочетании А1, А0 вида 00, 01, 10 соответствуют порты РА, РВ и РС. При наличии двух единиц на входах А1, А0 микросхемы происходит запись с шины данных во внутренний управляющий регистр предназначенной для адаптера управляющей информации.

Режим 0. Можно организовать синхронный обмен информацией — это просто ввод-вывод данных по трем 8-разрядным каналам, причем канал С может быть подразделен на два 4-разрядных канала. Каждый из каналов может быть использован отдельно для ввода или вывода информации. При работе схемы в этом режиме никаких дополнительных сигналов управления не требуется.

Режим 1 позволяет осуществить асинхронный обмен данными по каналам А и В с помощью сигналов управления, передаваемых по каналу С. Для каналов А и В существует четыре комбинации взаимных направлений передачи данных: а) каналы А и В работают в режиме вывода данных; б) каналы А и В работают в режиме ввода данных; в) канал А работает в режиме ввода, а В — в режиме вывода данных; г) канал А работает в режиме вывода, а В — в режиме ввода данных.

Незадействованные для управляющих сигналов шины канала С могут быть использованы для ввода-вывода информации. Направление передачи информации по этим шинам определяются управляющим словом, записанным в регистре управления.

Режим 2 позволяет использовать один из каналов как буферный регистр двунаправленной магистрали. В последнем случае один из оставшихся каналов используется для управления буферным регистром.

Структуру ввода-вывода можно менять в процессе работы программ путем заноса в регистр нового управляющего слова, т.е. те порты, которые прежде работали на вывод, могут начать вводить информацию. Естественно, что соединенные с этим портом внешние цепи должны также поменять свою направленность.

Для записи информации в порты, считывания ее портов и для записи управляющего слова используется шина данных.

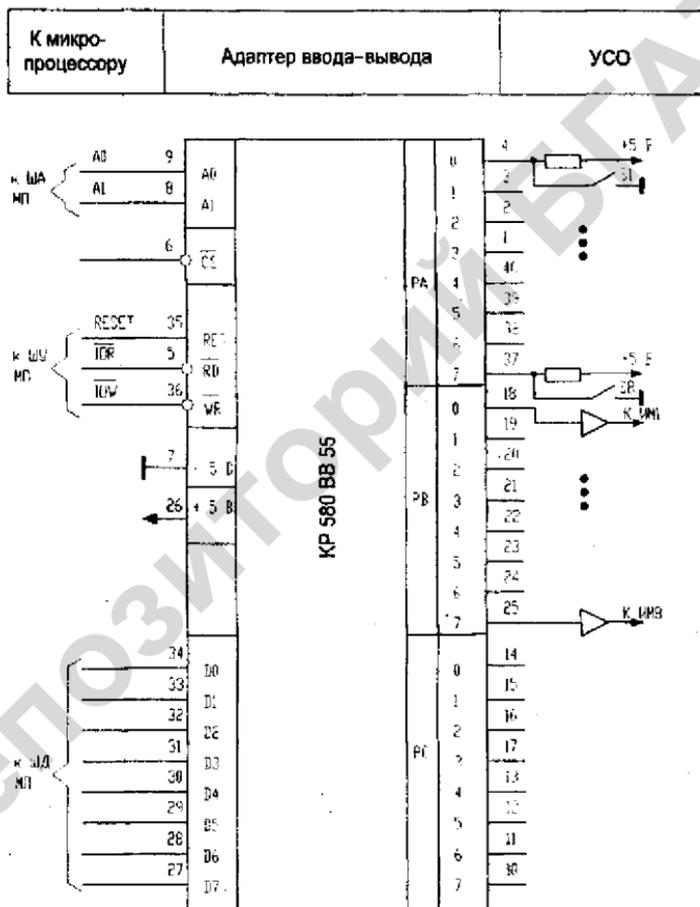


Рис. 2.51 Цоколевка БИС параллельного периферийного адаптера и наименование выводов (S1... S8 – исполнительные элементы командных аппаратов; 1, 2, ... 40 – номера контактов БИС)

Выбор БИС осуществляется внешним дешифратором, на который поступают сигналы со старших разрядов шины адреса.

Микросхема может выполнять следующие функции: буферизацию (при асинхронном режиме обмена данными); преобразование формата данных; сопряжение микроЭВМ с ВУ в режиме прерывания.

Основное использование параллельного интерфейса в системах управления ТП — заключается в том, что он стыкуется с датчиками, имеющими на выходе логическую переменную или служат для управления различного рода реле и пускателями.

Микросхема КР580 ВВ55 может также использоваться для считывания информации с приборов, обладающих цифровым выходом (АЦП, цифровые вольтметры, амперметры, тахометры и т.д.) или выдачи информации на приборы, которые преобразуют цифровой код в аналоговый сигнал (ЦАП) или частоту.

Программируемый таймер КР580 ВВ53 может быть использован для ввода в МП сигналов, соответствующих частоте или длительности импульсов, для подсчета числа событий, для задания временных интервалов и т.п. Этот таймер содержит три 16-разрядных счетчика (0; 1; 2), работающих на вычитание. Счетчики могут быть запрограммированы как для двоичного, так и для двоично-десятичного счета. Программным способом можно также осуществлять и начальную установку счетчиков, записывая в них любое исходное число.

Адресация трех счетчиков рассматриваемого таймера, так же как и портов рассмотренного выше параллельного адаптера, производится с помощью двух адресных входов А0, А1 и входа CS. Внутренний управляющий регистр, в который при программировании режима таймера записываются управляющие слова, при адресации выступает как четвертый канал таймера.

Последнее из устройств ввода-вывода — это *последовательный периферийный адаптер* (адаптер последовательного интерфейса) КР580 ВВ51. Этот адаптер позволяет передавать и принимать информацию в синхронном и асинхронном режимах в виде последовательного кода. При этом в асинхронном режиме каждая кодовая посылка снабжается специальными стартовыми и стоповыми битами, позволяющими установить ее начало и конец.

Для работы последовательного адаптера необходимы тактовые импульсы (вход CLK). Адаптер автоматически настраивается так, чтобы фиксировать стартовый бит каждой кодовой посылки в момент времени, соответствующий его середине. Остальные биты фиксируются в моменты, определяемые частотой синхронизирующих импульсов. Достаточно обеспечить равенство частот приема и передачи с погрешностью несколько процентов. При этом условии все биты принимаемой информации будут зафиксированы правильно.

Так как последовательный код можно достаточно просто передать на линии связи на значительные расстояния, то адаптеры такого типа могут обеспечить обмен информацией между МП-системой и некоторым периферийным объектом. В качестве линии связи при этом может выступать обычная телефонная линия. Естественно, что для организации последовательного канала требуются как минимум два адаптера, один из которых будет передавать, а второй — получать информацию.

1. **МП-система** — это в конечном счете цифровой автомат, который выполняет операции с цифровой информацией в соответствии с хранящейся в памяти программой. Поэтому *работа по программе и является основным режимом работы* такой системы.

2. **Режим прерывания** — это такой режим работы МП-системы, в котором по сигналу от некоторого внешнего устройства производится выполнение специальной подпрограммы. Если система в момент прихода этого сигнала работала по программе, то вначале завершаются действия, предусмотренные текущей командой, а затем выполнение основной программы прерывается. ЦПУ запрашивает адрес ячейки, в которой хранится КОД первой команды подпрограммы обработки прерывания. Этот адрес называют *вектором прерывания*. Получив вектор прерывания, МП-система далее выполняет команды, считываемые из области памяти, начало которой соответствует вектору прерывания. Последней командой подпрограммы обработки прерывания обычно предписывается системе возврат к выполнению основной программы.

В МП-системе могут действовать несколько входов прерывания со своими векторами, возможно установление различных режимов и приоритетов прерываний.

Каковы источники сигналов прерываний? Они могут быть весьма разнообразными:

- сигнал пропадания питания; по этому сигналу, который обычно имеет наивысший приоритет, происходит, если это возможно, запись содержания ОЗУ, РОИ, РС в энергонезависимую память (диск, ЭНОЗУ и др.);
- сигналы таймера; эти сигналы синхронизируют работу всей системы, обычно по ним происходит опрос датчиков, формирование управляющих воздействий, смена программы (в программных системах), смена режима работы и т.д.;
- сигналы внешних устройств (АЦП, дисплея, датчиков, сигнализаторов и т.д.).

Обычно в систему прерываний включают сигналы таких приборов, которые работают в асинхронном режиме, т.е. сигнал от них может появиться в случайный момент времени. Примером может служить АЦП. Для реализации режима прерываний в МПС используется БИС КР580 ВТ59

3. Еще один режим работы МП-системы — это *режим прямого доступа к памяти* (ПДП). В обычных условиях при работе по программе обмен информацией между, например, одним из внешних устройств, подсоединенных через адаптер ввода-вывода (АВВ), и устройством памяти (ОЗУ или ПЗУ)

осуществляется через ЦПУ. Информация от источника вначале считается в ЦПУ, а затем из ЦПУ переписывается в приемник информации. Если речь идет о пересылке больших массивов информации, то, естественно, возникает желание упростить и ускорить процедуру обмена за счет исключения промежуточного звена в виде ЦПУ. Именно такая пересылка информации из источника в приемник и осуществляется в режиме ПДП. При этом ЦПУ отключается от шин данных и адреса: буфера этих шин переходят в высокоимпедантное состояние. Происходит так называемый захват шин контроллером ПДП — специальным модулем, составленным из одной или нескольких специальных БИС. Этот модуль управляет работой шин и организует обмен информацией в режиме ПДП. Режим ПДП не часто реализуется в микропроцессорных измерительных устройствах. Но поскольку МП применяются в устройствах различного назначения, в том числе и в микроЭВМ, то входы управления, позволяющие осуществить режим ПДП, имеют практически все МП.

Устройство связи с объектом. До сих пор мы рассматривали только *микроЭВМ*, которая является *цифровой системой*, для которой вся входная и вся выходная информация является цифровой.

Устройства, обеспечивающие возможность подключения объекта к ЭВМ и ЭВМ к объекту управления, принято выделять в специальный класс периферийных устройств — устройств связи с объектом (УСО). Для управляющих ЭВМ и комплексов, наличие УСО в составе периферийного оборудования является обязательным, ибо только с его помощью можно обеспечить непосредственную физическую связь с объектом, а следовательно, и решение задач управления.

Рассмотрим подробно структуру УСО и входящие элементы (блоки).

В общем случае УСО в дискретных системах обеспечивает двустороннюю связь с объектом и содержит подсистемы цифрового ввода и вывода.

Подсистема цифрового ввода предназначена для ввода дискретных сигналов с объекта в ЭВМ. Основные функции этой подсистемы заключаются во вводе одиночных или подсчете многократно повторяющихся дискретных сигналов. Эти функции требуют наличия счетчика для подсчета и просто запоминающего устройства для временного хранения полученных данных. Число двоичных разрядов регистра или счетчика равно числу бит в информационном тракте машины (обычно 16, для КР580 — 8 бит).

Сопряжение между сигналами от объекта и логическими сигналами, необходимыми для управления состоянием регистра и счетчика, осуществляется схемой *нормализации сигнала* и воспринимающей схемой.

Воспринимающие схемы обычно рассчитаны на сигнал в форме электрического напряжения, поэтому функции схемы нормализации в подсистеме цифрового ввода практически те же, что и в подсистемах аналогового ввода-вывода — ограничение и преобразование входного сигнала, представленного уровнем напряжения или сопротивлением, в соответствующий уровень напряжения, фильтрации с целью устранения дребезга механических

контактов и т.п. Воспринимающая схема представляет собой пороговое устройство, уровень выходного сигнала которого соответствует логической единице, если входное напряжение превышает заданное значение. В противном случае выходной сигнал воспринимающей схемы, соответствует логическому нулю.

Таким образом, двоичное состояние датчика преобразуется в напряжение постоянного тока **ВЫСОКОГО** и **НИЗКОГО** уровней которое поступает на регистр входа микроЭВМ.

Регистр состоит из **ячеек памяти** (элементов памяти). Каждый из таких электрических элементов может находиться в одном из двух устойчивых состояний: конденсатор заряжен или разряжен, транзистор находится в проводящем или непроводящем состоянии, специальный полупроводниковый материал имеет высокое или низкое удельное сопротивление и т.п. Одно из таких физических состояний создает высокий уровень выходного напряжения элемента памяти, а другое — низкий. В элементах памяти ряда микроЭВМ это электрическое напряжение порядка 4 В и 0 соответственно, причем первое обычно принимается за двоичную единицу, а второе — за двоичный нуль (хотя возможно и обратное кодирование).

Регистр характеризуется единственным числом: количество битов, которые могут в нем храниться.

Так на рис. 2.52 представлен 8-разрядный регистр, в который записана двоичная информация, соответствующая состоянию исполнительных элементов датчиков.

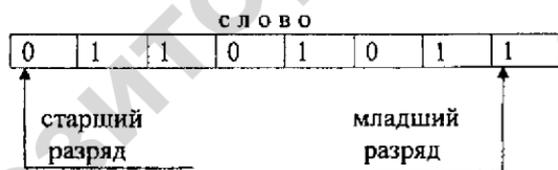


Рис. 2.52 Восьмиразрядный регистр

Помещенная в регистр информация остается там до тех пор, пока она не будет заменена другой. Процесс чтения информации из регистра не влияет на содержимое последнего. Говоря другими словами, операция чтения информации, хранимой в регистре, сводится к созданию копии его содержимого, оригинал же сохраняется в регистре без изменений.

Основным назначением подсистемы цифрового вывода является выработка цифровых управляющих сигналов и действий, которые будут использоваться оборудованием технологического процесса. Как и при цифровом вводе эти события, как правило, двоичны по своей природе. Выходами подсистемы могут служить сигналы тока или напряжения, срабатывание полупроводникового ключа или замыкание контакта электромеханического реле.

Управление выходным сигналом или воздействием может осуществляться либо программой, либо после запуска логическими схемами подсистемы. Например, подсистемами может удерживаться контакт в замкнутом состоянии в течение заданного интервала времени либо замыкать контакт заданное число раз или вырабатывать на выходе заданное число импульсов напряжения. В ряде случаев в составе УВК предусматривается несколько типов ключей, например, полупроводниковые ключи для высокоскоростной коммутации нагрузки малой и средней мощности и релейные ключи для управления мощной нагрузкой при меньшей скорости коммутации. Отдельные разряды выводимых цифровых данных могут иметь самостоятельное значение или группироваться в машинные слова.

Программирование в машинном коде. С точки зрения программиста, *центральный процессор представляет собой набор регистров*, к которым можно обращаться программным образом. Для программирования не важно, что на самом деле микропроцессор устроен гораздо сложнее, так как к некоторым его регистрам невозможно обратиться программным образом, поэтому они как бы не существуют. *Программная модель системы* изображена на рис. 2.53.

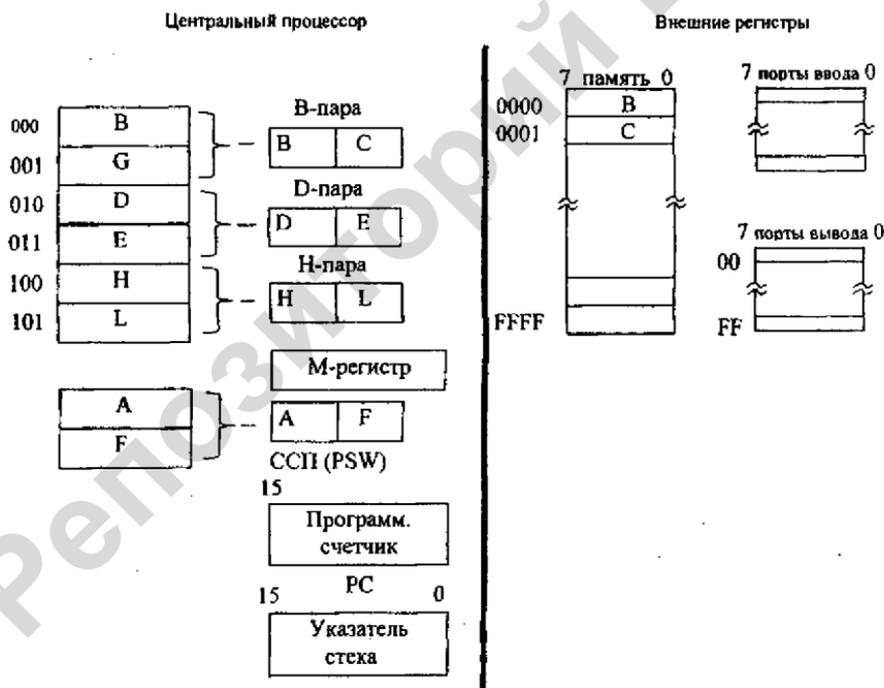
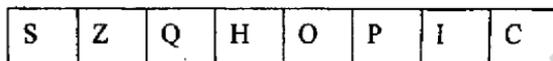


Рис. 2.53 Программная модель

Программная модель микропроцессорной системы включает 6 РОН (регистров общего назначения), которые обозначаются буквами английского алфавита от *В* до *Л*. РОН служит для хранения чисел и адресов. Они могут быть объединены в пары, что позволяет работать с 16-разрядными адресами и данными. Имеются также два специальных регистра *А*, *В*.

Регистр *А* — аккумулятор связи с арифметическим устройством процессора, в нем сохраняется результат выполненной операции. Регистр *В* также связан с АЛУ. В нем хранится информация о том, с каким результатом закончилось выполнение последней команды. Рассмотрим более подробно *В*-регистр.



$C = 1$, если при выполнении операции сформировался сигнал переноса, иначе $C = 0$;

$Z = 1$, если результат равен 0;

$S = 1$, если результат < 0 ;

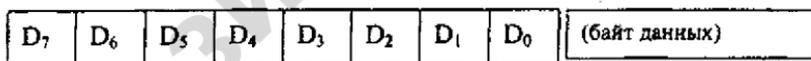
$P = 1$, если результат четный;

$H = 1$, если возникает перенос от 3-го бита.

Содержимое *А* и *В* регистров обозначают PSW — processor status word (оцн).

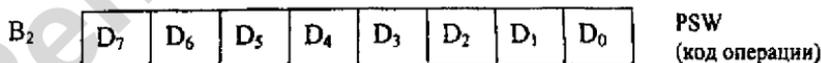
Имеются два 16-разрядных регистра: программный счетчик, в котором находится адрес выполняемой команды, и указатель стека, в котором хранится адрес последней занятой ячейки стека. Стек работает от больших адресов к меньшим.

Формат данных и команд. Данные (обрабатываемая информация и результаты обработки) хранятся в оперативной памяти и в процессоре в виде 8-разрядных двоичных чисел. Таким образом, слово данных имеет следующий формат:



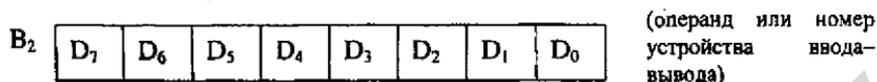
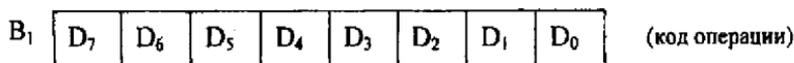
Для команд используются одно-, двух-, трехбайтовые форматы.

Однобайтовый формат команды

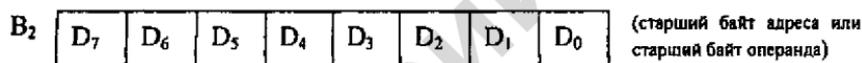
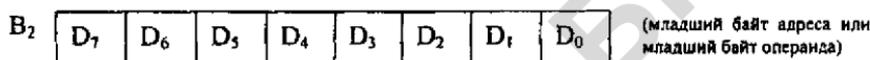
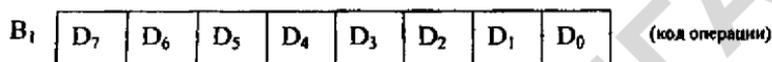


Большинство команд являются однобайтовыми.

Двухбайтовый формат команды



В первом байте двухбайтовой команды указывается вид выполняемой операции, во втором байте приводится число, являющееся операндом при выполнении операции, либо номером устройства ввода или вывода при обмене данными.



Система команд микропроцессора КР580ИК80А. При написании программ для микроЭВМ программисту необходимо знать ее систему команд. Это означает, что программист должен помнить весь перечень команд, представлять себе те действия, которые будут выполняться микропроцессором при выполнении каждой из них.

Код операции любой команды (для однобайтовой команды — это просто код команды) в ЗУ микроЭВМ представляется двоичным 8-разрядным числом.

Например, код команды пересылки из регистра С в регистр А будет иметь вид **01111001**. Код операции непосредственной записи 8-разрядного операнда в память записывается так: **00110110**, а код команды загрузки аккумулятора с *непосредственной адресацией* будет — **00111010**.

Всего двоичным кодом можно представить 2^8 — 256 различных комбинаций. Почти столько же команд имеет и микропроцессор (некоторые комбинации двоичных чисел не используются и поэтому команд несколько меньше, чем 256).

Естественно, что запомнить 200 кодовых комбинаций, представленных в виде двоичных 8-разрядных чисел, почти невозможно. Поэтому каждому коду команды соответствует мнемоническое название команды, что является сокращением английских слов, описывающих ее действие и позволяющих легче запомнить их функции.

После мнемоники для *двухбайтовых команд* записывают 8-разрядный операнд, обозначаемый при описании системы команд через **D8**, а для трехбайтовых команд — *16-разрядный адрес*, или операнд, обозначаемый соответственно через **ADR** и **D16**.

Буквой **M** обозначается ячейка памяти, адресуемая в соответствии с описанием команды. Так, первая из упомянутых выше команд в мнемоническом коде будет иметь вид: **MOV A,C** (move register — переслать из регистра в регистр); вторая — **MVI M,D8** (move to memory immediate — переслать непосредственно); третья — **LDA ADR** (load direct — загрузить аккумулятор содержимым ячейки памяти).

Название регистровых пар в мнемонике команд дается в сокращенном виде с помощью первых букв их названия. Так вместо **BC**, **DE**, **HL** записывают **B**, **D** и **H**. Например, команда увеличения на 1 содержания регистровой пары **HL** записывается как **INX H**.

Все команды **МКП580ИК80А** представлены в табл. 2.37. По этой таблице можно легко и быстро сопоставить мнемонику команды с ее кодом операции. *Код операции каждой команды приведен здесь в верхней и нижней горизонтальных строках* (младшие разряды) и в крайних левом и правом столбцах (старшие разряды) *в шестнадцатеричном виде (H)*.

Для наглядности и упрощения записи все двоичные коды представляют в шестнадцатеричном виде. Для этого двоичный код числа делится на группы по четыре разряда. Для 8-разрядного кода операции или операнда таких групп будет 2, а для 16-разрядного адреса или операнда — 4.

Четырехразрядным двоичным кодом можно представить любое десятичное число от 0 до 15. Обозначив эти величины цифрами от 0 до 9 и далее буквами латинского алфавита от *A* до *F*, мы получаем шестнадцатеричные цифры.

В табл. 2.35 приведено соответствие между десятичным, двоичными шестнадцатеричным значением величин.

Например, двоичный код **1100 0011** можно представить в виде шестнадцатеричного числа **C3**, операнду или коду команды **B8**, записанному в шестнадцатеричной форме, будет соответствовать код **1011 1000**, а адресу **F2 04** — код **1111 0010 0000 0100**.

Таким образом, зная мнемонику команд, например, **ORA C**, из табл. 2.34 можно определить ее шестнадцатеричный код операции **B1**, что будет соответствовать двоичному коду 1011 0001.

Для облегчения работы с системой команд микропроцессора *команды МП разбиты на семь групп*. Каждая группа содержит несколько типов операций. Тип операций характеризуется некоторой *структурой кодовых комбинаций*, занимающих от *одного до трех байт памяти* и выполняемых за **1, 2, 3, 4, 5** циклов, состоящих из 3, 4 или 6 тактов.

Десятичное значение	Двоичное значение	Шестнадцатеричное значение	Десятичное значение	Двоичное значение	Шестнадцатеричное значение
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

Способы адресации. Для того, чтобы могла быть выполнена определенная операция в команде, кроме вида операции, должно содержаться указание, откуда берутся участвующие в операции числа, и куда помещается результат выполненной операции (иначе говоря, указание об источниках и приемнике операндов). Под способами адресации понимают способы, используемые для указания источников и приемников операндов.

В микропроцессоре используются следующие способы адресации.

Прямая адресация. При этом способе *адресом операнда* является указанный в команде (*в байте кода операции*) *адрес регистра микропроцессора*. Адреса регистров приведены в табл. 2.36.

Таблица 2.36

Регистр	Адрес регистра, используемый в команде	Регистр	Адрес регистра, используемый в команде
B	000	H	100
C	001	L	101
D	010	M	110
E	011	A	111

Под *M* понимается ячейка оперативной памяти, адресом которой служит содержимое пары регистров *HL*.

Покажем некоторые примеры команд с прямой адресацией, взятых из приведенного в табл. 2.35 списка команд микропроцессора.

Таблица 2.37

Мнемоника команды	Кодовая комбинация команды	Выполняемая операция
MDV C, D	01 001 010	C - (D)
ADD D	10 000 010	A - (A) + (D)

В кодовой комбинации команды **01 001 010** два старших разряда (**01**) определяют *вид операции* (операция пересылки содержимого одного регистра в другой), в последующих двух 3-разрядных группах (**001** и **010**) приведены адреса регистров *C* и *D*. Команда представляет операции пересылки в регистр *C* содержимого регистра *D*.

В команде **10 000 010** пять старших разрядов (**10 000**) представляют вид выполняемой операции (*операция суммирования*); в трех младших разрядах (**010**) указан адрес регистра *D*, служащего источником операнда.

При выполнении операции суммирования источником другого операнда и приемником результата выполненной операции является аккумулятор *A*.

Непосредственная адресация. При этом способе адресации операнды (один либо два) задаются непосредственно *в команде вслед за байтом кода* операции во втором либо втором и третьем байтах.

Ниже приведены примеры команд с непосредственной адресацией.

- | | | | |
|----------|-------|------------|--|
| 1) ADI | B_1 | 11 000 110 | $A \leftarrow (A) + \langle B_2 \rangle$ |
| | B_2 | 01 001 100 | |
| 2) MVI D | B_1 | 00 010 110 | $D \leftarrow \langle B_2 \rangle$ |
| | B_2 | 01 001 110 | |
| 3) LXI D | B_1 | 00 010 001 | $D \leftarrow \langle B_3 \rangle; E \leftarrow \langle B_2 \rangle$ |
| | B_2 | 01 100 101 | |
| | B_3 | 10 100 101 | |

Команда с мнемоникой ADI предусматривает суммирование содержимого аккумулятора с числом, приведенным во втором байте команды (в примере это число равно $4C_{16}$).

Команда MVI производит пересылку числа, приведенного во втором байте команды (в примере это число равно $4F_{16}$), в регистр *D*, адрес которого (**010**) указан в разрядах $D_5 D_4 D_3$ первого байта команды.

Команда LXI производит пересылку чисел, приведенных во втором и третьем байтах (в примере — чисел 65_{16} и $A5_{16}$), соответственно в младших и старших регистрах пары регистров *DE*. В разрядах $D_5 D_4 D_3$ первого байта пара регистров указана адресом (**010**) одного из регистров этой пары.

Косвенная адресация. При этом способе адресации в команде указывается пара регистров блока *POH* (путем указания адреса одного из регистров этой пары), содержимое которой служит адресом операнда.

Примеры команд с косвенной адресацией :

1 LDAX B 00 001 010 $A \leftarrow [(BC)]$.

2 STAX B 00 000 010 $[(BC)] \leftarrow (A)$.

Здесь запись $[(BC)]$ означает ячейку памяти, адресом которой служит содержимое пары регистров *BC*.

Характеристика команд MII. После знакомства со способами адресации кратко охарактеризуем группы команд микропроцессора.

Группа команд однобайтовых пересылок данных. Это наиболее многочисленная группа команд. С их помощью производится обмен данными между внутренними регистрами микропроцессора, а также между внутренними регистрами и ячейками памяти.

Внутренние межрегистровые пересылки осуществляются с помощью группы команд *MOV RI, R*, где *RI* и *R* — любые внутренние 8-разрядные регистры микропроцессора или их содержимое. При выполнении этой команды содержимое регистра *R* пересылается в регистр *RI*, причем в регистре *R* сохраняется прежнее значение данных. Например, после выполнения команды *MOV C, A* данные из регистра *A* будут переписаны в регистр *C*. При этом в регистре *A* данные не изменяются.

В качестве *RI* или *R* может быть определена ячейка памяти, адрес которой находится в регистровой паре *HL*. Например, по команде *MOV C, A* произойдет пересылка данных из ячейки памяти с адресом, записанным в регистровой паре *HL* во внутренний регистр *C* микропроцессора. Содержимое ячейки памяти *M* при этом не изменится. Другой пример: по команде *MOV M, E* данные из регистра *E* запишутся в ячейку памяти *M*, адресуемую через содержимое регистровой пары *HL*, а данные в регистре *E* останутся неизменными.

Для пересылок данных между аккумулятором и ячейками памяти в качестве адреса ячейки памяти может быть использовано также содержимое регистровых пар *BC* или *DE*. Тогда для записи в память данных из аккумулятора используются однобайтовые команды *STAX B* или *LDAX D*, а при обратной пересылке — *LDAX B* или *LDAX 0*. Адрес ячейки памяти для обмена с аккумулятором можно задать также с помощью трехбайтовых команд с непосредственной адресацией.

В этом случае для записи данных из аккумулятора в память служит команда *STA ADR*, для обратной пересылки — *LDA ADR*.

С помощью двухбайтовой команды *MVI R, D8* (*R* — буквенное наименование регистра или ячейки памяти, адресуемой по содержимому *HL*) можно записать операнд в любой 8-разрядный регистр микропроцессора или ячейку памяти.

Операндом здесь будет содержимое второго байта команды.

Команда *SPHL* позволяет занести адрес из регистровой пары *HL* в указатель стека *SP*.

Группа команд двухбайтовых пересылок данных. Трехбайтовые команды *LXI B D16*, *LXI D D16* служат для непосредственной записи в соответствующие регистровые пары 16-разрядного операнда *D16*.

Используя команды *SHLD ADR*, *LHLD ADR*, можно организовать пересылку данных между регистровой парой и ячейкой памяти, непосредственно адресуемой по содержимому второго и третьего байта команды. Остальные команды этой группы осуществляют пересылки с адресацией по указателю стека

SP. С помощью команд **PUSH B**, **PUSH D** или **PUSH H** содержимое регистровых пар **BC**, **DE** и **HL** засылается в стек. По команде **PUSH PSW** в стек засылаются данные из аккумулятора и регистра признаков.

Команды **POP B**, **POP D**, **POP H** служат для пересылки 18-разрядного слова из ячеек памяти адресуемых указателем стека **SP** в соответствующую пару регистров. Командой **POP PSW** данные из стека пересылаются в аккумулятор и регистр признаков **F**. Таким образом, команда **POP PSW** может изменять все регистры признаков **F**.

Группа команд ввода-вывода. Микропроцессор имеет всего две команды для ввода-вывода данных.

С помощью команды ввода **IN N** можно переписать байт данных в регистр **A** микропроцессора одного из 256 портов ввода. Номер порта определяется вторым байтом команды.

Аналогично по команде вывода **OUT N** байт данных из регистра **A** микропроцессора будет переписан в любой из 256 портов вывода, адресуемых вторым байтом команды.

Группа команд обмена. В этой группе также всего две команды:

XCHG — команда для обмена содержимым между регистровыми парами **HL** и **DE**;

XTHL — команда для обмена содержимым между регистровой парой **HL** и ячейками памяти, адресуемых по указателю стека **SP**.

Группа команд передачи управления и работы с подпрограммами. Эти команды играют особую роль в организации выполнения программ микроЭВМ. Пока в программе не встречаются команды этой группы, счетчик команд **PC** постоянно увеличивает свое значение, и микропроцессор выполняет команду за командой в порядке их расположения в памяти.

Порядок выполнения программы может быть изменен, если занести в регистр счетчика команд микропроцессора код адреса, отличающийся от адреса очередной команды. Это вызовет передачу управления (или переход в программе) и может быть выполнено с помощью трехбайтовой команды безусловного перехода — **JMP ADR**. Таким образом, следующей командой, которую будет выполнять микропроцессор вслед за командой **JMP ADR**, будет команда, код операции которой записан в ячейке с адресом, равным значению **ADR**.

Безусловную передачу управления можно произвести также по команде **PCHL**, в результате выполнения которой произойдет передача управления по адресу, хранящемуся в регистровой паре **HL**.

Кроме команды безусловного перехода микропроцессор имеет восемь трехбайтовых команд условного перехода. При появлении команды условного перехода передача управления по адресу, указанному в команде, происходит только в случае выполнения определенного условия. Если условие не

удовлетворяется, то выполняется команда, непосредственно следующая за командой условного перехода.

Условия, с которыми оперируют команды условной передачи управления, определяются состоянием битов (разрядов) регистра признаков *F*:

- **NZ (NOT ZERO)** — нулевой результат, $Z = 0$;
- **Z (ZERO)** — нулевой результат, $Z = 1$;
- **NC (NO CARRY)** — отсутствие переносов, $CY = 0$;
- **C (CARRY)** перенос, $CY = 1$;
- **PO (PARITY ODD)** — нечетный результат, $P = 0$;
- **PE (PARTY EVEN)** — четный результат, $P = 1$;
- **P (PLUS)** — число неотрицательное, $S = 0$;
- **M (MINUS)** — число отрицательное, $S = 1$

Эти условия проверяются соответствующими командами условного перехода: *JNZ ADR*, *JZ ADR*, *JNC ADR*, *JC ADR*, *JPO ADR*, *JPE ADR*, *JP ADR*, *JM ADR*.

Группа специальных команд. Команда *NOP* этой группы не производит никаких операций, однако так как она выполняется за определенный отрезок времени, ее можно использовать в программах для задания временных интервалов. Появление в программе команды *HTL* ведет к остановке выполнения программы. Продолжить выполнение программы можно только подачей сигнала *сброс* или *запрос прерывания* на соответствующие входы микропроцессора.

В пособии не ставится цель — обучить программированию на языке ассемблера микроЭВМ на базе КР580, поэтому приведена краткая характеристика отдельных групп команд, которые будут использованы в примерах программирования.

Пример программирования. Микропроцессорные устройства и микроЭВМ выполняют свои функции в соответствии с программами, составленными и отлаженными разработчиками и записанными затем в микроЭВМ.

Пример 1. Требуется составить программу работы специализированного микропроцессорного устройства. Пусть в таком устройстве имеются два порта — один порт ввода 1 и один порт вывода 2. К порту ввода 1 по линии, связанной с его младшим разрядом, подключена кнопка *SB1*, а к порту вывода 2 по линии, связанной с его двумя младшими разрядами, подключены два светодиода. Функциональная схема части этого устройства приведена на рис. 2.58. Дешифраторы формируют сигналы *BM1* и *BM2*, служащие для активизации соответствующих портов. При этом дешифраторы включены таким образом, что сигналы *BM1* и *BM2* появляются только тогда, когда на младших восьми разрядах шины адресов возникают коды 01 и 02 соответственно. В таком случае порт 1 и порт 2 включены как устройства с соответствующими номерами.

Допустим, что от устройства требуется выполнить следующую задачу.

В исходном состоянии, пока кнопка **SB1** не нажата, светодиод **VD1** должен светиться, а светодиод **VD2** — нет. Если кратковременно нажать на кнопку, то светодиод **VD1** должен на 0,25 с погаснуть, а светодиод **VD2** загореться. После этого в течение 0,5 с устройство не должно реагировать на нажатие кнопки.

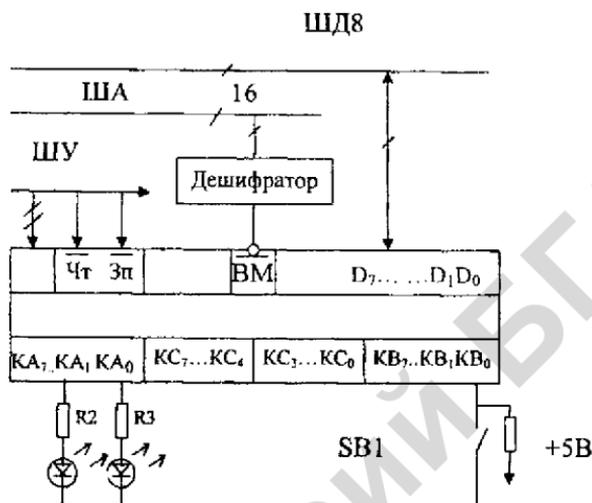


Рис. 2.54 Схема МП-устройства

При составлении программы необходимо соблюдать аккуратность, так как малейшая погрешность приводит затем к большим затратам времени на отыскание ее.

В связи с чем разработаны определенные правила и соблюдается определенная последовательность действий при разработке программ.

Итак, наша программа должна начинаться с записи в порт 2 комбинации битов 0000, 0001. Именно при этом условия **VD1** горит, а **VD2** погашен. Затем по команде ввода содержимое порта 1 пересылается в аккумулятор и анализируется, не появился ли ноль в младшем разряде, что может быть только при нажатии на кнопку. Если кнопка не нажата, то операция повторяется. В противном случае в порт 2 посылается комбинация 0000, 0010 (светодиод **VD2** горит, **VD1** погашен). После этого микропроцессор в течение 0,25 с не должен производить никаких операций с портами, а затем после полусекундной задержки вновь перейти к началу нашей программы. Эти задержки можно будет выполнить программно с помощью специальной программы.

Занесем все перечисленные действия в таблицу и пронумеруем каждый шаг. Табл. 2.38 — это алгоритм решения поставленной задачи.

Представление алгоритма в виде таблицы не очень удобно. Более наглядны блок-схемы алгоритмов. В дальнейшем мы и будем их использовать.

Таблица 2.38

Шаг	Выполняемые действия
1	Записать в аккумулятор код 0000001 и переслать его в порт 2
2	Выполнить программу, реализующую задержку в 0,5 с
3	Переслать содержимое порта ввода 1 в аккумулятор
4	Проверить состояние разряда $A(0)$ аккумулятора
5	Если $A(0)$ равно 0, то перейти к шагу 3, в противном случае перейти к шагу 6
6	Записать в аккумулятор код 0000010 и переслать его в порт 2
7	Выполнить программу, реализующую задержку в 0,25 с
8	Перейти к шагу 1

Структурная схема нашего алгоритма приведена на рис. 2.56. Сплошными линиями со стрелками показан код его выполнения. Справа от структурной схемы мы поместим программу, под управлением которой микропроцессор выполняет алгоритм. Штриховые линии со стрелками лишь указывают на соответствие элементов структурной схемы алгоритма и команд программы. Эти линии не являются принадлежностью структурной схемы и включены в данном случае только для наглядности.

Если обратиться к табл. 2.38, можно увидеть, что при выполнении алгоритма нам неоднократно придется возвращаться к шагам 1 и 3. Поэтому эти шаги должны быть особо отмечены с помощью меток — произвольно выбираемых имен.

На рис. 2.56 в прямоугольниках из штриховых линий в соответствующих местах структурной схемы алгоритма показаны эти метки.

Они обычно содержат знак двоеточия после своего имени, а имена меток выбираются таким образом, чтобы было ясно их назначение (в рассматриваемом примере мы будем использовать метки НАЧАЛО, ВВОД, ВРЕМЯ).

Блок-схемы алгоритмов могут состоять всего из четырех основных элементов. Графически они выглядят как на рис. 2.55.

После составления структурной схемы алгоритма переходят к написанию программы.

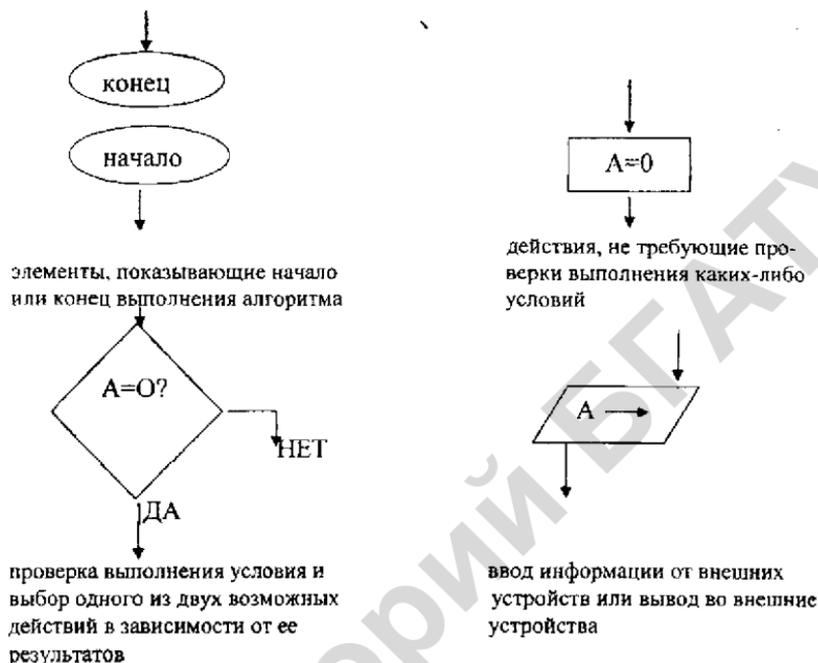


Рис. 2.55 Элементы блок-схем алгоритма

Пользуясь здравым смыслом, комбинируя стандартные и свои оригинальные решения, программист должен получить программу с заданными свойствами.

Пользуясь описанием системы команд и табл. 2.39, нетрудно понять, что привести устройство в начальное состояние можно с помощью последовательности команд: команды загрузки операнда и аккумулятор **MV1 A, 00000001** и команды вывода байта данных из аккумулятора в порт 2 — **OUT 02**. Затем следуют две команды, необходимые для ограничения временной задержки (их мы разберем несколько ниже), и далее команда опроса состояния кнопки **SB1** (т.е. значения младшего разряда порта 1). С помощью команды ввода **LN 01** переписываем содержимое порта в аккумулятор и проверяем состояние его младшего бита **A (0)**. Для этого воспользуемся командой логического умножения содержимого аккумулятора на непосредственный операнд (команда **AN1 00000001**), содержащей 1 только в младшем разряде.

В результате выполнения этой команды в аккумулятор запишется код, семь старших разрядов которого будут равны 0. Значение нулевого разряда аккумулятора **A (0)** будет зависеть от значения младшего разряда кода, про-

читанного из порта 1, т.е. от того, была ли нажата кнопка в момент действия команды *IN 01*.

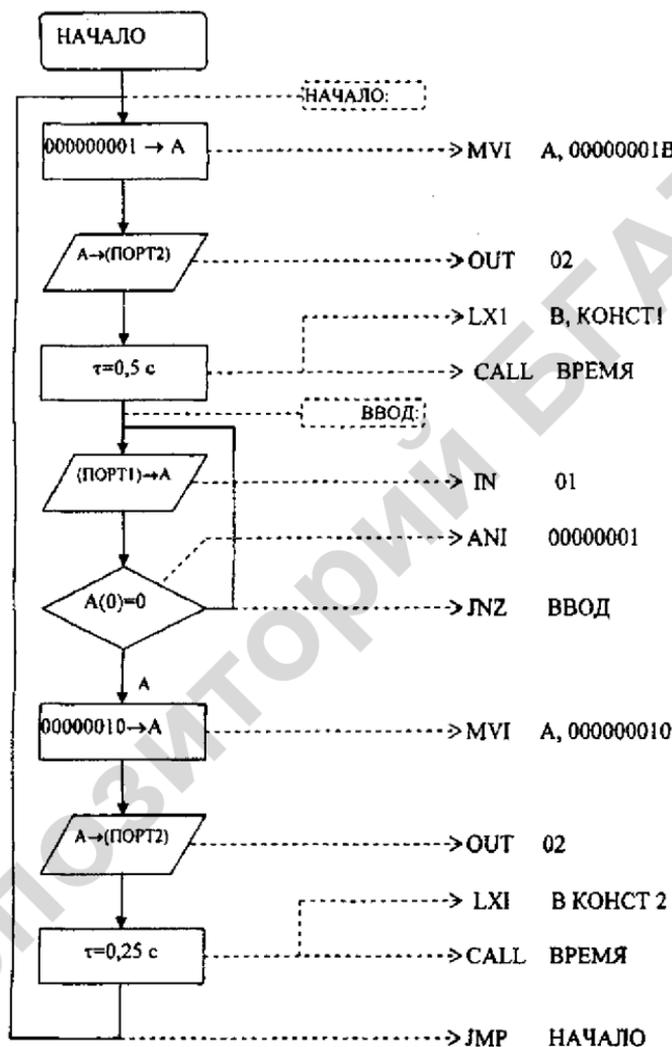


Рис. 2. 56 Структурная схема алгоритма

Команда логического умножения воздействует на все биты признаков регистра F. Нас в данном случае интересует состояние бита Z — признака нуля, который устанавливается в 1 при нулевом содержимом аккумулятора,

что в данном случае соответствует нажатой кнопке. Таким образом, команда **JNZ ВВОД** будет передавать управление команде **IN 01**, помеченной меткой **ВВОД**, до тех пор, пока признак **Z** остается равным нулю. Нажатие на кнопку приведет к установке признака **Z** в 1 и выполнению последующих команд программы.

При написании программы использовались *мнемонические обозначения команд* микропроцессора и символические имена для меток.

Программа в таком виде не может быть непосредственно выполнена на микроЭВМ. Для этого она должна быть переведена на машинный язык — язык двоичных (или объектных) кодов.

Такой перевод делают, пользуясь специальным бланком. В табл. 2.39 приведена форма такого бланка с записанной на нем нашей программой.

Этот документ программисты часто называют распечаткой программы. При написании программы первоначально используют поля с 3-го по 6-е.

В поле 4 записывают мнемоническое обозначение выполняемой команды. В поле 5 — необходимый операнд (адрес перехода, номер порта, наименование регистра и т.д.). Операнд может быть задан непосредственно в виде конкретного числа или неявно, т.е. ему может быть присвоено символическое имя, а конкретное значение, соответствующее этому имени, определяется в дальнейшем при переводе текста программы в машинные коды. Когда операнд задается непосредственно, то после него проставляется буква **D**, **H** или **B**, если число представлено в десятичной, шестнадцатеричной или двоичной форме соответственно.

Таблица 2.39

АДР	КОД	МЕТКА	МНЕМ	ОПЕ- РАНД	КОММЕНТАРИЙ
1	2	3	4	5	6
0000	3E01	начало:	MV1	A,01 H	00000001 — A
0002	D302	—	OUT	02 H	зажечь VD1, погасить VD2
0004	01 70 08	—	LX1	B, конст 1	задать величину задержки 0,5 с
0007	OD IE 00	—	CALL	ВРЕМЯ	вызов подпрограммы задержки
000A	DB 01	ввод:	IN	01 H	ввод байта из порта 1
000C	E6 01	—	AN1	01 H	маскирование неиспользованных разрядов
000E	C2 0A 00	—	JNZ	ВВОД	повторить ввод, если кнопка не нажата
0011	3E 02	—	MV1	A,02 H	00000010 — A

1	2	3	4	5	6
0013	D3 02	—	OUT	02 H	зажечь U2, погасить U1
0015	01 88 65	—	LXI	B, конст 2	задать величину задержки 0,25 с
0016	CD 1E 00	—	CALL	ВРЕМЯ	вызов подпрограммы задержки
001B	C3 00 00	—	JMP	НАЧАЛО	возврат на «начало»: подпрограмма задержки
001E	ЦВ	время:	DCX	B	уменьшить на 1 содержимое BC
001F	7B	—	MOV	A, B	переслать в A содержимое B
0020	B1	—	ORA	C	B и C равны нулю?
0021	C2 1E 00	—	JNZ	ВРЕМЯ	если нет, то повторить цикл
0024	C9	—	RET		возврат в основную программу
—	—	конст 1 конст 2	1 EQU 2 EQU	520800 260400	присвоение числовых значений символическим операндам

Поле 6 отведено для комментариев (пояснение действий, выполняемых программой). Наличие этого поля необязательно, но если вы хотите, чтобы ваша программа была понятна другим, впрочем, как и вам самим по истечении некоторого времени после ее написания (детали быстро забываются), комментарии должны присутствовать.

Поле 3 заполняется в тех случаях, когда необходимо отменить начало фрагмента программ, к которым осуществляется переход на другие части программы по команде передачи управления и вызова подпрограммы.

Теперь о полях 1 и 2. Имея перед собой таблицу кодов команд микропроцессора КР580ИК80А, мы можем заполнить эти поля. Они всегда заполняются числами в шестнадцатеричной форме, и буква *H* в конце числа при этом опускается.

Если мы при составлении программы задаем операнды неявно, то в начале или в конце текста программы определяем, чему же эти операнды равны на самом деле. Для этого в поле 3 записываем символическое имя операнда, в поле 4 — сокращенное английское слово QUE (равно), а в поле 5 — действительное значение операнда.

В поле 2 записываем коды и соответствующие операнды команд. При этом символические имена заменяются их действительными значениями. При записи 16-разрядных (двухбайтовых) операндов и адресов в поле 5 мы

придерживаемся естественной формы, т.е. слева записываем два старших, а правее — два младших разряда числа. При записи кодов операндов в поле 2 — порядок обратный, что объясняется порядком записи байтов 16-разрядных чисел в память микроЭВМ.

Первое значение адреса в поле 1 (адрес первой команды программы) выбирается программистом в зависимости от свободного места в памяти микроЭВМ. Поле заполняют так, чтобы значения, указанные здесь, соответствовали адресам ячеек памяти, содержащих коды команд.

При рассмотрении системы команд вы узнали о том, что команды бывают одно-, двух- и трехбайтовые. Это нашло отражение в формате поля 2: оно может содержать 1, 2, или 3 байта. Поэтому при расчете очередного адреса в поле 1, в зависимости от длины предшествующей команды, к предыдущему значению прибавляется 1, 2 или 3 (учтите, что здесь мы имеем дело с шестнадцатиричной арифметикой: например, $8 + 3 = B$, $B + 2 = D$, $F + 3 = 12$ и так далее). Коды второго и третьего байта в командах передачи управления и вызова подпрограммы в поле 2 вносим в таблицу в последнюю очередь, после заполнения всех строк поля 1. При этом в поле 2 получаем запись программы в машинных кодах.

Если теперь коды из поля 2 поместить в память микроЭВМ по адресам, указанным в поле 1, то при пуске микроЭВМ с начального адреса (в данном случае 0000) она начнет выполнять наш алгоритм.

Теперь рассмотрим организацию в микроЭВМ временной задержки. Часто это осуществляется программно. В данном случае для этой цели используется подпрограмма **ВРЕМЯ**.

В виде подпрограмм, как правило, оформляют часто повторяемые однотипные действия, встречающиеся в различных частях реализуемого алгоритма. Такой подход позволяет значительно сэкономить требуемый объем памяти и сделать основную программу более понятной.

Вместо того, чтобы неоднократно писать в разных местах программы совершенно одинаковые последовательности команд, программист использует там только команды вызова подпрограмм, а нужную последовательность команд оформляет однократно в виде подпрограммы.

Обратиться к подпрограмме довольно просто: в основной программе для этого нужно подготовить исходные данные, поместив их в определенные регистры микропроцессора или ячейки памяти, и затем записать команду вызова подпрограммы.

Подпрограммы можно располагать в любом месте памяти, но обычно их помещают сразу после основной программы.

В тексте основной программы нашего примера используется команда вызова подпрограммы **CALL ВРЕМЯ**. Эта подпрограмма, как впрочем, и любая другая, обладает определенной универсальностью. Изменяя значение всего лишь одного операнда, используемого в ней, можно в широких пределах изменять время ее выполнения, и следовательно, на любое заданное вре-

мы задержать работу основной программы. В нашем примере при первом вызове подпрограммы используется операнд **КОНСТ 1**, а при втором вызове подпрограммы — **КОНСТ 2**. При обращении к подпрограмме значения этих операндов заносятся в регистровую пару **BC** микропроцессора по команде **LXI B, КОНСТ 1** или **XI B, КОНСТ 2** основной программы.

Рассмотрим, как работает подпрограмма **ВРЕМЯ**. По команде **DCX B** содержимое регистровой пары **BC** микропроцессора уменьшается на 1, а затем в аккумулятор пересылается содержимое регистра **B** и производится операция логического сложения с содержимым регистра с этой регистровой пары. Если в регистровой паре **BC** код еще не стал равным 0, то после выполнения этой команды в аккумуляторе окажется число, также отличное от нуля, и выполнится команда условного перехода **JNZ ВРЕМЯ** к началу подпрограммы, все действия повторятся вновь.

При этом программисты говорят, что в программе организован цикл. Выход из него возможен только тогда, когда в результате выполнения команды **DCX B** в регистровой паре **BC** окажутся все нули. Тогда работа подпрограммы закончится выполнением команды **RET** и произойдет возврат к выполнению основной программы. Любая подпрограмма всегда должна оканчиваться командой возврата из подпрограммы.

Временная задержка подпрограммы **ВРЕМЯ** определяется, во-первых, временем, необходимым для однократного выполнения всех команд этой подпрограммы, и, во-вторых, содержимым регистровой пары **BC**.

Последнее и определяет количество программных циклов.

Для определения числа, которое необходимо поместить в регистровую пару **BC** для задания временной задержки, необходимо знать время выполнения любой команды, которое строго определено.

Зная длительность выполнения каждой команды, можно вычислить общее время однократного выполнения подпрограммы **ВРЕМЯ**. Оно составляет 9,6 мкс. Следовательно, для задания временной задержки в 0,5 с подпрограмма **ВРЕМЯ** должна быть выполнена $0,5 / (9,6 \cdot 10^{-6}) = 52\ 080$ раз. Полученный результат необходимо присвоить операнду **КОНСТ 2**. Для организации задержки в 0,25 с операнду **КОНСТ 1** необходимо присвоить значение, уменьшенное вдвое.

При переводе программы в машинные коды и заполнении поля 2 распечатки программы значения второго и третьего байтов команд загрузки регистровой пары **BC** должны быть записаны шестнадцатеричными числами.

Приведенный выше пример программирования на языке Ассемблер МП КР580 ИК 80А позволяет уяснить принципы работы и возможности использования микроЭВМ в системах автоматического управления технологическими процессами.

Практически МП выполняет четыре основных типа операций:

- чтение слова из внешних и внутренних регистров;

- арифметических;
- логических;
- запись слова во внешние и внутренние регистры.

Используя эти операции можно разрабатывать программы любой сложности.

Для подготовки таких программ требуются программисты высокой квалификации. После составления программ наступает длительный период «отдавливания» оставшихся ошибок. Программисты должны досконально знать особенности языка и организацию ЭВМ.

Естественно, пользователи управляющей микроЭВМ не понимают языка Ассемблера и для расшифровки текста программы, написанной в машинных кодах, должна находиться специальная программа-транслятор (от англ. translate — переводить), которая переводит текст исходной программы на язык, понятный пользователю. Одним из таких технологических языков является *язык релейной логики*. Это программирование, которое ведется с использованием терминов, принятых в практике автоматического управления.

Программирование микроконтроллеров.

Начиная с 1996 года рядом фирм начато массовое производство логических модулей на базе однокристалльных микроЭВМ.

Логические модули обеспечивают решение относительно простых задач автоматизации. В них вместо соединения проводов используются логические соединения функций, обычно реализуемых аппаратно с помощью отдельных устройств. Но в отличие от программируемых контроллеров сложность устройств должна была позволять работать с ними персоналу без специальных знаний в области программирования. С этой же целью ввод программы в логический модуль осуществляется непосредственно со встроенного индикатора и клавиатуры.

Главной особенностью логических микроконтроллеров является то, что схема релейной автоматики собирается из программно реализованных функциональных блоков.

В распоряжении пользователя имеются логические функции типа И, ИЛИ, НЕ и т.п., большое число типов реле, в том числе реле с задержкой включения и выключения, импульсное реле, реле с самоблокировкой, а также такие функции, как выключатель с часовым механизмом, тактовый генератор, календарь, часы реального времени с возможностью автоматического перехода на летнее/зимнее время и др.

Программирование логических микроконтроллеров на языке FBD (функциональных блоковых диаграмм), а точнее — ввод схемы, может выполняться с помощью встроенных клавиатуры и дисплея. Оно сводится к выбору необходимых функциональных блоков, соединению их между собой и задаанию параметров настройки блоков (задержек включения/выключения, значений счетчиков и т.д.). Для хранения управляющей программы в модуле имеется встроенное энергонезависимое запоминающее устройство. Создание резервной копии программы, а также перенос ее в другие логические кон-

тронеры может быть осуществлен с помощью специальных модулей памяти, устанавливаемых в интерфейсное гнездо. Модули памяти так и называются по цвету корпуса — «желтый» и «красный». При использовании желтого модуля программа может быть свободно перенесена из него в логический контроллер и обратно. Если программа переносится из красного модуля, то она может исполняться только в том случае, если модуль памяти остается вставленным в модуль. Копирование ее на другой модуль памяти невозможно. Таким способом обеспечивается защита управляющей программы от несанкционированного размножения.

Однако ввод программы с панели управления является делом неблагодарным и может быть оправдан только для небольших по объему программ или в случае острой необходимости внесения корректив в уже работающую программу непосредственно на объекте. А учитывая то, что программу все равно предварительно приходится прорисовывать на бумаге, становится очевидной необходимость использования программного продукта — в модулях LOGO!, под названием LOGO! Soft Comfort. Этот пакет позволяет разрабатывать в графической форме и документировать программы для логического контроллера на компьютере и, кроме того, отлаживать их в режиме эмуляции логического модуля. Принцип работы аналогичен используемому при ручном вводе, но вот эффективность во много раз выше. Выбранные функциональные блоки мышью перетаскиваются на рабочее поле, затем соединяются и параметрируются. Для каждого функционального блока может быть написан комментарий, который существенно облегчит понимание принципа работы программы другому пользователю или поможет самому разработчику через некоторое время вспомнить собственные замыслы. Начиная работу над программой, пользователь задает тип используемого логического модуля. В этом случае при вводе программы будут автоматически контролироваться все имеющиеся ограничения по объему памяти и возможности использования тех или иных функций. Часто имеет смысл разработать программу протестировать с помощью встроенного эмулятора микроконтроллера. Если по результатам эмулирования корректировка программы не требуется, то ее можно загрузить в память микроконтроллера с помощью специального кабеля подключенного к тому же интерфейчному гнезду, что и модули памяти.

Для примера приведем разработку программы управления передвижением кормораздатчика, приведенного на рис. 2.44, изменив алгоритм управления. Будем считать, что кормораздатчик находится в крайнем левом положении. Пуск кормораздатчика производится сигналом часового механизма, после чего он передвигается вправо до упора и останавливается. Затем с выдержкой времени производится реверс электродвигателя. Кормораздатчик передвигается в крайнее левое положение и останавливается.

Релейно-контактная схема управления кормораздатчиком по новому алгоритму управления приведена на рис. 2.57.

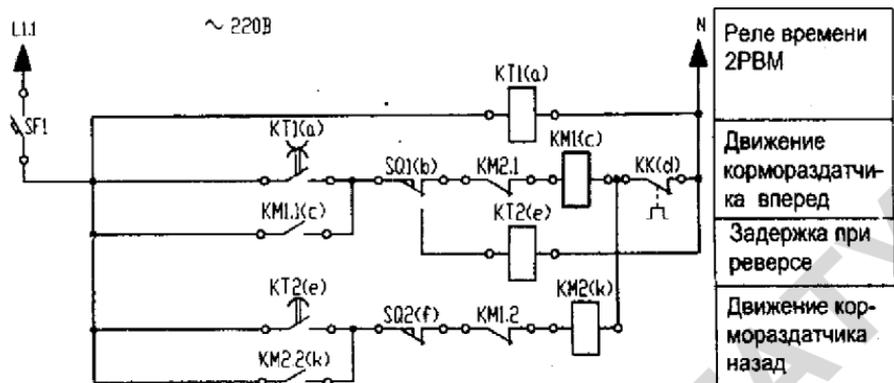


Рис. 2.57 Принципиальная релейно-контактная схема управления перемещением кормораздатчика

Произведем запись структурных схем контактов исполнительных механизмов кормораздатчика:

$$f(c) = (a + c) \cdot (\bar{b} \cdot \bar{d});$$

$$f(e) = (a + c) \cdot b;$$

$$f(k) = (e + k)(\bar{f} \cdot \bar{d}).$$

Этой записи алгоритма работы исполнительных механизмов будет соответствовать блок-схема программы управления, приведенная на рис. 2.58, которая вводится в логический модуль со встроенного индикатора и клавиатуры, или предварительно на экран монитора компьютера.

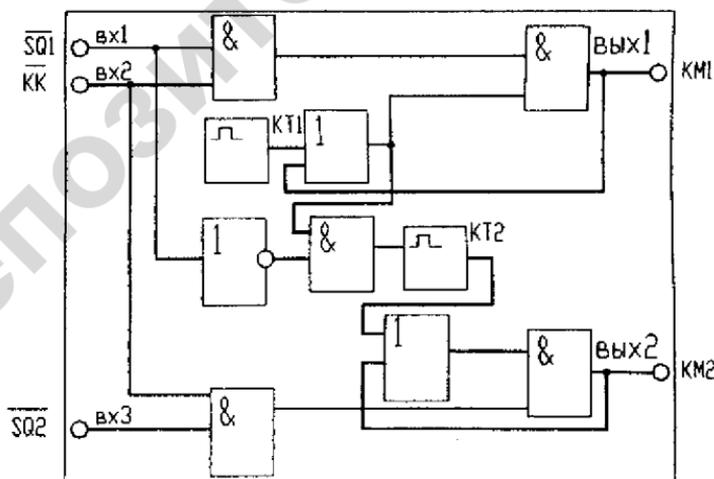


Рис. 2.58 Блок-схема программы управления

Этому блоку-схеме программы управления должна соответствовать схема подключения логического модуля, которая изображена на рис. 2.59

Дальнейшее совершенствование логического контроллера предусматривает использование более мощного 32-разрядного процессора и усовершенствование архитектуры программы, что обеспечивает почти десятикратное повышение быстродействия и соответственно более короткий цикл работы программы микроконтроллера. Увеличение объема памяти в два раза дает возможность использовать в программе уже не 56, а до 130 функциональных блоков, а также снимает ограничения на максимальное количество в одной программе таймеров, счетчиков, часов, аналоговых триггеров и некоторых других блоков.

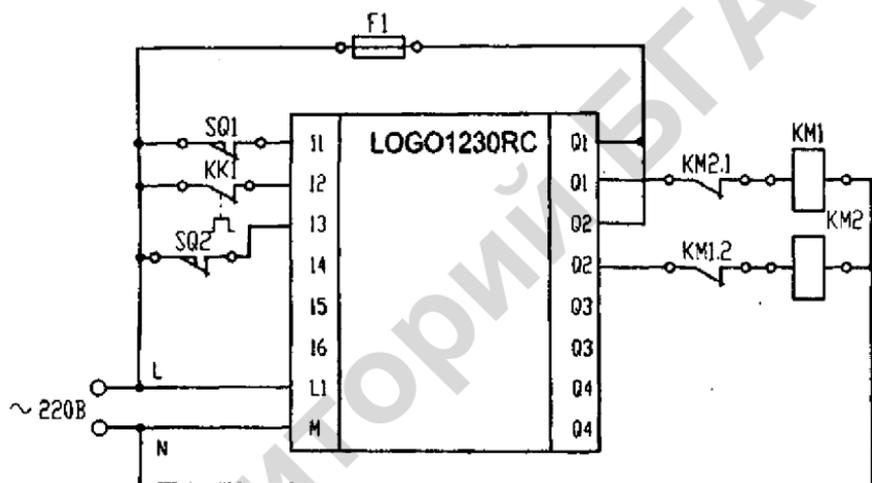


Рис. 2.59 Принципиальная электрическая схема управления передвижения кормораздатчиком (схема подключения)

В новом микроконтроллере может быть применен дисплей большего размера, в котором имеются 4 строки по 12 знакомест в каждой против 4-х строк и 10-ти знакомест в старом. В одной строке дисплея теперь могут быть одновременно отображены и текстовое сообщение, и текущее значение величины, и значение параметра настройки, которое может быть еще и оперативно изменено. Общее количество текстовых сообщений используемых в одной программе, увеличено с 5-ти до 10-ти. Появилось несколько новых функций, в частности, 8-разрядный регистр сдвига, аналоговый усилитель, аналоговый дифференциальный триггер и др. Расширены возможности и ряда уже существующих функций.

Не осталось без изменений и программное обеспечение. В новой версии пакета программ учтены все изменения аппаратного обеспечения микроконтроллера и, кроме того, в нее добавлены новые возможности. Так, при создании программы пользователь теперь может, кроме *языка FBD (функциональные блочные диаграммы)*, использовать и второй язык — **LAD (релейно-контактные схемы)**. Клавиши управления курсором могут быть задействованы в программе в качестве входов, что в некоторых случаях позволяет отказаться от подключения дополнительных внешних кнопок. Функциональные блоки теперь могут иметь редактируемые 8-символьные имена вместо имевших место буквенно-цифровых номеров. И, наконец, новое программное обеспечение позволяет осуществить отладку программы в реальном времени на работающем устройстве. Все эти нововведения направлены на то, чтобы сделать логический микроконтроллер еще более мощным и более удобным инструментом для автоматизации все более широкого круга задач.

2.3 Синтез систем автоматического регулирования (САР)

2.3.1 Характеристика технологической установки как объекта автоматизации

Технологическая установка как объект автоматизации (ОА) — это реальная технологическая установка, функционирование которой характеризуется некоторыми показателями качества — технологическими параметрами, являющимися выходными координатами Y , а также искусственно создаваемыми входными воздействиями X прямо или косвенно влияющими на состояние параметра.

Простейшие объекты автоматизации имеют одну выходную величину Y и соответственно одно входное воздействие X .

Например, у водонагревателя-термоса (рис. 2.60, а) выходной величиной (параметром) является температура воды θ_w , а управляющим воздействием — электрическое напряжение U_c , подаваемое на электронагреватели.

К простым можно отнести также технологические установки с несколькими входными и выходными координатами, если между этими координатами не существует функциональных взаимозависимостей. Такой объект можно рассматривать как несколько простейших по соответствующим параметрам и каналам входных воздействий. Например, в свинарнике при смешивании комбикорма с водой и другими добавками вполне допустимо процессы заполнения смесителя водой, комбикормом и т.д. рассматривать отдельно (рис. 2.60, б).

Простые объекты могут иметь также несколько входных и одну выходную координату (рис. 2.60, в), например, у мобильного кормораздатчика (рис. 2.2) параметром является количество корма, загружаемого в кормушку, а входными воздействиями являются скорость передвижения кормораздатчика вдоль кормушек V и производительность выгрузного устройства Q .

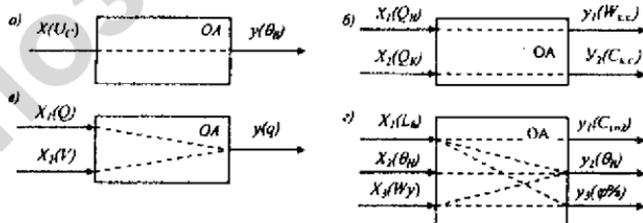


Рис. 2.60 Структура объекта автоматизации: а — водонагревателя-термоса; б — кормосмесителя (Q_w — подача воды; Q_k — подача комбикорма; $W_{к.с.}$ — влагосодержание корма; $C_{к.с.}$ — концентрация кормосмеси); в — мобильного кормораздатчика; г — микроклимата птичника (L_v — вентиляция; θ_w — обогрев; W_y — увлажнение; C_{co2} — концентрация углекислого газа; θ_k — температура воздуха; $\varphi\%$ — влажность воздуха)

И, наконец, сложные объекты с несколькими взаимосвязанными структурами входных и выходных координат требуют учета взаимного влияния

смежных воздействий и параметров. Например, при регулировании микроклимата, вентиляция влияет не только на концентрацию газов CO_2 , NH_3 , H_2S в помещении, но и на температуру и влажность (рис. 2.60, з).

Объект автоматизации является частью системы автоматического регулирования, и поэтому его свойства непосредственно влияют на работу и качество регулирования системы в целом. Для того, чтобы правильно построить САР, требуется знать характеристики объекта регулирования. Изучение объекта и его свойств на практике предшествует построению САР.

Обобщенные координаты ОА связаны между собой функционально.

Объект регулирования может находиться в состоянии равновесия при условии равенства поступления в объект и выхода из него вещества или энергии.

Статической характеристикой ОА называется зависимость выходной переменной от входной в статическом состоянии $y = f(x)$.

Статическую характеристику можно представить в виде алгебраических уравнений, таблиц или графиков.

Она может быть линейной и нелинейной.

Статическая характеристика является *линейной*, если она описывается линейным уравнением, а ее график — прямая линия (рис. 2.61, а).

Если график *нелинейной* характеристики изображается кривой или ломаной линией (рис. 2.61, б), то описывается она нелинейным уравнением.

Статическая линейная характеристика, приведенная на (рис. 2.61, а) описывается уравнением

$$y = a + kx, \quad (2.59)$$

где a и k — постоянные величины.

Линейная статическая характеристика (см. рис. 2.61, а) оценивается углом ее наклона, тангенс которого равен коэффициенту усиления k элемента (см. уравнение 2.60). Коэффициент усиления показывает, во сколько раз изменение выходной величины больше или меньше изменения входной величины, и, следовательно, может быть как больше, так и меньше единицы. Размерность k зависит от размерности переменных. Только если они имеют одинаковую размерность, k является безразмерной величиной.

Расчеты систем автоматического регулирования производятся для сравнительно небольших отклонений переменных от их начальных (базовых) значений (x_0 и y_0). Поэтому чаще используется запись уравнения не в абсолютных значениях переменных, а в их приращениях (Δx и Δy):

$$\Delta y = k\Delta x; \quad \Delta y = y_{\text{вых}} - y_0; \quad \Delta x = x_{\text{вх}} - x_0. \quad (2.60)$$

Большинство реальных элементов систем автоматического регулирования в большей или меньшей степени нелинейны. Однако, учитывая сложность расчета систем, содержащих нелинейные элементы, проводят *линеаризацию* их

нелинейных характеристик, т.е. заменяют реальные нелинейные уравнения близкими к ним линейными уравнениями. Допустимость линеаризации обосновывается сравнительно небольшими отклонениями переменных от их установившихся значений при автоматическом регулировании. Определяют допустимость линеаризации по погрешности, получаемой в этом случае:

$$\gamma = \frac{f(x) - f_1(x)}{f(x)} \leq 0,1 \div 0,2, \quad (2.61)$$

где $f_1(x)$ — уравнение линеаризованной характеристики.

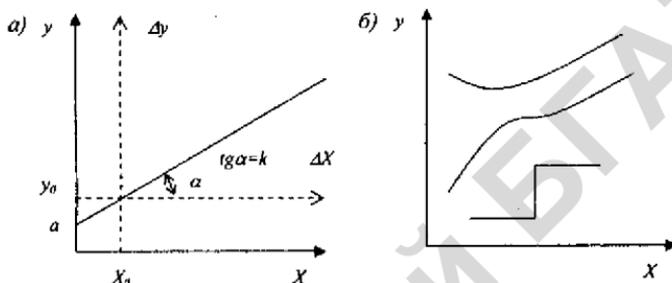


Рис. 2.61 Статические характеристики: а – линейная, б – нелинейная

Линеаризацию характеристик проводят либо графическим способом, либо аналитически. В первом случае уравнение кривой заменяют уравнением касательной к этой кривой (метод малых приращений, рис. 2.62, а) либо уравнением секущей (метод осреднения, рис. 2.62, б).

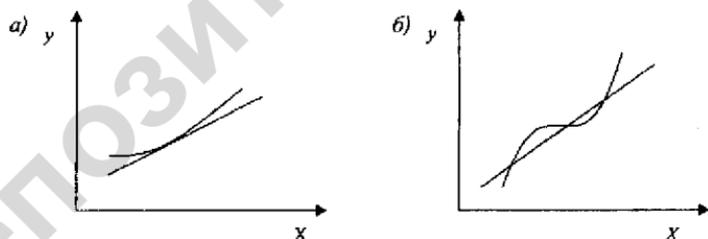


Рис. 2.62 Линеаризация нелинейных статических характеристик: а – методом касательной; б – методом секущей

Если нелинейная функция задана аналитически, то для ее линеаризации используют разложение в ряд Тейлора (при условии, что нелинейная функция может быть разложена в этот ряд):

$$y = y_0 + \frac{dy}{dx} \Delta x + \frac{d^2y}{2! dx^2} \Delta x^2 + \dots \quad (2.62)$$

Для малых отклонений ΔX можно отбросить члены ряда, содержащие производные второго и высшего порядков:

$$y = y_0 + \frac{dy}{dx} \Delta x,$$

или
$$\Delta y = \frac{dy}{dx} \Delta x \quad (2.63)$$

Если выходная переменная является функцией нескольких независимых входных воздействий, то при линеаризации статической характеристики следует определить частные производные выходной переменной по каждому входному воздействию, а приращение выходной переменной находить как сумму частных приращений:

$$\Delta y = \frac{dy}{dx_1} \Delta x_1 + \frac{dy}{dx_2} \Delta x_2 + \dots \quad (2.64)$$

Одним из важнейших свойств линейных объектов является возможность использовать для них *принцип суперпозиции*, или *наложения*, основанной на том, что общая реакция объектов на сумму входных воздействий равна сумме реакций на каждое входное воздействие в отдельности. Этот принцип позволяет экспериментально исследовать свойства путем поочередного приращения всех возможных для этого случая входных воздействий.

Рассмотрим линеаризацию характеристики множительного элемента, который описывается уравнением $y = x_1 x_2$, относительно точки $y_0 = x_{1,0} x_{2,0}$. Множительный элемент нелинеен, так как не обладает свойством суперпозиции. Используя уравнение (2.64), получаем

$$\Delta y = x_{2,0} \Delta x_1 + x_{1,0} \Delta x_2$$

Статическую характеристику для отдельных простых объектов можно получить эмпирическим путем.

Так, температура воды θ_B в установившемся режиме водонагревателя выражается уравнением:

$$\theta_B = \theta_n + \frac{U_c^2}{RA}, \quad (2.65)$$

где θ_n — температура окружающей среды;

$R = f(R, U)$ — электрическое сопротивление нагревателя;

A — теплоотдача корпуса нагревателя.

Желая получить то или иное значение температуры θ_B (рис. 2.60) следует подводить к зажимам нагревателя соответствующее питающее напряжение U_n .

Для кормораздатчика (рис. 2.2) соотношение параметров выражается уравнением:

$$q_n = \frac{QI}{V_j}, \quad (2.66)$$

Желая получить номинальное значение дозы корма q_n необходимо установить соответствующие значения Q_i и V_j .

Таким образом, для обеспечения *управляемости объекта* в структуре объекта автоматизации необходимо наличие регулирующего органа (РО) — устройства, обеспечивающего целенаправленное воздействие на объект управления (рис. 2.68), в результате чего он переходит в требуемое состояние.

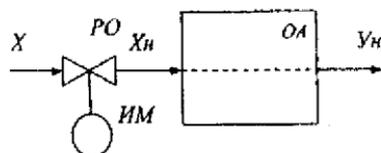


Рис. 2.63 Схема управляемости объектом

Воздействие на регулирующий орган осуществляется исполнительным механизмом (ИМ).

Статические характеристики необходимы для правильного выбора параметров установок и машин при проектировании технологического процесса, определения нормальных режимов работы оборудования, оптимизации технологических процессов и конструирования объектов с заранее заданными свойствами.

Функционирование реальных технологических установок характеризуется наличием различных возмущений. Этими возмущениями могут быть: изменение скоростей подачи материала, колебания температур, изменение физико-механических свойств материала, влияние износа и старения оборудования, наводки и шумы по каналу управления и ряд других факторов, а также различных их комбинаций. Такие *изменения потоков вещества или энергии в объекте управления называются возмущениями*.

Возмущения непосредственно влияют на состояние управляемой (контролируемой) величины.

Для термоса-водонагревателя возмущениями могут быть колебания температуры наружного воздуха от θ_{\min} до θ_{\max} , колебания напряжения в сети от $U_{c.\min}$ до $U_{c.\max}$.

Соответственно, значение температуры воды в водонагревателе будет меняться в пределах:

$$\left(\theta_{\min} + \frac{U_{c.\min}^2}{RA}\right) \leq \theta_H \leq \left(\theta_{\max} + \frac{U_{c.\max}^2}{RA}\right) \quad (2.67)$$

Количество корма в кормушке будет меняться в пределах:

$$\left(\frac{Q_{\min}'}{V_{\max}}\right) < q_H < \left(\frac{Q_{\max}'}{V_{\min}}\right) \quad (2.68)$$

Таким образом, объект управления характеризуется совокупностью трех координат, определяющих его текущее состояние:

1) *выходной параметр* Y , характеризующий обобщенный технико-экономический показатель, которым оценивают качество и экономическую

эффективность работы объекта. Этот показатель является определяющим при выборе технологического режима управления;

2) *управляющие воздействия* X ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), при помощи которых поддерживается заданный технологический режим процесса (значения входных параметров ограничены технологическими условиями процесса).

$$X_{j \min} \leq X_j \leq X_{j \max} \quad (j = 1, 2, \dots, m)$$

3) *возмущающие воздействия* F_n (F_1, F_2, \dots, F_m) характеризующие часовые, суточные и сезонные изменения параметров объекта управления, которые могут принимать значения, выходящие за допустимые пределы.

2.3.2 Выбор способа управления

Как видно, из приведенных примеров, в каждом конкретном объекте возмущающих потоков может быть множество.

Изменения потоков вещества или энергии, непосредственно влияют на состояние управляемой (контролируемой) величины. По отношению к температуре — это потоки теплоты, к влажности — потоки воды или водяных паров, к давлению — потоки газов или жидкостей.

Возмущения, которые порождены функционированием технологического процесса, называются *нагрузкой*, остальные представляют *помехи* или просто *потери*.

Так, тепловыделения от животных в свинарнике как объекте регулирования температуры являются нагрузкой, теплотокки через ограждения — помехами, а потоки теплоты с инфильтруемым воздухом — потерями.

Возмущения могут быть направлены в объект, из него или иметь переменное направление. Например, в начале периода инкубации тепловые потоки направлены в сторону яиц, а в конце — от яиц в окружающую среду.

Обычно возмущающие потоки в реальных объектах существенно отличаются по своему значению. Считается допустимым, что теми из них, которые в общем балансе составляют менее 5% можно пренебречь. Однако в расчетах это допущение обязательно оговаривается. Каждый из потоков (а все они, как правило, физической природы) имеет индивидуальные, только ему присущие характеристики. Так, многие потоки можно описать известными закономерностями или эмпирическими зависимостями, как, например, расход теплоты на испарение влаги:

$$Q_{\text{исп.}} = (597 + 0,45 \theta_{\text{ж}}) M_{\text{ж}}, \quad (2.69)$$

где $\theta_{\text{ж}}$ — температура испаряемой жидкости, °С;

$M_{\text{ж}}$ — поток жидкости на испарение, кг/ч.

В данном случае возмущение расхода теплоты на испарение влаги определяется изменением потока жидкости на испарение:

$$\Delta M_{\text{ж}} = M_{\text{ж. max.}} - M_{\text{ж. min.}}$$

Расход тепла на подогрев поступающего в животноводческое помещение воздуха определяется из выражения:

$$Q_B = L_B C_B \rho_B (\theta_B - \theta_H), \quad (2.70)$$

где L_B — обмен воздуха, м³/ч;

C_B и ρ_B — удельные теплоемкость и плотность воздуха;

θ_B, θ_H — температура внутри и вне помещения, °С.

Максимальный расход тепла на подогрев воздуха определяется из выражения $Q_{B, \max} = L_B C_B \rho_B (\theta_B - Q_{H, \min})$, и является максимальным возмущением по расходу тепла.

Если все энергетические и материальные потоки объекта описываются математическими уравнениями, то, составив общее уравнение баланса всегда можно определить аналитически (с определенной точностью) пределы изменения параметра от заданного (номинального) значения. Номинальное значение параметра обычно задается в определенных пределах $Y_{\min} \leq Y_H \leq Y_{\max}$.

Если в процессе функционирования установки Y_H не выходит за допустимые значения (рис. 2.64, а) применяется ручное управление, при котором установку положения регулирующего органа в соответствующее положение производят вручную в процессе настройки системы.

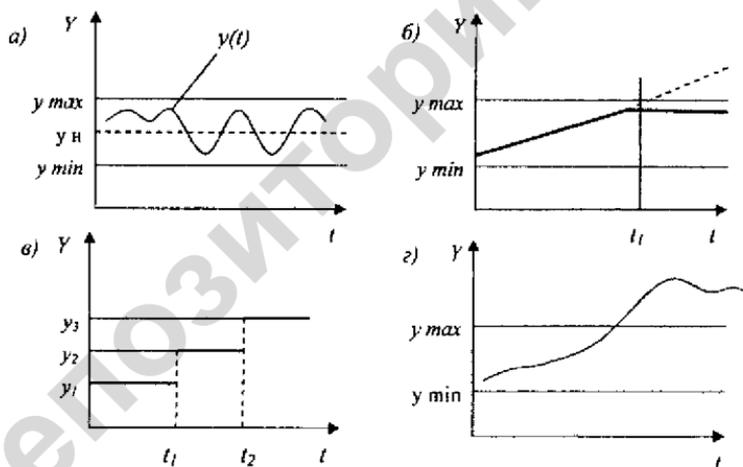


Рис. 2.64 Графики процессов: а — при ручном управлении; б, в — при программном управлении, г — при использовании регулятора

Если удастся достаточно точно установить функциональную зависимость $F=f(t)$, то при отсутствии особых требований к параметру может быть реализован закон программного управления регулирующим органом и уже на этой стадии окончательно сформулировать алгоритм функционирования технологического объекта в виде аналитических зависимостей регулирующего

воздействия X_p во времени для обеспечения заданного алгоритма функционирования (рис. 2.64, б, в)

Многие из возмущающих потоков в технологических процессах сельскохозяйственного производства вообще не являются закономерными и не поддаются описанию математическими уравнениями; они представляют собой случайные (стохастические) функции времени. Примером такого потока является, например, температура наружного воздуха.

Если в процессе функционирования системы значение параметра выходит за допустимые значения (рис. 2.64, г) для установки регулирующего органа в соответствующее положение, обеспечивающее номинальное значение параметра, используют регулирующие приборы.

Задача управления такими объектами формулируется так: в данной технологической ситуации, определяемой значениями параметров Y_m возмущениями $F_n(t)$, найти такие значения управляющих воздействий $X_y(t)$ с учетом соответствующих ограничений, при которых выходной параметр Y принимает экстремальное значение и не выходит за заданные пределы.

2.3.3 Виды систем автоматического регулирования

Система автоматического регулирования (САР) — это САУ с замкнутой цепью воздействия, в которой управляющее воздействие X_y вырабатываются в результате сравнения истинного значения управляемой переменной $Y(t)$ с ее **предписанным (заданным — $Y_{зд}$)** значением (рис. 2.65, а).

Таким образом, в САР результат измерения воздействует на процесс выработки управляющих воздействий, т.е. в процессе управления все время осуществляется **обратная связь**. Большинство биологических и экономических систем также содержит явно выраженные замкнутые цепи.

Регуляторы применяются для регулирования одного или соотношения двух параметров технологического процесса.

Отклонение регулируемой величины от заданного значения в системе управления может быть вызвано различными возмущающими воздействиями $F(t)$ — изменениями внешних факторов и параметров самой системы, или может появиться при изменении задающего воздействия. Поскольку в САР регулирующее воздействие получается в результате преобразования отклонения, которое может быть вызвано любым из перечисленных выше факторов, то такие системы стремятся уменьшить отклонение независимо от того, какими из этих факторов оно вызвано.

При построении САР **по отклонению** необходимо иметь средства автоматического измерения регулируемой величины. В отсутствие таких средств используется другой принцип управления — по возмущению, при этом предполагается наличие средств измерения возмущающего параметра.

На рис. 2.65, б приведена схема системы управления **по возмущению**. Такие системы по сравнению с системами по отклонению, обладают меньшей точностью, так как могут компенсировать только те возмущения, по ко-

торым ведется управление. Автоматические системы, использующие принцип регулирования по отклонению реагирует на любые возмущения, так как все они вызывают изменение регулируемой переменной. В то же время быстроедействие последних ниже, так как в первом случае регулятор непосредственно реагирует на изменение возмущения, а во втором — только на реакцию объекта на эти возмущения, которая сама по себе может быть довольно инерционной.

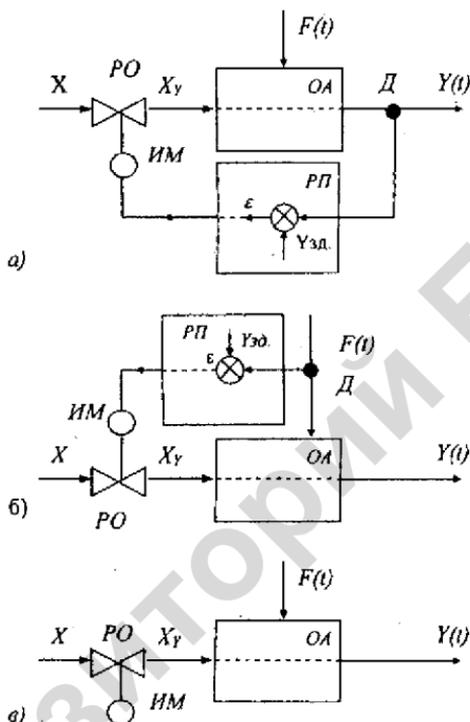


Рис. 2.65 Схемы управления: а — регулирование по отклонению; б — управление по возмущению; в — схема разомкнутой САУ; ⊗ — сравнивающее устройство; д — датчик

Существует и третий вид автоматических систем при их классификации по принципу управления — *системы комбинированного управления*, использующие как принцип регулирования по отклонению, так и принцип управления по возмущению.

При отсутствии средств измерения, как параметра, так и возмущений система управления «вырождается» в разомкнутую систему управления (рис. 2.65, в), где управляющее воздействие X_y устанавливается вручную оператором, настройкой положения регулирующего органа (РО).

2.3.4 Регулирующие контуры

Регулирующий контур представляет собой совокупность управляемого объекта и измерительно-управляющей аппаратуры (регулятора).

В статическом состоянии в управляемом объекте существует равновесие материальных и энергетических потоков. Причем этому состоянию соответствуют определенные значения переменных (температуры, давления, тока, скорости и т.п.), характеризующих протекание в управляемом объекте технологических процессов. Если при этом *истинные значения* управляемых (регулируемых) переменных соответствует их *предписанным* (заданным технологическим) *значениям* ($U_n, U_{зд}$), то указанное статическое состояние соответствует требуемому режиму ведения технологического процесса.

Под влиянием тех или иных факторов (возмущающих воздействий) статическое состояние управляемого объекта может быть нарушено и в возникшем неустановившемся или переходном режиме работы произойдет *отклонение* истинного значения регулируемой переменной от предписанного (заданного) ее значения.

Возникает ошибка автоматического регулирования, или *рассогласования* ($U_{зд} - U$), которое вызывает *управляющее (регулирующее)* воздействие (X_u) регулятора на объект.

Для устранения рассогласования и приведения управляемого объекта к требуемому статическому состоянию регулятор воздействует на приток или расход в объекте вещества или энергии посредством установки регулирующего органа в соответствующее положение.

Регулирующее воздействие является *внутренним воздействием* САР, так как это воздействие одной части автоматической системы (регулятора) на другую ее часть (объект).

Конструктивно электронный *регулятор состоит из:*

- *датчика*, предназначенного для измерения физических незлектрических величин и преобразования их в сигналы аналогового или цифрового вида;
- *регулирующего прибора (РП)*, сравнивающего истинное значение переменной с предписанным значением и преобразующим ошибку рассогласования ϵ по определенным законам в управляющий сигнал;
- *исполнительного механизма (ИМ)*, преобразующего управляющий сигнал в управляющее воздействие;
- *регулирующего органа (РО)*, обеспечивающего изменение регулирующего потока вещества или энергии в соответствии с управляющим воздействием.

При воздействии регулятора на объект его выходная величина (параметр) начинает изменяться во времени. Уравнения, устанавливающие зависимость изменения выходных координат объекта от вариации входных воздействий, называются *динамическими характеристиками объекта управления*.

Динамическая характеристика определяет продолжительность и характер процесса изменения выходной переменной объекта во времени при переходе объекта из одного установившегося состояния в другое и описывается

уравнением вида $y = f(x, t)$, где t — время. Изменение регулируемой величины зависит от свойств объекта и от характера возмущения.

Параметры объекта принято определять по динамической характеристике, представляющей собой изменение регулируемой величины во времени при скачкообразном изменении положения регулирующего органа. Графики ступенчатых воздействий показаны на рис. 2.66, а.

Для представления динамических характеристик объектов могут использоваться переходная характеристика и передаточная функция.

Переходной характеристикой объекта $y(t)$ (рис. 2.66, б) называется динамическая характеристика, определяющая изменение выходной величины объекта во времени при входном ступенчатом воздействии: $x(t) = A \cdot l(t)$, где $l(t)$ — единичное ступенчатое воздействие; A — постоянная.

При этом $l(t) = 0$ при $t < 0$.

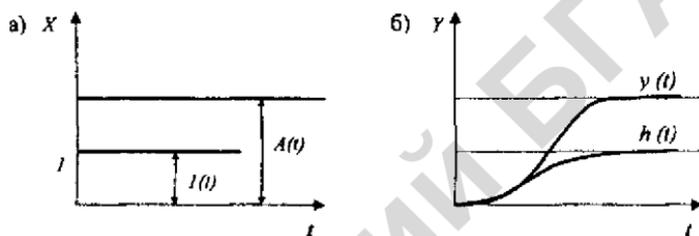


Рис. 2.66 График ступенчатого воздействия (а) и переходная характеристика (б)

Переходная характеристика, получаемая при $x(t) = l(t)$, называется **переходной функцией** и обозначается $h(t)$ (рис. 2.66, б).

Удобство переходной характеристики основано на применимости к линейным системам принципа суперпозиции. В соответствии с этим принципом при подаче на линейную систему совокупности различных воздействий ее реакции равна сумме реакций на каждое из этих воздействий в отдельности. Следовательно, зная переходную функцию объекта, как реакцию на единичное входное ступенчатое воздействие, можно определить его реакцию на любое другое входное воздействие, предварительно представив его с определенным приближением в виде совокупности единичных входных ступенчатых воздействий.

Динамические свойства управляемого объекта определяют как выбор автоматического регулятора, так и характер переходного процесса после нарушения равновесия системы.

2.3.5 Идентификация характеристик объекта управления

Понятие идентификации. Для анализа и расчета АСР необходимо иметь математическое описание (математическую модель) объекта управления. *Получение математического описания объекта управления*, в определенном смысле математической модели по реализации его входных и выходных сигналов, называется его *идентификацией*.

В качестве математических моделей ОУ используют следующие основные характеристики ОУ: статическую характеристику, импульсную переходную функцию, переходную функцию, передаточную функцию, частотные характеристики, описывающие функции, дифференциальные, разностные, интегральные и интегро-дифференциальные уравнения, связывающие входные и выходные сигналы ОУ.

Теоретически уравнение объекта можно получить на основе физических законов, которыми определяется его работа. В большинстве случаев точное теоретическое описание ОУ весьма затруднительно из-за сложности протекания в них технологических процессов. Поэтому на практике математическое описание объекта обычно получают экспериментальными методами.

Эти методы дают возможность более быстро и удобно получить результат. Математические модели объектов, полученные по этим методам, значительно проще, с ними удобнее проводить исследования на последующих этапах разработки систем автоматизации. Вместе с тем такие модели имеют ряд недостатков, во-первых, в них совершенно не отражаются физические и химические закономерности процессов, во-вторых, в этих моделях строго ограничены допустимые диапазоны изменений входных воздействий. Эти модели применимы лишь для тех областей изменений переменных, в которых они разрабатывались. Однако, как правило, многие классы автоматических систем разрабатываются именно для обеспечения условий функционирования технологических процессов в заданных рабочих областях изменений переменных. В связи с этим экспериментальные методы получения математических моделей широко применяются при автоматизации технологических процессов.

Во многих случаях разработки математических моделей хороший результат получается при сочетании аналитического и экспериментального методов построения моделей, т.е. при использовании комбинированного метода. При этом на основании аналитических методов создается качественное описание модели объекта, а с помощью экспериментальных методов определяются параметры этих моделей.

Физические процессы как объекты управления. Каждый технологический процесс как объект управления имеет обобщенные входную (воздействие) и выходную (параметр) координаты, между которыми во времени существует функциональная связь. В свою очередь, каждая из координат может быть заменена другой, связанной с ней непрерывной взаимнооднозначной функциональной зависимостью.

Функциональная зависимость между указанными координатами объектов управления во времени для идеализированных физических процессов выражается однотипными дифференциальными уравнениями, приведенными в табл. 2.40.

Таблица 2.40

Уравнения динамики идеализированных физических процессов

Физический процесс	Уравнение
1 Поступательное движение	$m \frac{dv}{dt} = F,$ <p>где m – масса движущегося тела; v – линейная скорость; F – результирующая действующая сила</p>
2 Вращательное движение	$J \frac{d\omega}{dt} = M,$ <p>где J – момент инерции вращающегося тела; ω – угловая скорость вращения; M – результирующий приложенный момент</p>
3 Для жидкостей в сосудах	$S \frac{dh}{dt} = Q,$ <p>где S – площадь основания сосуда; h – уровень жидкости в сосуде; Q – объемный поток жидкости;</p>
4 Для нагревателя (охлаждителя) тел	$mc \frac{d\theta}{dt} = Q,$ <p>где m – масса нагреваемого тела; c – удельная теплоемкость; θ – температура тела; Q – тепловой поток</p>
5 Для увлажнения (сушки) тел	$m_c \frac{d\omega}{dt} = W,$ <p>где m_c – масса сухого вещества в теле; ω – относительная влажность вещества; W – поток влаги</p>
6 Для выпаривания	$m_c \frac{d\varepsilon}{dt} = W_x = Q_a a$ <p>где m_c – масса абсолютно сухого вещества; ε – жидкостный коэффициент вещества; W_x – количество испаряемой жидкости в единицу времени; Q, a – подводимая теплота и коэффициент пропорциональности.</p>

Аналогичные уравнения можно написать для многих других физических процессов. Так, для зарядки электрического конденсатора:

$$C \frac{dU_c}{dt} = I_c,$$

где C — емкость конденсатора;

U_c — напряжение на конденсаторе;

I_c — ток зарядки (разрядки) конденсатора.

Практически все встречающиеся в технологических объектах процессы можно описать однотипными математическими уравнениями динамики, обобщенный аналог которых может быть представлен в виде:

$$L \frac{dy}{dt} = x \quad (2.71)$$

где L — емкостный коэффициент объекта;

y — выходная координата (параметр) объекта;

x — обобщенная входная координата (результатирующее входное воздействие).

Выходная координата y представляет собой абстрактный аналог ряда физических величин: линейной скорости V , окружной скорости ω , температуры θ , влажности ϕ , концентрации вещества η и т. п. Практически, это есть либо потенциал энергии, либо показатель запаса вещества в объекте.

В технологических объектах этими величинами характеризуется показатель качества процесса, его параметр.

Из приведенных выше уравнений динамики и физических моделей процессов четко прослеживается сущность емкостного коэффициента L . Это есть величина, численно равная емкости объекта, приходящейся на единицу его выходной координаты.

Если представить уравнение (2.71) в виде:

$$dy = \left(\frac{1}{L}\right)xdt, \quad (2.72)$$

и проинтегрировать его

$$y = \left(\frac{1}{L}\right) \int xdt, \quad (2.73)$$

то можно увидеть, что величина $\frac{1}{L}$, обратная емкостному коэффициенту, есть коэффициент пропорциональности между элементарными изменениями выходной координаты y и импульсом входного воздействия xdt . Таким воздействием может быть импульс силы Fdt , импульс момента Mdt , импульс подачи какого-либо вещества или тепловой энергии Qdt и т. п.

В итоге можно заключить, что емкостный коэффициент — есть мера инерции, а его обратная величина $\frac{1}{L}$ — мера чувствительности объекта.

Изменение во времени выходной координаты одноемкостного процесса характеризуется обобщенным уравнением (2.67).

Очевидно, условием постоянства выходной координаты объекта

($y = \text{const}$) является равенство результатирующего входного воздействия x нулю:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{L} x = 0.$$

Это условие характеризует установившийся (на определённом уровне) режим объекта — индекс «нуль».

В общем случае результирующий мгновенный поток вещества или энергии — входное воздействие объектов — состоит из разницы между суммарным притоком $\left[x_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n x_{\text{п}i} \right]$ и суммарным расходом $\left[x_{\text{р}} = \sum_{j=1}^m x_{\text{р}j} \right]$, то есть:

$$x = x_{\text{п}} - x_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n x_{\text{п}i} - \sum_{j=1}^m x_{\text{р}j}$$

Следовательно, при установившемся режиме объекта, то есть, при $y = y_0 = \text{const}$:

$$x_{\text{п}(0)} - x_{\text{р}(0)} = 0,$$

или

$$x_{\text{п}(0)} = x_{\text{р}(0)} = x_0 \quad (2.74)$$

Предположим, что к моменту начала исследования приток численно равен расходу и объект находится в установившемся режиме при значении выходной координаты y_0 . В этот момент, как на стороне притока, так и на стороне расхода может быть приложено дополнительное воздействие (регулирующее или возмущающее) Δx , которое должно вывести объект из установившегося состояния. Если воздействие приложено на стороне притока, то параметр должен возрасти и наоборот.

При этом необходимо иметь в виду, что, как возмущение, так и регулирующее воздействие может выполнять функции притока или расхода.

Допустим, что дополнительное воздействие на объект внесено на стороне притока. Тогда приток соответственно увеличится на какую-то величину Δx , то есть

$$x_{\text{п}} = x_{\text{п}(0)} + \Delta x_{\text{п}},$$

а расход останется прежним:

$$x_{\text{р}} = x_{\text{р}(0)}.$$

С течением времени под воздействием дополнительного притока выходная координата будет возрастать. Это в свою очередь, может вызвать изменение значений входных воздействий (возмущений и регулирующих), если они находятся в функциональной зависимости от выходной координаты:

$$x_{\text{п}} = f_1(y)$$

и (или)

$$x_{\text{р}} = f_2(y).$$

Например, нетрудно представить, что с изменением температуры воздуха в помещении (выходной координаты) соответственно будет изменяться приток теплоты от отопительных батарей и расход ее через окна и ограждения (входные величины).

Эти зависимости могут быть линейными или различной степени нелинейными. В общем случае, воспользовавшись формулой Тейлора для разложения в ряд функций одного независимого переменного и учитывая лишь два его первых члена, можно записать:

$$x_n \approx x_{n(0)} + \left(\frac{dx_n}{dy}\right)_0 \Delta y + \Delta x_n \quad (2.75)$$

$$x_p \approx x_{p(0)} + \left(\frac{dx_p}{dy}\right)_0 \Delta y. \quad (2.76)$$

где Δy — нулевое отклонение выходной координаты от исходного установившегося значения.

Величина Δy — переменная во времени. Индекс «нуль» при производных указывает на то, что их определяют для исходного режима, и, следовательно, они постоянные величины. Очевидно, наиболее точным выражением производных будет их значение в пределах оптимального значения параметра, то есть индекс «нуль» необходимо выбирать при $y \approx y_H$.

Необходимо заметить, что выполняемая нами линеаризация функций по методу касательной дает хорошие результаты для малых отклонений Δy . Эту операцию можно выполнять иначе, например методом усреднения (наименьших квадратов).

Подставив значения текущих координат x_n и x_p из формул (2.75) и (2.76) в обобщенное уравнение динамики (2.71) с учетом выражения (2.74) получим:

$$L \frac{dy}{dt} = x_{n(0)} + \left(\frac{dx_n}{dy}\right)_0 \Delta y + \Delta x_n - x_{p(0)} - \left(\frac{dx_p}{dy}\right)_0 \Delta y. \quad (2.77)$$

С учетом (2.75) и (2.76) будем иметь:

$$L \frac{dy}{dt} = \left[\left(\frac{dx_n}{dy}\right)_0 - \left(\frac{dx_p}{dy}\right)_0 \right] \Delta y + \Delta x_n \quad (2.78)$$

Теперь перейдем к безразмерному выражению:

$$\frac{\Delta y}{y_0} = \varphi, \quad (2.79)$$

откуда:

$$\Delta y = \varphi y_0; dy = y_0 d\varphi; \mu = \frac{\Delta x_n}{x_0} = v. \quad (2.80)$$

Следовательно, $\Delta x = \mu x_0 = \mu x_{n(0)} = \mu x_{p(0)}$

где V — относительное дополнительное воздействие в начальный момент времени $t = 0$.

Подставив относительные значения координат в (2.78), получим:

$$y_0 L \frac{d\varphi}{dt} = \left[\left(\frac{dx_n}{dy} \right)_0 - \left(\frac{dx_p}{dy} \right)_0 \right] y_0 \varphi + \mu x_0 \quad (2.81)$$

или

$$\left(\frac{Ly_0}{x_0} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{y_0}{x_0} \left[\left(\frac{dx_p}{dy} \right)_0 - \left(\frac{dx_n}{dy} \right)_0 \right] \varphi = \mu \quad (2.82)$$

Нетрудно увидеть, что коэффициент первого члена уравнения есть время T_a (с, мин, ч.), необходимое для заполнения емкости при полной нагрузке. Его называют еще временем астатического разгона объекта:

$$T_a = L \frac{y_0}{x_0} \quad (2.83)$$

Величина, обратная времени T_a :

$$\xi = \frac{1}{T_a} = \frac{x_0}{Ly_0} \quad (2.84)$$

характеризует скорость относительного изменения выходной координаты у процесса при $x_n = x_{n(0)} = x_0$ и называется скоростью разгона при полной нагрузке.

Если нагрузка меньше полной, то соответственно скорость разгона будет меньше, а время разгона будет соответственно больше.

Коэффициент при втором члене φ левой части уравнения (2.82) безразмерный, так как множители имеют противоположные размерности. Его называют *коэффициентом астатизма, или самовыравнивания объекта (процесса)*:

$$\left(\frac{y_0}{x_0} \right) \left[\left(\frac{dx_p}{dy} \right)_0 - \left(\frac{dx_n}{dy} \right)_0 \right] = \delta \quad (2.85)$$

Как видно, этот коэффициент характеризует зависимость входных воздействий объекта от выходной координаты и определяет свойство регулируемого объекта после возникновения возмущения вновь перейти в состояние равновесия без внешнего вмешательства. Например, в кондиционируемом помещении за счет выключения электроосвещения уменьшился приток тепла, через некоторое время температура воздуха в этом помещении понизится и достигнет нового постоянного значения, при котором опять наступит тепловое равновесие между притоком и отводом тепла этого помещения. Это свойство объекта и называется самовыравниванием.

Самовыравнивание способствует устойчивости регулируемого объекта и облегчает работу регулятора. Таким образом, чем больше степень самовы-

равнования δ , тем с большей легкостью объект самостоятельно восстановит заданное значение величины при кратковременном возмущении и тем быстрее восстановится равновесие и более устойчивым будет процесс регулирования.

Чем больше степень самовыравнивания, тем меньше отклонение регулируемой величины при возмущении и тем меньше время переходного периода в процессе регулирования, т.е. выше качество регулирования.

Окончательное уравнение динамики, описывающее поведение простого одноемкостного объекта во времени при наличии некомпенсированного входного воздействия, приобретает вид:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \delta\varphi = \mu \quad (2.86)$$

Форма уравнения, в которой коэффициент при входной координате есть единица, впервые была предложена известным словацким инженером А. Стодолой и получила название *уравнения А. Стодолы*.

Часто пользуются другой (так называемой канонической) формой уравнения динамики процесса, когда коэффициент при φ равен единице:

$$\left(\frac{T_a}{|\delta|}\right) \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) \pm \varphi = \frac{1}{|\delta|} \mu \quad (2.87)$$

где знак «+» для $\delta > 0$ и знак «-» для $\delta < 0$.

Поскольку $|\delta|$ — величина безразмерная, то при делении времени разгона T_a на δ получаем *постоянную времени* объекта (процесса):

$$T = \frac{L}{\left[\left(\frac{dx_p}{dy}\right)_0 - \left(\frac{dx_n}{dy}\right)_0\right]} \quad (2.88)$$

В отличие от времени разгона постоянная времени не зависит непосредственно от начальных условий x_0 и y_0 . Очевидно, что с уменьшением самовыравнивания до нуля постоянная времени должна возрастать до бесконечности при конечном емкостном коэффициенте L .

Безразмерную положительную величину, обратную по значению коэффициенту самовыравнивания $\frac{1}{|\delta|}$, называют коэффициентом передачи или

усиления объекта и обозначают через k , то есть $k = \frac{1}{|\delta|}$, или

$$k = \frac{1}{\frac{y_0}{x_0} \left[\left(\frac{dx_p}{dy}\right)_0 - \left(\frac{dx_n}{dy}\right)_0\right]} \quad (2.89)$$

При наличии самовыравнивания объекта ($\delta \neq 0$) можно записать:

$$T \frac{d\varphi}{dt} \pm \varphi = k \mu \quad (2.90)$$

Перейдя от (2.90) к изображению функции по Лапласу и выполнив элементарные преобразования, получим передаточную функцию в операторной форме для одноемкостного статистического объекта:

$$W(p)_{o.y} = \frac{k}{(Tp + 1)} \quad (2.86)$$

где p — оператор Лапласа.

Переходная характеристика статистического объекта управления. Общим решением линейного дифференциального уравнения первого порядка (2.90) будет сумма интеграла φ , соответствующего ему однородного уравнения с правой нулевой частью (свободное движение объекта):

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + \delta\varphi = 0 \quad (2.92)$$

и любого частного решения $\varphi_и$ исходного уравнения при наличии некомпенсированного возмущения x_B (вынужденное движение объекта).

Находим общее решение однородного уравнения в виде:

$$\varphi_1 = ce^{\lambda t} \quad (2.93)$$

При этом из характеристического уравнения имеем:

$$T_a \lambda + \delta = 0; \quad \lambda = -\frac{\delta}{T_a}$$

и тогда

$$\varphi_1 = Ce^{-\left(\frac{\delta}{T_a}\right)t} \quad (2.94)$$

Частное решение зависит от значения внешнего воздействия в течении переходного периода.

Рассмотрим важнейший случай, когда приложенное скачком внешнее воздействие (рис. 2.72) сохраняется постоянным во времени:

$$[v = \mu_0 = I_s(t) = \text{const}]$$

Соответствующая этому условию кривая изменения выходной координаты процесса [то есть функция $y(t)$ или $\varphi(t)$ называется *кривой разгона объекта*. При этом получим частное решение:

$$(\varphi_{и} = \frac{\mu_0}{\delta}; \frac{d\varphi_{и}}{dt} = 0)$$

при вынужденном режиме:

$$T_a \frac{d\varphi_H}{dt} + \delta \varphi_H = \mu_0 \quad (2.95)$$

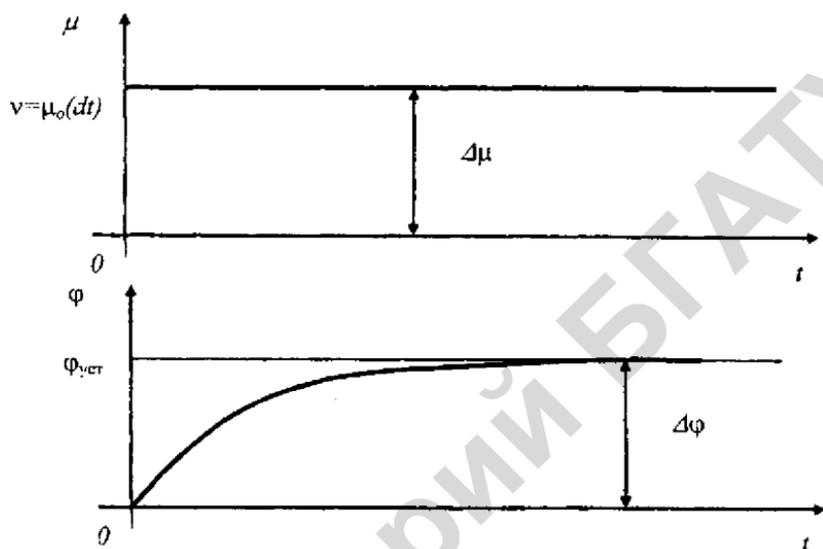


Рис. 2.67 Переходный процесс статического объекта

Тогда общее решение исходного дифференциального уравнения примет вид:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_H = C e^{-\frac{\delta}{T_a} t} + \mu_0 \delta. \quad (2.96)$$

В начальный момент ($t = 0$) выходная координата $y = y_0$, $\Delta y = 0$ и $\varphi = 0$.

Следовательно, $C = -\frac{\mu_0}{\delta}$ и окончательно получим:

$$\varphi = \left(\frac{\mu_0}{\delta}\right) \left(1 - e^{-\left(\frac{\delta}{T_a}\right)t}\right). \quad (2.97)$$

Переходная функция при $v = \mu_0 I_0(t)$, приведенная на рисунке выразится:

$$h(t) = \left(\frac{1}{\delta}\right) \left(1 - e^{-\left(\frac{\delta}{T_a}\right)t}\right) \quad (2.98)$$

Исследуя уравнение (2.97), характеризующее относительное отклонение выходной координаты процесса во времени в зависимости от собственных свойств объекта, определяющихся δ и T_a , и от внешних воздействий μ , нахо-

дим, что при положительном самовывравнивании ($\delta > 0$) *переходный процесс идет по экспоненте и стремится к пределу:*

$$\varphi_{(t \rightarrow \infty, \delta > 0)} = \frac{\mu_0}{\delta} = k\mu_0 \quad (2.99)$$

Значение этого предела, как видно, не зависит от постоянной времени объекта, которая влияет лишь на режим и длительность переходного процесса.

Таким образом, при $\delta > 0$ выходная величина φ не возрастает безгранично, а уже через промежуток времени $t = \frac{T_a}{\delta} = T$ (T — постоянная времени) достигает 0,632 от будущего предельного отклонения, а при $t = 3T$ достигает 95% нового установившегося значения (рис. 2.68):

$$\varphi = \left(\frac{\mu_0}{\delta}\right)(1 - e^{-\frac{\delta}{T_a}t})_{t=3T} = \left(\frac{\mu_0}{\delta}\right)(1 - e^{-3}) \approx 0,95 \frac{\mu_0}{\delta}$$

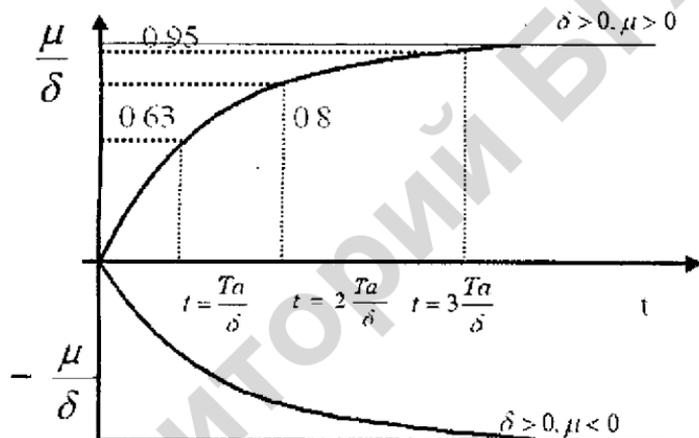


Рис. 2.68 Графический анализ динамических характеристик статического объекта

То обстоятельство, что при $\delta > 0$ выходная величина неизбежно приходит к новому установившемуся значению, позволяет назвать такие объекты *статическими*.

Астатические объекты управления. В отличие от выше изложенного положения ($\delta > 0$) самовывравнивание объектов может принимать нулевое и даже отрицательное значение.

Нулевое самовывравнивание $\delta = 0$ теоретически возможно в двух случаях [см. (2.85)] либо когда оба дифференциала в скобках равны нулю (входные воздействия не зависят от значения параметра), либо при равенстве и одинаковых знаках самовывравнивания со стороны поступления $(\frac{dx_{п}}{dy})_0$ и со сторо-

ны расхода $(\frac{dx_p}{dy})_0$ вещества или энергии. Второй случай маловероятен, поэтому практически считается, что объект имеет нулевое самовыравнивание при отсутствии зависимости от значения регулируемого параметра всех приложенных воздействий на стороне поступления и расхода, включая возмущающие и регулирующие воздействия. В формулах математического выражения таких воздействий, обычно отсутствует выходная величина объекта — регулируемый параметр.

Объекты без самовыравнивания характеризуются тем, что при нарушении равновесия за счет отклонения регулируемой величины равновесие не восстанавливается. Примером объекта без самовыравнивания может служить бак, из которого жидкость откачивается насосом в постоянном количестве, а приток жидкости меняется. В этом случае ранее установившееся равновесие будет нарушено и бак через некоторое время или переполнится, или опорожнится, и новое равновесие не наступит. Объекты без самовыравнивания трудно поддаются регулированию, а в отдельных случаях автоматизировать объекты просто невозможно.

Различие между объектами без самовыравнивания и с самовыравниванием состоит в том, что для первых, изменение параметра не влияет на приток (расход), а для вторых, изменение его, вызванные изменениями притока (или расхода), в свою очередь воздействует на них.

При отсутствии самовыравнивания объект называют *нейтральным* или *астатическим*.

При нулевом самовыравнивании второй член в левой части уравнения (2.86) отсутствует и выражение принимает вид:

$$T_a \frac{d\phi}{dt} = \mu \quad (2.100)$$

или

$$\frac{d\phi}{dt} = k_a \mu, \quad (2.101)$$

где $k_a = \frac{1}{T_a}$ — коэффициент передачи или усиления астатического объекта, s^{-1} .

Передаточная функция в операторной форме для астатического объекта может быть записана:

$$W_{(p)0y} = \frac{1}{T_a p} = \frac{k_a}{p} \quad (2.102)$$

Выражение переходной функции для объектов без самовыравнивания (2.97) становится неопределенным.

Действительно:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \varphi = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\mu_0 (1 - e^{-\frac{\delta}{T_a} t})}{\delta} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{(\frac{t}{T_a}) e^{-\frac{\delta}{T_a} t}}{1} = (\frac{\mu_0}{T_a}) t, \quad (2.103)$$

и при $\delta = 0$ выходная координата φ процесса безгранично возрастает во времени по линейному закону с угловым коэффициентом, равным $\frac{\mu_0}{T_a}$. За время $t = T_a$, относительное отклонение выходной координаты достигает значения соответствующего ему относительного возмущения μ_0 , то есть $\varphi = \mu_0$.

Выражение переходной функции $h(t)$ (2.98) для астатического объекта принимает вид:

$$h(t) = \frac{1}{T_a} t = k_a t, \quad (2.104)$$

а решение уравнения (2.86) можно записать так:

$$\varphi = \frac{1}{T_a} \int \mu dt = k_a \int \mu dt \quad (2.105)$$

Последнее выражение справедливо для любого вида входных воздействий $v = \mu$, в то время как функция $h(t)$ определима только при:

$$v = \mu_0 1_0(t) = \text{const}$$

Таким образом, если объект нейтрален, то с внесением возмущения на его вход выходная координата будет изменяться (возрастать или убывать) по линейному закону (рис. 2.69).

Скорость этого изменения зависит от свойств объекта, характеризующих величиной T_a , так и от величины входного воздействия $v = \mu$. Если воздействие на входе прекращается, то выходная величина останавливается на новом уровне.

Неустойчивые объекты управления. В неустойчивых объектах (при $\delta < 0$) изменение выходной координаты приводит не к ослаблению, а наоборот, к усилению некоторых входных воздействий объекта, в результате чего отклонение параметра φ (кривая 2, рис. 2.69) начнет неограниченно возрастать даже при устранении породившего его возмущения (по принципу цепной реакции). Такие объекты получили название **неустойчивых**. В сельскохозяйственном производстве такими свойствами обладают некоторые биологические процессы, как, например, развитие патогенной микрофлоры или вегетация клубней картофеля.

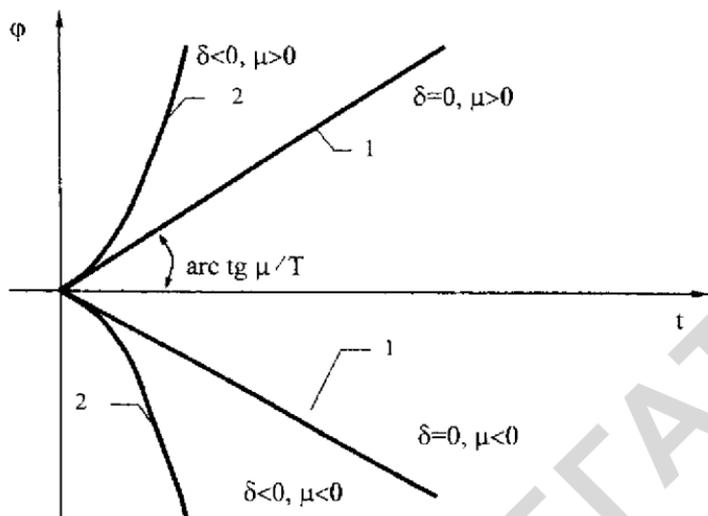


Рис. 2.69 Графическое выражение характеристик нейтрального 1 и неустойчивого 2 объектов

При отрицательном коэффициенте самовыравнивания второй член левой части уравнения (2.90) в канонической форме имеет отрицательный знак «-»:

$$\left(\frac{T_a}{|\delta|}\right)\left(\frac{d\varphi}{dt}\right) - \varphi = \left(\frac{1}{|\delta|}\right)\mu, \quad (2.106)$$

а передаточная функция в операторной форме соответственно принимает вид:

$$W_{(p)} = \frac{k}{(Tp - 1)} \quad (2.107)$$

Безынерционные объекты управления. Время разгона объектов T_a является характеристикой его инерционности. Чем больше T_a , тем медленнее при том же входном воздействии изменяется выходная координата. При $T_a \rightarrow 0$ объект приближается к безынерционному, а дифференциальное уравнение (2.86) вырождается в алгебраическое: $\delta\varphi = \mu$ или

$$\varphi = \left(\frac{1}{|\delta|}\right)\mu = k\mu$$

При этом выходная координата пропорциональна входной как в переходном, так и в установившемся режимах. Передаточная функция такого объекта управления аппроксимируется уравнением:

$$W_{(p)} = k = \frac{\varphi}{\mu} = \frac{1}{|\delta|} \quad (2.108)$$

Передаточная функция двухъемкостного объекта управления. Гидравлический аналог двухъемкостного объекта представлен на рис. 2.70.

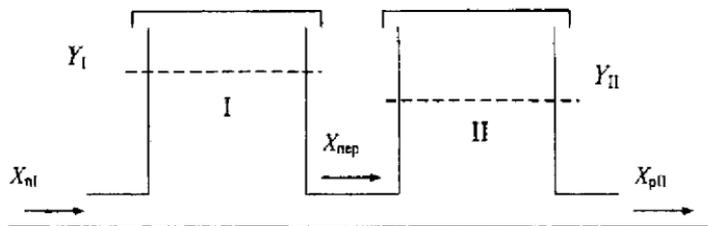


Рис. 2.70 Схема объекта с двумя гидравлическими емкостями

Поступление происходит в первую емкость, а расход — со второй. В установившемся состоянии ($x_{нI} - x_{рII} = 0$) оба параметра y_I и y_{II} постоянны, но не равны ($y_I - y_{II} = \Delta y$), причем Δy представляет собой значение потерь напора на сопротивлении перетока. Здесь Δy зависит от нагрузки. При возникновении разницы потоков ($x_{нI} - x_{рII} \neq 0$) параметр y_I первого сосуда будет изменяться, что вызовет изменение параметра y_{II} второго сосуда. Но последний будет изменяться с некоторым запаздыванием, что связано с наличием сопротивления перетоку.

Скорость перетекания:

$$v = \varphi_{\text{тр}} \sqrt{2g \sqrt{y_I - y_{II}}}$$

где $\varphi_{\text{тр}}$ — коэффициент скорости перетока соединительного трубопровода.

Соответственно переток между емкостями:

$$x_{\text{пер}} = v S_c$$

где S_c — площадь сечения струи.

Очевидно, разность уровней в каждый момент времени будет зависеть как от сопротивления перетоку, так и от разности потоков на поступлении и расходе. Аналогично можно рассмотреть любое множество емкостей.

В общем случае можно считать, что на вход любой емкости (индекс «i») поступает ее внешнее воздействие v_i и воздействия от предыдущих v_n, φ_{i-1} и последующих v_n, φ_{i+1} . Иначе говоря, можно записать:

$$\mu_i = v_i + \gamma_n \varphi_{i-1} - \gamma_p \varphi_{i+1} \quad (2.109)$$

Например, для каждой емкости двухъемкостного объекта управления (рис. 2.70) уравнение А. Стодолы имеет следующий вид:

$$T_I \frac{d\varphi_I}{dt} + \delta_I \varphi_I = v_I - v_{\text{пер}} \varphi_{II}, \quad (2.110)$$

$$T_{II} \frac{d\varphi_{II}}{dt} + \delta_{II} \varphi_{II} = v_{\text{пер}} \varphi_I \quad (2.111)$$

Решим уравнение относительно φ_i методом последовательного исключения неизвестных. Из уравнения (2.111) находим:

$$\varphi_i = (1/\nu_{mi})(T_{ii} d\varphi_i/dt + \delta_{ii}\varphi_i - v_{ii}) \quad (2.112)$$

$$d\varphi_i/dt = (1/\nu_{mi})(T_{ii} d^2\varphi_i/dt^2 + \delta_{ii} d\varphi_i/dt) \quad (2.113)$$

и, подставив значение φ_i и $d\varphi_i/dt$ в уравнение (2.112), получим:

$$T_{ii}T_{ii}(d^2\varphi_i/dt^2) + (T_{ii}\delta_{ii} + T_{ii}\delta_{ii})d\varphi_i/dt + (\delta_{ii}\delta_{ii} + \nu_{pi}\nu_{mi})\varphi_i = \nu_{mi}v_{ii} + \delta_{ii}v_{ii} \quad (2.114)$$

Благодаря симметричности уравнений аналогичное выражение можно получить относительно выходной координаты φ_j , если последняя является управляемой величиной.

Как видно из приведенного примера, порядок уравнения динамики двухемкостного объекта соответствует числу емкостей объекта. Самовыравнивание двухемкостного объекта численно равно сумме коэффициентов самовыравнивания на стороне поступления в первую емкость и на стороне расхода из второй емкости, то есть:

$$\delta = \delta_{p1} + \delta_{z1} \quad (2.115)$$

Передаточная функция двухемкостного объекта управления будет иметь вид:

$$W_{(p)zy} = \frac{k}{(T_{01}p^2 + T_{02}p + 1)}, \quad (2.116)$$

что нетрудно получить из (2.114).

Самовыравнивание многоемкостного объекта численно равно алгебраической сумме коэффициентов самовыравнивания на стороне поступления в первую емкость и на стороне расхода в последней (индекс «n») то есть:

$$\delta = \delta_{p1} + \delta_{zn} \quad (2.117)$$

Если число участков, где аккумулируется в объекте вещество или энергия, увеличивать неограниченно, то можно получить объект с распределенными параметрами, аналитическое описание которых требует учета геометрических координат и выполняется уравнениями в частных производных.

Передаточная функция такого объекта будет иметь вид:

$$W_{(p)zy} = \frac{k_1 k_2 \dots k_n}{(T_n p + 1)(T_{n-1} p + 1) \dots (T_1 p + 1)} \quad (2.118)$$

Транспортное запаздывание в объектах управления. Отдельные емкости объектов управления могут находиться на значительных расстояниях одна от другой или от устройств, осуществляющих входное воздействие. В этом случае имеется значительное транспортное запаздывание сигнала, существенно искажающее динамические свойства объектов. Транспортное запаздывание, обозначаемое τ , определяют в единицах времени (с):

$$\tau = lv \quad (2.119)$$

где l — длина пути движения вещества или энергии, м
 v — скорость движения, м/с.

На графике (рис. 2.71) показано влияние транспортного запаздывания на характеристику одноемкостного статического объекта 1 или отдельной емкости многоемкостного объекта.

Аналитически передаточная функция звена транспортного запаздывания в операторной форме:

$$W_{(p)ms} = e^{-\tau p}, \quad (2.120)$$

А переходная функция:

$$h(t) = I_0(t - \tau) \quad (2.121)$$

$$g(t) = I_0(t - \tau) \quad (2.122)$$

Передаточная функция одноемкостного объекта с запаздыванием (кривая 2, рис. 2.71):

$$W_{(p)os} = \frac{ke^{-\tau p}}{(Tp + 1)} \quad (2.123)$$

а двухемкостного объекта (кривая 3, рис. 2.71)

$$W_{(p)os} = \frac{k}{(T_{01}p^2 + T_{02}p + 1)} e^{-\tau p} \quad (2.124)$$

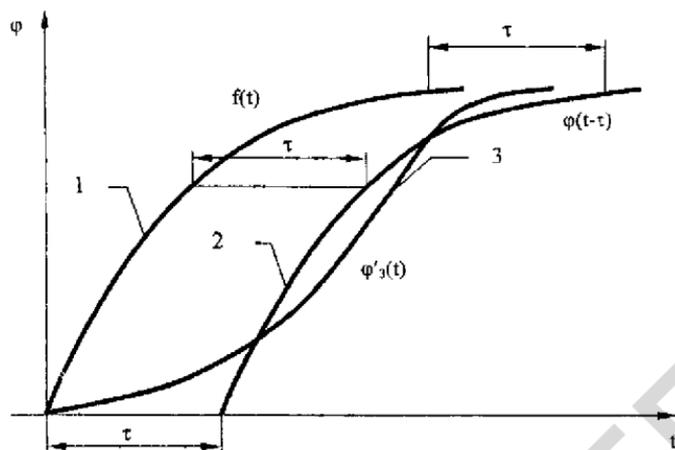
или

$$W_{(p)os} = [(k_1/(T_1p + 1))(k_2/(T_2p + 1))] e^{-\tau p}, \quad (2.125)$$

если сигнал проходит емкости последовательно.

В структуре сложных объектов управления транспортное запаздывание может быть представлено отдельным звеном со своей передаточной функцией (2.120).

а)



б)

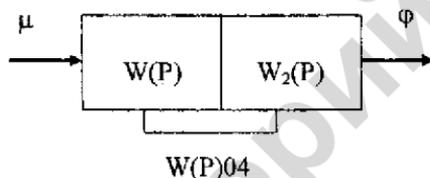


Рис 2.71 Влияние чистого запаздывания на характеристику статического объекта:
 а — графическая характеристика; б — структурная схема; 1 — объект без запаздывания;
 2 — объект с транспортным запаздыванием; 3 — объект с емкостным и транспортным запаздыванием

Распределенность параметров в объектах. В реальных технологических объектах вещество или энергия может распространяться в пределах емкостей либо свободно и практически мгновенно, либо преодолевая сопротивления и задерживаясь в них. В первом случае рассматриваемые параметры имеют одно и то же значение по всей рассматриваемой емкости и в любой момент времени. Такие объекты называют объектами со *сосредоточенными параметрами*. Во втором случае, а иногда и под воздействием внешних факторов, например гравитационных сил, потенциалы энергии или показатели вещества y (то есть значения выходной координаты, параметра) на различных участках емкости существенно отличаются, тогда объект называют с *распределенными параметрами*.

В сельскохозяйственном производстве можно встретить множество объектов со сосредоточенными и распределенными параметрами. Так, при регулировании уровня наполнения резервуаров возможны оба варианта объектов. Если мы имеем дело с жидкостью типа воды, т.е. уровень на поверхно-

сти практически одинаков, а объект имеет сосредоточенный параметр. Когда емкость наполняют сыпучим материалом типа конкорма или комбикорма, то поверхность его бугристая, значение уровня в разных ее точках весьма существенно отличается, и, следовательно, объект имеет рассредоточенные параметры.

Аналогичную картину можно представить и в объемных объектах. Так, давление в ресиверах, независимо от того, где приложена подача или расход, всегда одинаково в любой точке объема. В то же время температура, влажность или концентрация веществ в объемах могут существенно отличаться в различных участках вследствие того, что конвективному, диффузионному или абсорбционному переносу энергии или вещества оказывает сопротивление среда. Если в первом случае параметр носит сосредоточенный характер, то во втором, как правило, рассредоточенный.

Рассредоточенность параметров почти всегда является отрицательным фактором, как для самой технологии производства, так и для решения задач автоматизации.

Если по технологическим соображениям нежелательно иметь рассредоточенность параметров, то при экономической целесообразности их искусственно выравнивают. Для этой цели прибегают к уменьшению пространственных координат объекта, например, путем разделения холодильника на камеры, либо принудительно перемешивают среду, как это делается в установках охлаждения молока и в овощехранилищах, а иногда применяют то и другое, вместе взятое. Тогда при математическом описании объектов искусственно выравнивают их параметры, и тогда объекты рассматриваются уже как сосредоточенные.

В тех случаях, когда по техническим условиям неравномерность параметра допустима или не имеет существенного значения, объект может считаться с сосредоточенным параметром условно. При этом за физическое принимается либо средневзвешенное значение параметра, либо его значение в определенной точке или зоне, например в зоне содержания сельскохозяйственной птицы или животных.

И, наконец, если объект с рассредоточенными параметрами является предметом контроля и управления, то для математического описания такого состояния вводят дополнительную координату пространства и дифференциальные уравнения решаются в частных производных. Но поскольку аналитическое описание и решение таких уравнений затруднительно, то на практике прибегают либо к экспериментальному определению характеристик этих объектов, либо пользуются более простыми методами приближенных вычислений. При этом для упрощения расчетов пренебрегают малоемкостными участками и наличием сопротивлений взаимоперетоков между ними.

Экспериментальное исследование характеристик объектов. Экспериментальные исследования можно проводить на реальных технологических установках активным способом (создавая необходимые для опыта воздействия на объект) или пассивно (фиксируя изменения входных и выходных величин во времени непосредственно в процессе эксплуатации), а также на фи-

зических моделях (измененных в масштабе реальных технологических установок и процессов) или аналоговых моделях, в том числе с привлечением АВМ и ЦВМ.

Пассивный эксперимент применяют в тех случаях, когда входные воздействия не поддаются целенаправленному изменению или когда технологический процесс не позволяет их изменить. Этот эксперимент, как правило, дает маловыразительные данные изменений как входных, так и выходной переменной, что, в свою очередь, очень затрудняет обработку материала и определение необходимых зависимостей.

При проведении пассивного эксперимента особое внимание уделяют обеспечению синхронности фиксации показаний приборов в установившихся и переходных режимах, а также точности проводимых измерений.

Исследование характеристик технологических объектов путем моделирования относят к формальным методам, поскольку при этом объект как бы вырывается из множества взаимосвязанных движений и рассматривается обособленно от них. Это недостаток многих сельскохозяйственных объектов, где без учета и наличия реального агро- и зоофона часто невозможно судить о характеристиках процесса.

Однако простота метода моделирования, возможность исследования аналоговой и ЦВМ техники способствует его применению для исследования объектов автоматизации.

При экспериментальном исследовании характеристик объектов управления на реальных технологических установках стремятся по возможности пользоваться методом активного эксперимента, сущность которого заключается в приложении ко входу предпочитаемой формы сигнала, например, единичное ступенчатое воздействие, гармоническое или импульс. Получаемые при этом результаты легче обработать и получить данные высокой достоверности. Если ко входу прилагают ступенчатое воздействие (рис. 2.72, а), то на выходе получают функцию $y(t)$, которую в графическом изображении называют *кривой разгона*.

При гармоническом воздействии (рис. 2.72, б) получают сдвинутый по фазе сигнал, а при импульсном (рис. 2.72, в) — сдвинутый по фазе всплеск. Но полученные по результатам измерений кривые обычно бывают ломаной формы, что связано с флуктуациями в объекте, так и погрешностями измерений.

Наиболее простой и широко распространенной является методика нахождения математической модели объекта в виде передаточной функции по экспериментальной переходной функции при воздействии на вход объекта единичным ступенчатым сигналом $x = x_0 \cdot 1_0(t)$.

Если не удается осуществить скачек сигнала входного воздействия прямоугольным по форме, то его прилагают возрастающим во времени t_n , но момент приложения t_0 получают усреднением времени начала и конца увеличения входного сигнала (рис. 2.72, г).

При проведении активного эксперимента определяют статические и динамические характеристики объектов автоматизации.

Работа по снятию статических характеристик объекта автоматизации проводится в два этапа: организация эксперимента по определению характеристик; снятие и обработка статических характеристик.

На первом этапе проводится подробное изучение объекта, в результате чего выясняются условия функционирования, структура, входные и выходные переменные; устанавливаются каналы, по которым предполагается снятие статических характеристик; определяются предельные диапазоны изменения переменных и их значения в номинальном рабочем режиме; устанавливаются возможные способы стабилизации всех входных переменных, за исключением той, по которой будет проводиться снятие характеристики; выбираются приборы для измерения входных и выходных переменных; устанавливаются конкретные значения и способы изменения входной переменной для определения характеристики; составляется таблица для записи результатов эксперимента.

Например, для теплообменника, изображенного на рис. 2.73 переменными будут давление греющего пара P , расход F , входная $\theta_{вх}$ и выходная $\theta_{вых}$ температура продукта.

Структурная схема объекта приведена на рис. 2.73, б на котором указаны каналы взаимодействия переменных W_1 , W_2 и W_3 . Для проведения эксперимента целесообразно выбирать автоматические приборы. Размещение приборов иллюстрирует рис. 2.73, б на котором показана блок-схема экспериментальной установки, для снятия характеристик объекта по каналу «давление греющего P – выходная температура продукта $\theta_{вых}$ ». Входные переменные удобно изменять ступенчатым образом.

Для записи результатов эксперимента может использоваться табл. 2.41, в которую предварительно записываются устанавливаемые значения входной переменной X_i ($i = 0 \dots N - 1$).

Таблица 2.41

Статическая характеристика объекта

№ опыта	1	2	...	N
Значение входной переменной X_i	X_0	$X_0 + \Delta X$		$X_0 + (N - 1)\Delta X$
Значение выходной переменной Y_i				

На втором этапе определяется время установления выходной переменной в соответствии с устанавливаемым значением входной переменной, или время переходного процесса $t_{п.п.}$, и временной промежуток между последовательными изменениями входной переменной; последовательно устанавливаются значения выходной переменной Y_i : Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1} ; строится статическая характеристика по данным табл. 2.41; проводится математическая обработка статической характеристики. Время установления переменной Y_i при изменении значения входной переменной X_i ($i = 0, N - 1$) определяется экспери-

ментально и принимается равным времени переходного процесса $t_{n,н}$, за которое выходная переменная достигает 98%-ного уровня установившегося значения. Временные промежутки Δt , через которые изменяются значения входной переменной, обычно принимаются в области $\Delta t \in (1,5; 2,0) t_{n,н}$.

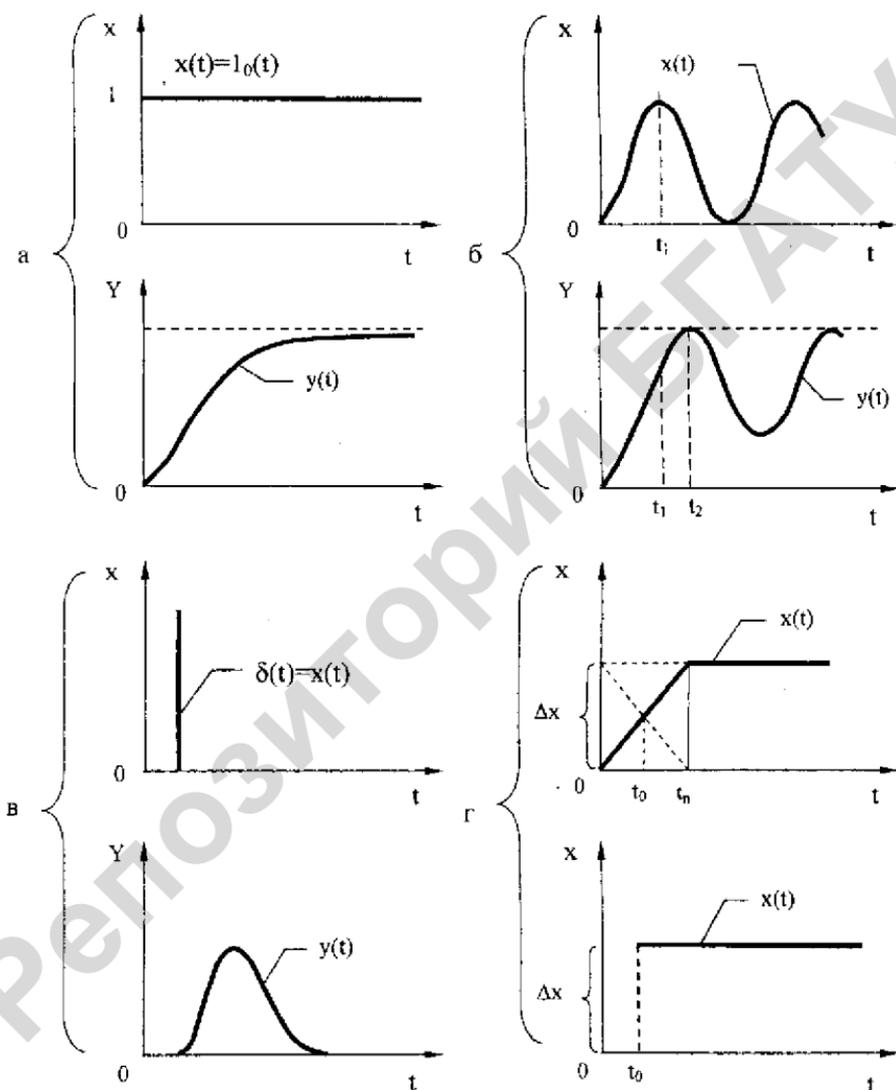


Рис. 2.72 Графическое изображение динамики переходных процессов при ступенчатой (а), гармоническом (б), импульсном (в) воздействиях и усреднения времени приложения реального сигнала (г)

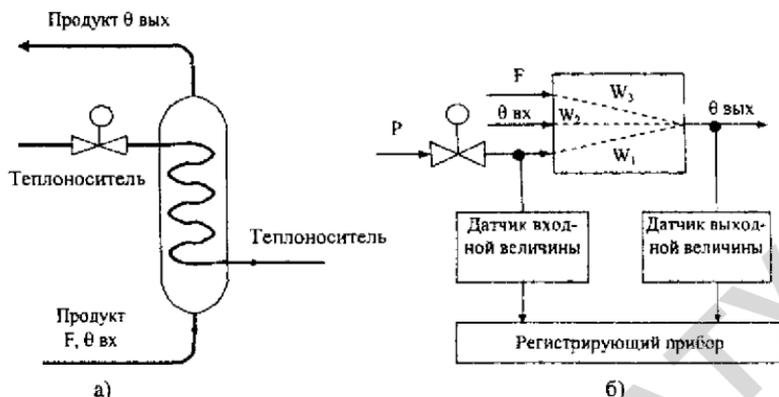


Рис. 2.73 Технологическая (а) и блок-схема (б) экспериментальной установки для снятия характеристик объекта

При математической обработке статической характеристики для ее графика подбирается соответствующее алгебраическое уравнение.

Рассмотрим наиболее характерный случай использования экспериментальных данных.

Пусть в результате эксперимента была получена нелинейная зависимость $x = f(y)$, изображенная на рис. 2.74.

Требуется определить дифференциал типа $\left(\frac{dx}{dy}\right)_0$, входящий в уравнение динамики объекта.

Для решения задачи принимают наиболее характерное для данного объекта состояние его обобщенных координат за нулевое; например, номинальное значение параметра y_0 . В данном случае, приняв $y_0 = y_n$ восстанавливают перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с кривой $x = f(y)$ в точке A и находят x_0 , линия которого проходит параллельно оси абсцисс через точку A .

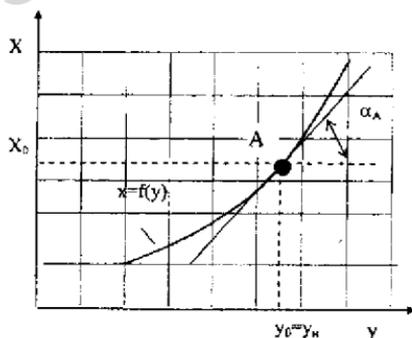


Рис. 2.74 Экспериментальная кривая зависимости входной координаты объекта от выходной

Касательная к кривой $x = f(y)$ в точке A , пересекаясь с линией x_0 , образует угол α_A , по которому определяют

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)_0 = \operatorname{tg} \alpha_A \left(\frac{m_x}{m_y}\right), \quad (2.126)$$

где m_x и m_y — масштабы величин x и y .

Численное значение тангенса угла α_A , найденное по таблицам, подставляют в уравнение динамики объекта.

Для определения динамических характеристик объектов автоматизации широко используются переходные характеристики. Снятие переходных характеристик, как и статических, осуществляется в два этапа; организация эксперимента по определению характеристик; снятие и обработка динамических характеристик.

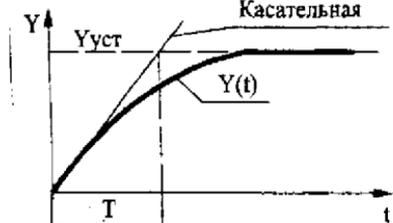
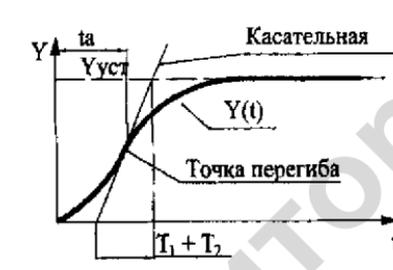
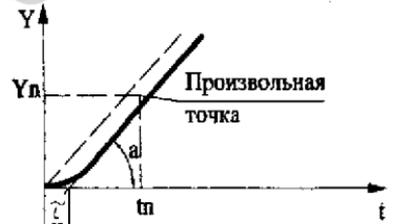
На первом этапе проводятся те же операции, что и при определении статических характеристик.

При постановке эксперимента по снятию переходной характеристики принимается входное ступенчатое воздействие, величина скачка определяется из условий ограничений на входные переменные и нелинейные статические характеристики объекта, а также уровня помех, действующих на объект, и класса точности измерительной аппаратуры. Для объектов величина скачка A выбирается обычно из области $A \in (0, 1; 0, 2) X_{\max}$, где X_{\max} — максимальное значение входной переменной.

На втором этапе осуществляется автоматическая запись переходной характеристики. При проведении эксперимента запись переходной характеристики по исследуемому каналу производится до тех пор, пока не установится постоянное значение выходной переменной либо постоянная скорость ее изменения. С целью повышения надежности получаемых результатов эксперимент повторяют несколько раз и получают семейство переходных характеристик.

Математическая обработка результатов по снятию переходной характеристики состоит в усреднении совокупности полученных характеристик и в математическом описании усредненной характеристики, для инженерных целей вполне приемлема достаточно простая и удобная методика аппроксимации по методу касательной. Типовые переходные характеристики объектов, полученные наиболее простым и широко распространенным методом при воздействии на вход единичным ступенчатым сигналом $X = X_0 1_0(t)$ приведены в табл. 2.42.

Типовые переходные характеристики объектов управления

№	Переходная функция объекта управления	Математическое описание объекта управления
1		$Y(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ $W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ $k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X}$
2		$Y(t) = k(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}})$ $W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{Tp + 1}$ $k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X}$
3		$Y(t) = k(1 - \frac{T_1 e^{-\frac{t}{T_1}}}{T_1 - T_2} + \frac{T_2 e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 - T_2})$ $W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$ $k = \frac{Y_{уст}}{\Delta X}$
4		$Y(t) = kt$ $W(p) = \frac{k}{p}$ $k = \frac{\text{tg} a}{\Delta X} = \frac{Y_n}{\Delta X}$
5		$Y(t) = k(t - \tau)$ $W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{p}$ $k = \frac{\text{tg} a}{\Delta X} = \frac{Y_n}{(t - \tau)\Delta X}$

2.3.6 Регулирующие воздействия и устройства

Общие сведения о регулирующих устройствах. Каждый технологический процесс, если только он нуждается в оперативном управлении извне, должен иметь регулирующий орган — устройство, через которое осуществляется изменение регулирующего потока вещества или энергии, влияющего на состояние технологического параметра объекта управления.

Входное регулирующее воздействие объектов управления является одновременно выходной координатой РО и определяется из уравнения динамики процесса:

$$\dot{X}_r = X + \left(\frac{1}{T}\right) \int_{y_1}^{y_2} Ldy, \quad (2.127)$$

где T — время переходного режима процесса.

В установившемся режиме, когда изменения параметра dy нет, второй член в первой части уравнения (2.127) отсутствует и регулирующее воздействие определяется возмущением.

В переходных режимах идет изменение наполнения емкостей, когда регулирующее воздействие должно компенсировать и возмущения, и емкостные потоки, которые при ограниченном времени T могут быть значительными. Если в переходном режиме возмущение отсутствует ($F = 0$), то регулирующее воздействие определяется исключительно емкостными потоками:

$$X_r = \left(\frac{1}{T}\right) \int_{y_1}^{y_2} Ldy$$

Входная координата регулирующего органа — это есть его положение, которое он занимает в процессе ручной установки на номинальный режим. Ручным может быть включение или отключение (*позиционное управление*), переключение на другие ступени (*ступенчатое управление*), плавное изменение положения какого-то органа, влияющего на регулирующий поток.

Регулирующее устройство конструктивно может быть представлено простейшим устройством в виде клапана, задвижки, шиберы, заслонки, делителя напряжения и т.п., а также весьма сложной системой устройств: питатели, дозаторы, транспортеры, насосы, вентиляторы, компрессоры и т.д. вплоть до манипуляторов-роботов.

На рис. 2.75 приведены структурные схемы регулирующих устройств, использующихся в регуляторах позиционного (рис. 2.75, а, б) и непрерывного действия (рис. 2.75, в, г).

В сельскохозяйственном производстве можно встретить самые разнообразные по своей природе потоки веществ, и для каждого применяется соответствующий его характеру рабочий орган регулирующего устройства.

Для твердых веществ штучного вида (корнеплоды и т.д.) используются скребокковые или ленточные питатели, для волокнистых веществ (солома, снос) — битерные питатели, для мелких хорошо сыпучих (зерно, гранулы) — тарельчатые питатели и заслонки.

Потоки смесей твердых веществ различной консистенции регулируют специальными устройствами, например, двухвальными шнеками.

Устройства для регулирования потока жидких веществ выбирают в зависимости от их вязкости. Для тестообразных (навоз, кормосмеси) используют шнековые или скребковые питатели, для полужидких (кормосмеси 70%-ной влажности) — насосные установки, для жидких (вода) — насосы, клапаны, задвижки.

Поток газообразных веществ регулируют включением или отключением компрессорных или вентиляционных установок, а также при помощи газовых клапанов, заслонок и т.п.

Энергетические потоки и воздействия регулируют по видам энергии следующими устройствами:

- а) механические* — редукторами, вариаторами, муфтами скольжения, гидравлическими муфтами;
- б) электрические* — автотрансформаторами, электронными и магнитными усилителями;
- в) радиационные* — затенителями, перемещением осветительных приборов;
- г) тепловые* — через устройства массообмена.

Из вышесказанного следует, что при регулировании потоков газов и жидкостей применяют различные дроссельные заслонки, клапаны, шиберы и т.д., а при регулировании расхода сыпучих материалов — тарельчатые и скребковые питатели, секторные затворы, дозаторы и т.п. следует отметить, что в САУ наиболее распространены дросселирующие РО.

Динамические характеристики РО. Зависимости между входными и выходными величинами РО во времени в виде передаточных функций $W(p)$ определяются по конструктивным данным установок, используемых для регулирования потоков. Поскольку устройства эти в подавляющем большинстве серийные, то, как правило, информацию для определения передаточных функций берут из паспортов или справочных источников.

Для несерийных устройств передаточные функции могут быть определены аналитически или экспериментально.

Рассмотрим в качестве примера ленточный питатель (рис. 2.76) как регулирующий орган в технологическом объекте автоматизации сельскохозяйственного производства.

Производительность (кг/с) питателей непрерывного действия подсчитывают следующим образом:

$$Q = 3600sv\gamma, \quad (2.128)$$

где s — площадь сечения потока, м²;

v — скорость ленты, м/с;

γ — плотность материала, кг/м³.

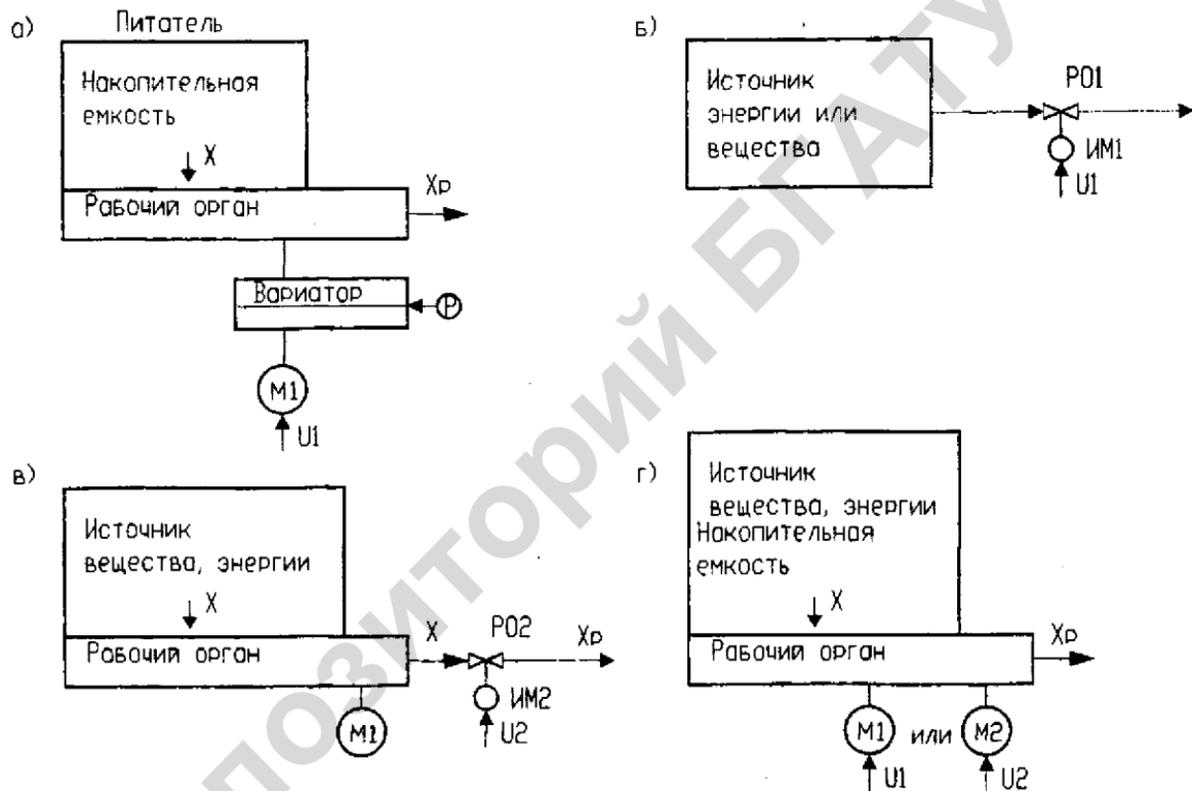


Рис. 2.75 Структурные схемы регулирующих устройств, использующихся в регуляторах позиционного (а, б) и непрерывного (в, г) действия

Допустим, что поток вещества мы будем регулировать, изменяя высоту подъема регулирующей заслонки, а, следовательно, толщину струи h . Учитывая, что площадь сечения струи $S = Bh$ (B — ширина струи) и подставив в формулу 2.123 значение S , получим выражение производительности в зависимости от h :

$$Q = 3600Bh\sqrt{v}$$

Поскольку зависимость эта линейная, то

$$K = \frac{\Delta Q}{\Delta h} = 3600B\sqrt{v}$$

Перемещение заслонки и нарастание потока происходит практически мгновенно. Поэтому регулирующей орган, как правило, звено безинерционное. Но до объекта управления регулирующее воздействие Q дойдет с некоторым опозданием, которое легко определить по формуле:

$$\tau = \frac{l}{v}$$

где l — длина пути перемещения вещества в питателе, м;
 v — скорость движения вещества, м/с.

Тогда передаточная функция РО в операторной форме

$$W_{(p) p.o} = k_{p.o} e^{-\tau p} = 3600B\sqrt{v} e^{-\left(\frac{l}{v}\right)p}$$

В структуре регулирующих органов могут быть функциональные звенья, обладающие значительной емкостью и, соответственно, инерцией.

Так, например, теплицы можно обогревать стационарными отопительными батареями, обладающими значительной емкостной массой и временем разгона при нагреве. Менее емкостными являются calorиферы тепловентилляторов, но они также обладают некоторой реальной инерцией. Инерцией также обладают электронагревательные устройства (ТЭНы), теплообменники в устройствах подогрева воды и т.п.

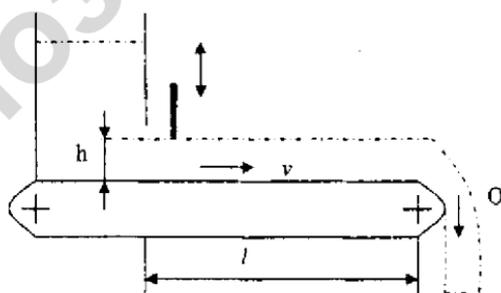


Рис. 2.76 Схема ленточного питателя сыпучих материалов

Алгоритмическая характеристика такого рода элементов, как правило, аппроксимируется передаточной функцией аperiodического звена первого порядка:

$$W_{(p)} = \frac{k}{(Tp+1)}$$

Коэффициенты k и T передаточной функции, как и в объектах управления с одной емкостью, определяются аналитически или экспериментально.

Так, например, в теплице установившийся режим батарей наступит, когда скорость изменения температуры батарей $\frac{d\theta_6}{dt} = 0$, тогда $Q_{np} = Q_p = Q_{от}$.

Приняв, что $Q_{np} = \alpha_{т.н} S_6 (\theta_{т.н} - \theta_6)$ и $Q_p = \alpha_6 S_6 (\theta_6 - \theta_{в.н})$, путем дифференцирования находят коэффициент самовыравнивания на стороне поступления δ_n и на стороне расхода δ_p теплоты батарей. По этим коэффициентам определяют общий коэффициент самовыравнивания δ_6 :

$$(dQ_{np}/d\theta_6)_0 = -\alpha_{т.н} S_6;$$

$$(dQ_p/d\theta_6)_0 = -\alpha_6 S_6;$$

$$\delta_6 = \frac{\theta_{6(0)} S_6}{Q_{6(0)}} (\alpha_{т.н} + \alpha_6),$$

где $\alpha_{т.н}$, α_6 — коэффициенты передачи теплоты от теплоносителя на батарею и от батареи на воздух.

Время разгона определится массой батарей и теплоемкостью их материала для нагрева до установившегося значения

$$T_p = m_6 C_6 \theta_6 / Q_{от}$$

Тогда постоянная времени $T = T_p / S_6$, а коэффициент передачи $k = 1/|\delta_6|$, то есть:

$$T = \frac{m_6 C_6}{S_6 (\alpha_{т.н} + \alpha_6)};$$

$$k_6 = \frac{Q_{6(0)}}{S_6 (\alpha_{т.н} + \alpha_6) \theta_{6(0)}}.$$

Передаточная функция батарейных обогревающих устройств:

$$W_{(p)/6} = k_6 / (Tp+1)$$

Необходимо иметь в виду, что РО всегда расположены перед объектом управления, а их инерционность фактически равнозначна запаздыванию входного сигнала объекта. Поэтому при выборе закона регулирования, постоянную времени РО учитывают в составе чистого запаздывания объекта.

Если эта постоянная времени значительно меньше чистого запаздывания объекта (менее 5%), то ею пренебрегают.

2.3.7 Электронные регулирующие приборы

Используя данные об объекте автоматизации — статические и динамические характеристики, сведения о возмущениях, технологические требования к качеству регулирования, можно в каждом конкретном случае на основе выработанных практикой критериев определить и выбрать тип регулятора. Выбор этот является предварительным, а окончательное заключение об устойчивости системы объект — регулятор и точности регулирования делают на основе последующих расчетов.

При выборе и обосновании принципа регулирования прежде всего выбирают непрерывное или позиционное регулирование. При этом учитывают, что позиционные регуляторы, как правило, проще по устройству и в эксплуатации и дешевле регуляторов плавного действия. Кроме того, имеют в виду, что непрерывное регулирование может быть реализовано только на объектах, регулирующий орган которых обеспечивает плавное изменение своего положения.

Основное условие выбора принципа регулирования определяется соотношением запаздывания регулирующего воздействия и постоянной времени объекта управления τ/T . Считается, что, если $\tau/T < 0,2$, то может быть использовано позиционное регулирование, а при $\tau/T > 1$ требуются особо чувствительные, например, импульсные регуляторы. В промежутке между указанными пределами τ/T_a (от 0,2 до 1) применяется плавное регулирование.

Время запаздывания регулирующего сигнала τ в этом случае выражается суммой

$$\tau = \tau_{p.o} + T_{p.o} + \tau_{o.y}$$

где $\tau_{p.o}$, $\tau_{o.y}$ — запаздывание в регулирующем органе и объекте управления;
 $T_{p.o}$ — постоянная времени емкостного регулирующего органа.

Величина T есть постоянная времени объекта управления. Для многоемкостных объектов — это сумма постоянных времени всех емкостей T_i :

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$

2.3.8 Позиционные регуляторы

Регулирующий контур позиционного регулятора состоит из датчика, аналогового или цифрового позиционного регулирующего прибора и исполнительного устройства дискретного действия (регулирующий орган открыт / закрыт). В настоящее время в промышленности широко применяются двухпозиционные, трехпозиционные и многопозиционные электрические регуляторы.

Аналоговый двухпозиционный регулирующий прибор. На рис. 2.77 изображена структурная схема электронного двухпозиционного регулирующего прибора.

Аналоговый сигнал с датчика 1 поступает как действительное значение Y через усилитель 2 в сравнивающее устройство 3. В сравнивающем устройстве формируется разность между действительным значением Y и установленным на задатчике 4 заданным значением Y_3 и выдается отклонение регулируемого параметра ε . Появляющийся при рассогласовании разностный сигнал воздействует через усилитель 5 и схему И на последовательно включенный триггерный каскад 7. Выходной сигнал триггера управляет действием реле 12 с нулевым потенциалом на переключающем контакте А.

Вместо релейного выхода регулирующий прибор может быть оснащен двоичным выходом по напряжению 13. Положение «якорь реле притянут» показывается включением светодиода 11. Контур обратной связи 8 с ПД, или ПИД характеристикой обеспечивают согласование регулятора с объектом регулирования. В РП может быть встроена ПД — контур обратной связи с коррекцией рабочей точки. Зона неоднозначности 2Δ может устанавливаться через устройство 9. В серийном исполнении регулирующий прибор оснащается защитой 6 от поломки и короткого замыкания чувствительного элемента. Звено 10 сопрягает сигнал контроля чувствительного элемента с триггерным сигналом. Напряжение для питания структурных элементов вырабатывается и стабилизируется в сетевом блоке питания 14.

Двухпозиционными регуляторами мы будем называть такие регуляторы, выходная величина которых может принимать только два установившихся значения.

Так, если в качестве выходного элемента двухпозиционного регулирующего прибора используется реле, то одно установившееся значение выходной величины соответствует отключенному состоянию реле, а второе — включенному. В связи с этим двухпозиционные регуляторы иногда называют регуляторами, работающими по принципу «да — нет».

Исходя из двоичной системы счета, одно установившееся состояние выходной величины регулятора иногда обозначают 0, а противоположное состояние — 1. В этом случае двухпозиционные регуляторы также называют с законом регулирования 0–1.

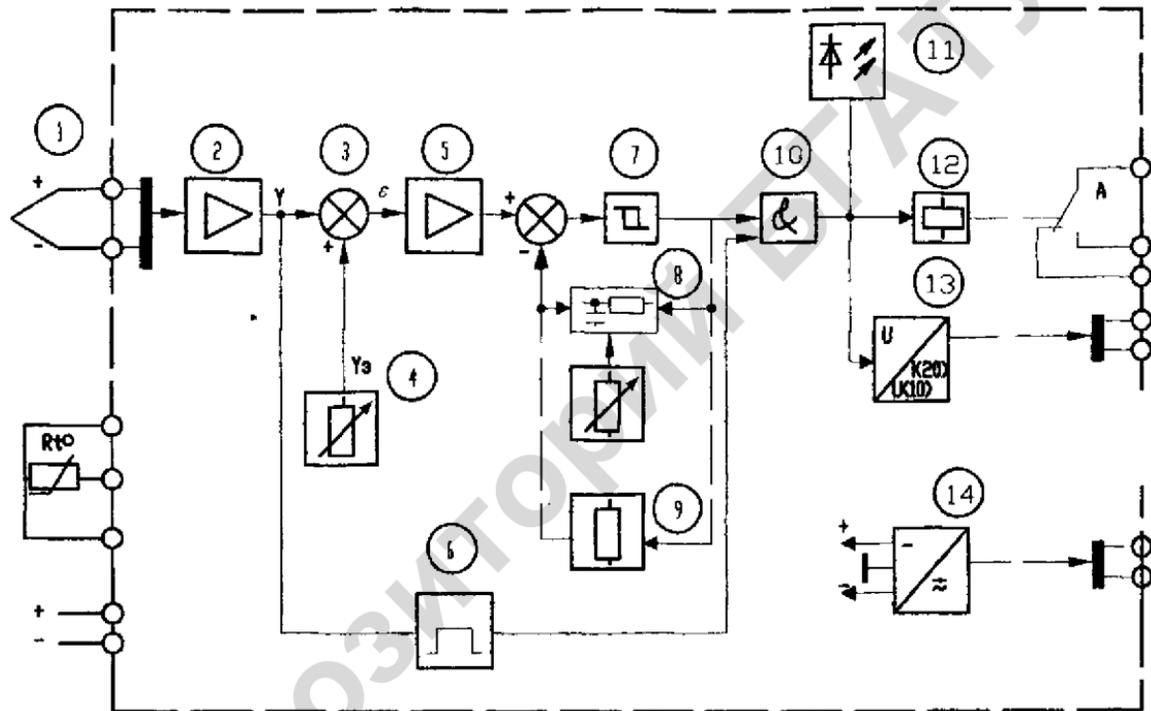


Рис. 2.77 Структурная схема электронного двухпозиционного регулирующего прибора: 1 – датчик; 2, 5 – усилитель; 3 – сравнивающее устройство; 4 – задачик; 6 – защита; 7 – триггерный каскад; 8, 9 – контуры обратной связи; 10 – звено сопряжения; 11 – светодиод; 12 – реле; 13 – цифровой выход; 14 – сетевой блок питания

На рис. 2.78 приведена статическая характеристика двухпозиционного регулирующего прибора.

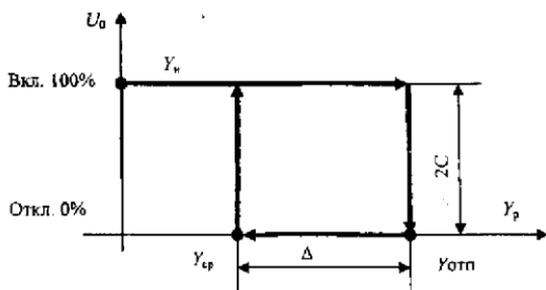


Рис. 2.78 Статическая характеристика двухпозиционного регулирующего прибора: Y_p — рабочая зона регулирующего прибора, в единицах параметра регулируемой величины; $Y_{сп}$ — величина параметра для срабатывания реле; $Y_{отп}$ — величина параметра для отпущения реле; Δ — устанавливаемая зона неоднозначности; U_0 — управляющее воздействие начального значения

При включении регулятора в суммирующем устройстве регулирующего прибора происходит сравнение заданного значения контролируемого параметра ($Y_{зд}$) с его начальным значением (Y_n). Если сигнал рассогласования

$$\varepsilon = (Y_n - Y_{зд}) < 0,$$

он поступает на усилитель и включается реле KV регулирующего прибора. Замыкающий контакт регулирующего прибора используется для управления исполнительным механизмом регулятора. В качестве *исполнительного механизма в позиционных регуляторах* используются *электромагниты, электродвигатели, электрические нагревательные элементы*. В объект начинает поступать вещество или энергия. Контролируемый параметр становится переменным во времени $Y(t)$.

При достижении сигнала рассогласования значения $\varepsilon = [Y(t) - Y_{зд}] > 0$, катушка реле KV обесточивается, контакт размыкается. В объект прекращает поступать вещество (энергия). Одновременно по каналу местной обратной связи увеличивается значение $Y_{зд}$ на величину Δ . Значение параметра, в связи с прекращением поступления в объект вещества (энергии), начинает снижаться. При уменьшении $Y(t) > Y_{зд}$ или $Y(t) \approx Y_{зд}$ на величину Δ , т.е. до значения $Y_{сп}$, включается реле регулируемого прибора. Одновременно восстанавливается значение $Y_{зд}$. В объект поступает вещество (энергия). Цикл повторяется.

В аналоговых двухпозиционных регулирующих приборах заданное значение регулируемой величины и зону неоднозначности устанавливают путем перемещения движков потенциометров. В цифровых регулирующих приборах параметры настройки устанавливаются с помощью встроенной в прибор клавиатуры и дисплея.

Двухпозиционные регуляторы имеют режим переключательной функции «ВКЛЮЧИТЬ—ВЫКЛЮЧИТЬ». Это соответствует 100% и 0% исполнительного действия (хода регулирующего органа). При таком типе регулирующего воздействия происходят незатухающие колебания регулируемой величины Y относительно заданной максимальной (Y_{\max}) и заданной минимальной (Y_{\min}). Характер переходного процесса нелинейных автоматических систем с релейными регуляторами определяется видом статической характеристики релейного элемента, а также видом объекта (статический, астатический с запаздыванием, без запаздывания) рис. 2.79.

Если имеется астатический (без самовыравнивания, рис. 2.79, а) объект с передаточной функцией:

$$W_{(r)об} = \frac{k_a}{T_a P},$$

где k_a , T_a – передаточный коэффициент и постоянная времени объекта, то при ступенчатой подаче на вход объекта управляющего воздействия, регулируемая величина будет изменяться по линейному закону:

- для положительного входного воздействия (приток)

$$y_1 = \frac{k_a}{T_a} X_{вх} t;$$

- для отрицательного входного воздействия (отток)

$$y_2 = -\frac{k_a}{T_a} X_{вх} t$$

При отсутствии в объекте запаздывания амплитуда автоколебаний (относительно среднего значения параметра ($Y_{зад.ср.}$)) равна половине ширины петли статической характеристики регулирующего прибора, так как выходная величина начинает нарастать в момент замыкания контакта регулирующего прибора и спадать сразу после размыкания.

Из простых геометрических построений следует, что период автоколебаний

$$T_{вх} = \frac{4_a T_a}{k_a C} \quad (2.129)$$

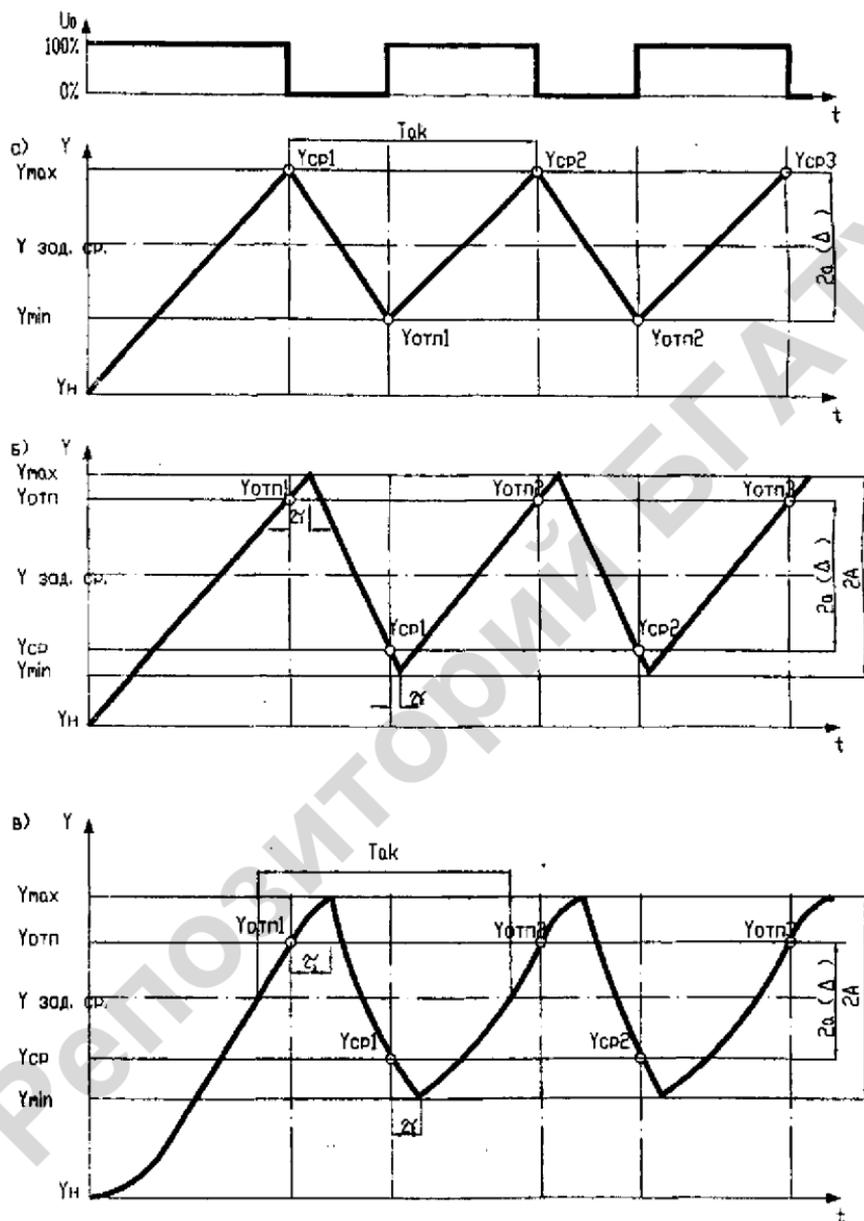


Рис. 2.79 Динамика двухпозиционного регулирования: а – астатического объекта без запаздывания; б – астатического объекта с запаздыванием; в – статического объекта с запаздыванием

В релейных автоматических системах с астатическим объектом при наличии запаздывания динамика процесса регулирования несколько отличается от динамики регулирования объекта без запаздывания, хотя в этом случае, как и ранее, будет существовать режим автоколебаний. В самом деле, поскольку имеются запаздывания, регулируемая величина продолжает увеличиваться после прекращения притока в течении времени τ_1 , (время запаздывания для условий притока). Только после истечении τ_1 регулируемая величина начинает уменьшаться из-за наличия оттока, причем и после появления притока уменьшение будет продолжаться в течении времени τ_2 (времени запаздывания для условий оттока). Следует иметь ввиду, что наклоны возрастающей и убывающей прямых процесса двухпозиционного регулирования в общем случае неодинаковы за счет неравноценного влияния притока и оттока на объект и за счет различных передаточных коэффициентов объектов для режимов притока и оттока.

В этом случае передаточная функция объекта

$$W_{(p)} = \frac{k_{1,2}}{T_{1,2}p} e^{-\tau_{1,2}p}$$

Из геометрических построений следует, что амплитуда автоколебаний больше половины ширины петли статической характеристики и имеет вид:

$$A = a + \frac{c}{2} \left(\frac{k_1 \tau_1}{T_1} + \frac{k_2 \tau_2}{T_2} \right), \quad (2.130)$$

В частном случае, когда $k_1 = k_2$, $\tau_1 = \tau_2$, $T_1 = T_2$,

$$A = a + \frac{Ck\tau}{T}. \quad (2.131)$$

В общем случае период автоколебаний

$$T_{ак} = 2a \frac{k_1 T_2 + k_2 T_1}{k_1 k_2 C} + \tau_1 + \tau_2. \quad (2.132)$$

В частном случае

$$T_{ак} = \frac{4aT}{kC} + 2\tau \quad (2.133)$$

Из приведенных зависимостей следует, что из-за наличия запаздывания в объекте увеличивается амплитуда и период автоколебаний регулируемой величины.

В общем случае среднее значение автоколебательного процесса может не совпадать с заданным значением регулируемой величины $Y_{зад\text{ ср}}$.

Более сложная кривая регулируемой величины получается при работе двухпозиционного регулятора со статическим объектом при наличии запаздывания (рис. 2.79, в).

В этом случае передаточная функция объекта:

$$W_{(p)} = \frac{ke^{-\tau_1 p}}{T_{1,2}p + 1}$$

На участке нарастания кривой (при наличии притока) регулируемая величина изменяется согласно соотношению:

$$Y = kC(1 - e^{-\frac{t-\tau_1}{T_1}}).$$

На участке убывания регулируемой величины

$$Y = kCe^{-\frac{t-\tau_2}{T_2}}.$$

Путем математических выкладок и преобразований можно получить выражения для определения амплитуды и периода автоколебаний.

Амплитуда автоколебаний в общем случае можно найти из соотношения (при $k_1 = k_2 = k$)

$$2A = kC - (Y_{ср} - a)\lambda_2 - (kC - Y_{ср} - a)\lambda_1, \quad (2.134)$$

где $\lambda_1 = e^{-\frac{\tau_1}{T_1}}$; $\lambda_2 = e^{-\frac{\tau_2}{T_2}}$.

В частном случае при $\tau_1 = \tau_2$ и $T_1 = T_2$

$$A = kC(1 - \lambda) + 2a. \quad (2.135)$$

Период автоколебаний может быть определен из выражения

$$T_{ак} = T_1 \ln \frac{kC - (Y_{ср} - a)\lambda_2}{(kC - Y_{ср} - a)\lambda_1} + T_2 \ln \frac{kC - (kC - Y_{ср} - a)\lambda_1}{(Y_{ср} - a)\lambda_2} \quad (2.136)$$

Если динамика нарастания и убывания регулируемой величины одинакова, то если $T_1 = T_2$ и $\tau_1 = \tau_2$, то зависимость для $T_{ак}$ значительно упрощается

$$T_{ак} = T_n \frac{\left(\frac{kC}{\lambda} - Y_{ср} + a\right) \left(\frac{kC}{\lambda} - kC + Y_{ср} + a\right)}{(kC - Y_{ср} - a)(Y_{ср} - a)} \quad (2.137)$$

Таким образом, задача *настройки* двухпозиционных регуляторов заключается в том, чтобы применительно к данному объекту рассчитать и установить настроечные параметры $Y_{отп}$ (для притока), или $Y_{ср}$ (для оттока) и зону неоднозначности Δ .

Значение настроечных параметров в аналоговых регуляторах устанавливаются путем изменения сопротивления соответствующих переменных резисторов.

В цифровых регуляторах настроечные параметры устанавливаются непосредственно со встроенных индикаторов и клавиатуры по инструкции завода изготовителя. При наладке релейных регуляторов чаще всего бывает необходимо изменять частоту и амплитуду автоколебаний.

При этом используют три принципиально разных способа: изменяют зону нечувствительности (ширины петли) релейного элемента, изменяют значения притока и оттока управляющего воздействия и вводят динамические элементы в схему регулятора.

Из рассмотренных зависимостей для определения амплитуды и периода автоколебаний видно, что уменьшение ширины петли релейной статической характеристики приводит к уменьшению амплитуды и периода автоколебаний, следовательно, повышает точность регулирования.

Из выражений для амплитуды и периода автоколебаний видно также, что повысить точность регулирования можно путем уменьшения притока и оттока. Более наглядно это видно из рис. 2.80.

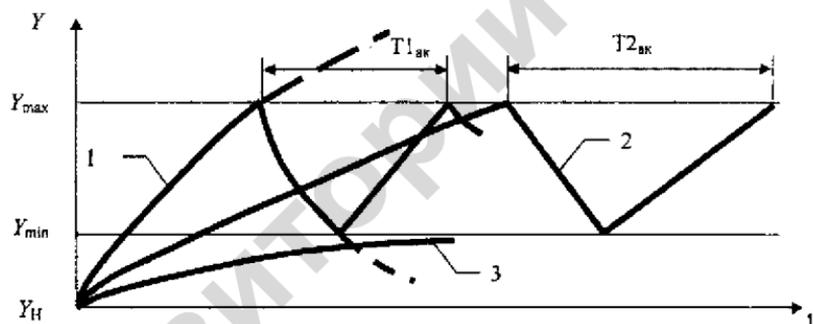


Рис. 2.80 Динамика двухпозиционного регулирования при различных значениях ПРИТОКА-ОТТОКА: 1 — значение притока-оттока велико; 2 — значение притока-оттока оптимально; 3 — значение притока — мало

Двухпозиционные регуляторы с обратной связью. Регулирующие воздействия двухпозиционных регуляторов на объекты с запаздыванием повышенного порядка можно улучшить с помощью электронных устройств обратной связи.

С помощью обратной связи увеличивается частота переключений, благодаря чему уменьшается амплитуда отклонений регулируемого параметра. Кроме того, можно существенно улучшить эффект регулирования в динамическом режиме, предел частоты переключений устанавливается посредством выходного каскада. При механических исполнительных элементах, таких как реле и контакторы, она должна быть не более 1–5 переключений в минуту. При двоичных выходах по напряжению и току дополнительно подключенными тиристорными и симисторными исполнительными элементами допускается высокая частота переключений, далеко выходящая за предел частоты

для объекта регулирования. Ввиду того, что переключающие импульсы на выходе объекта регулирования уже не могут быть определены, получаемый результат сравним с теми, которые получаются от непрерывных регуляторов.

В отличие от непрерывных регуляторов, у которых амплитуда выходного сигнала отображает регулирующее воздействие, у двухпозиционных регуляторов с обратной связью выходная величина формируется посредством широтно-импульсной модуляции. Двухпозиционные регуляторы с обратной связью применяются, например, для регулирования температуры в печах, а также в нагревательных и холодильных агрегатах.

Трехпозиционные регуляторы состоят из датчика, трехпозиционного регулирующего прибора и многооборотных механизмов или исполнительных механизмов, обеспечивающих регулируемому органу два устойчивых положения (закрыто — открыто).

В аналоговом трехпозиционном регулирующем приборе (рис. 2.81) сигнал измерительного датчика 1 усиливается и линеаризируется во входном каскаде 2 преобразуется в цифровую форму в АЦП 3 и выводится на знаковый светодиодный индикатор 7.

Одновременно он поступает как действительное значение U_v сравнивающее устройство 4. В сравнивающем устройстве формируется разность между действительным значением U и установленным на задатчике 5 заданным значением YU_3 . Получается отклонение регулируемой величины ε . Усиленный разностный сигнал из сравнивающего устройства поступает на последовательно включенные триггерные каскады 11 и 12. Последние запускают соответствующие реле 17 и 20. Посредством потенциометра 10 можно регулировать контактный интервал. Устройство контроля измерительной цепи 9 отключают через звенья 13 и 14 оба реле в случае обрыва входной цепи.

Светодиоды 15 и 18 показывают состояние «Якорь реле притянут». Вместо релейных выходов возможно исполнение с двоичными выходами управления 16 и 19. Напряжение для питания структурных блоков вырабатывается и стабилизируется в сетевой блоке питания.

Трехпозиционные регуляторы в отличие от двухпозиционных с двумя устойчивыми положениями — «больше» и «меньше», обеспечивают еще и третье положение его — «норма».

Такой режим работы трехпозиционного регулятора объясняется наличием на выходе регулирующего прибора двух реле: KV1 и KV2.

Статическая характеристика трехпозиционного регулирующего прибора и диаграмма срабатывания контактов реле прибора приведены на рис. 2.82.

Трехпозиционные аналоговые регулирующие приборы имеют два параметра настройки. Заданное значение параметра $Y_{2 \text{ ср.-отп}}$ устанавливается перемещением движка сопротивления регулирующего прибора. Вторым движком сопротивления устанавливается зона неоднозначности (Δ) регулирующего прибора. Таким образом, $Y_{2 \text{ ср.-отп}} - \Delta = Y_{1 \text{ ср.-отп}}$

Значения параметров $Y_{1 \text{ ср.-отп}}$ и $Y_{2 \text{ ср.-отп}}$ определяют срабатывание реле KV1 и KV2, соответственно.

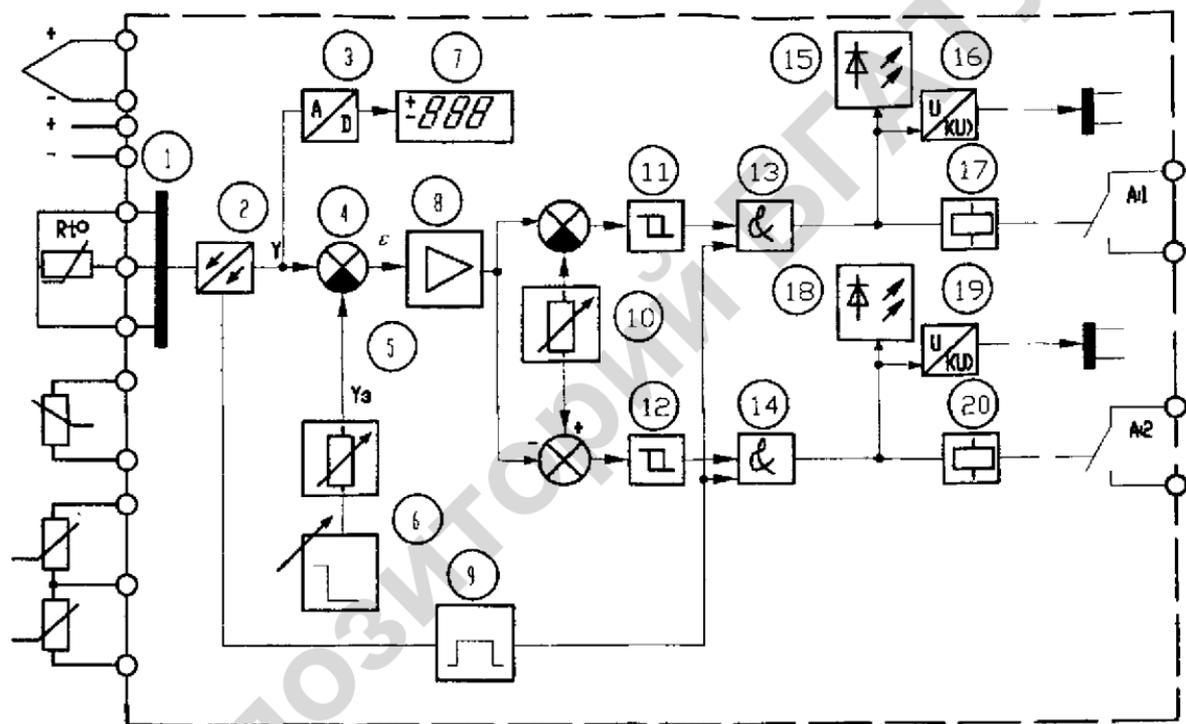


Рис. 2.81 Структурная схема электронного трехпозиционного регулирующего прибора: 1 – датчик; 2 – входной каскад; 3 – АЦП; 4 – сравнивающее устройство; 5 – задачник; 6 – защита; 7 – светодиодный индикатор; 8 – усилитель; 9 – устройство контроля; 10 – потенциометр; 11, 12 – триггерный каскад; 13, 14 – логическое звено; 15, 18 – светодиод; 16, 19 – цифровой выход; 17, 20 – реле

При текущем значении параметра $Y(t) < Y_{I \text{ ср.-отп}}$ происходит срабатывание контактов реле KV1, при $Y(t) < Y_{I \text{ ср.-отп}}$ — отпусkanie.

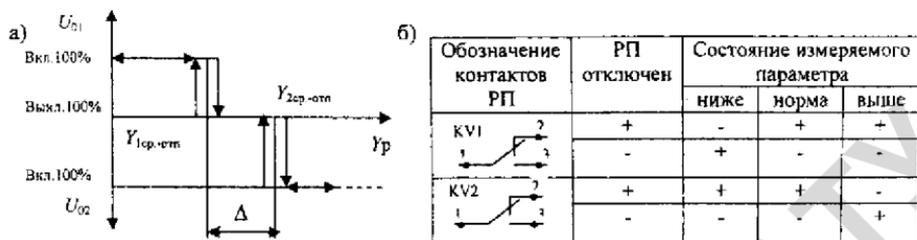


Рис. 2.82 Статическая характеристика трехпозиционного регулируемого прибора (а) и диаграмма срабатывания контактов реле регулирующего прибора (б): U_0 — управляющее воздействие; Y_p — рабочая зона регулирующего прибора, в единицах параметра регулируемой величины

Состояние контактов трехпозиционного регулирующего прибора для трех диапазонов измеряемого параметра отражено на диаграмме (рис. 2.82, б), где знак «+» для замыкания контакта и знак «-» для размыкания контакта.

Примером трехпозиционной релейной системы может служить система управления работой смесительного клапана холодной и горячей воды.

Чувствительный элемент датчика температуры измеряет температуру в смесительной камере.

При отклонении регулируемой величины в большую сторону от заданного значения Y_0 (рис. 2.83) и достижении порогового значения Y_{01} выходной сигнал, подаваемый на исполнительный механизм, будет иметь вид импульсов U_{01} , обеспечивающих включение исполнительного механизма регулирующего органа. При снижении регулируемой величины до значения Y_{02} , исполнительный механизм регулирующего органа отключается.

При отклонении регулируемой величины в меньшую сторону от порогового значения Y_{02} направленность работы исполнительного механизма будет противоположной.

В промежутке между пороговыми значениями Y_{01} и Y_{02} исполнительный механизм регулирующего органа будет отключен и этот участок функционирования представляет собой «зону нечувствительности» системы.

Регулирующий орган в данном случае имеет три положения: «вперед», «назад» и «стоп». В зависимости от выбранного типа регулирующего органа эти положения будут самыми разнообразными (например, «вправо», «середина» и т.п.).

Наличие на выходе трехпозиционного регулирующего прибора двух реле позволяет реализовать ступенчатое регулирование.

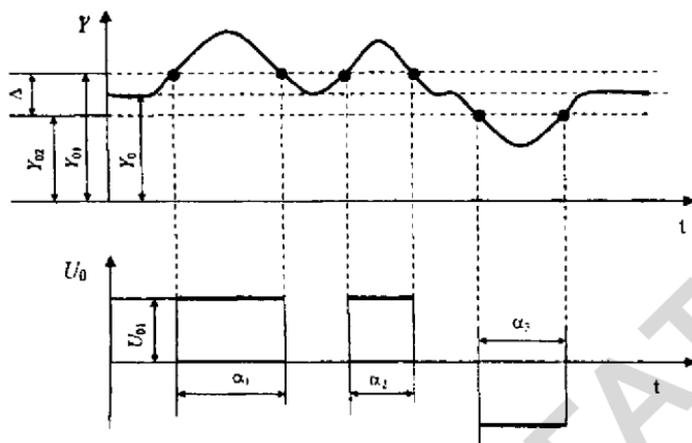


Рис. 2.83 Характеристика трехпозиционной системы автоматического регулирования с использованием «зоны нечувствительности» регулирующего прибора

Характеристика такой системы представлена на рис. 2.84.

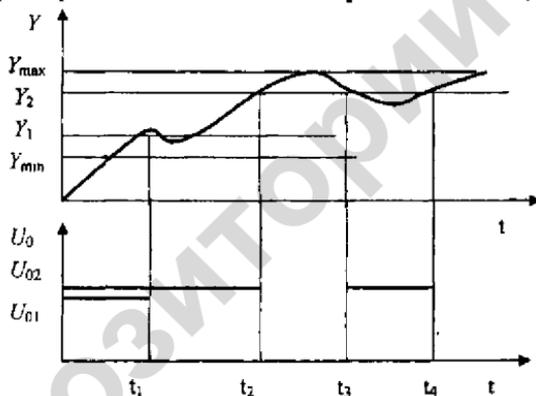


Рис. 2.84 Характеристика ступенчатой системы автоматического регулирования

Например, при регулировании температуры в помещении в самый холодный период года включается нагревательный элемент, обеспечивающий нагрев воздуха до заданного значения.

При использовании двухпозиционного регулирующего прибора нагревательный элемент используется как одна секция, которая включается при минимально допустимой температуре в помещении и отключается при максимально допустимой.

При использовании трехпозиционного регулирующего прибора нагревательный элемент можно разделить на две секции, которые отключаются поочередно по мере повышения температуры воздуха от минимально допусти-

мого значения до максимального, что позволяет сократить затраты на нагрев воздуха. Еще большую экономию можно получить, используя многоступенчатое регулирование.

Многопозиционные регуляторы. При некоторых задачах регулирования требуется разделение регулирующего воздействия между несколькими исполнительными органами или несколькими управляющими величинами. Для подобных задач применяются многопозиционные регуляторы, которые могут приводить в действие несколько различных переключательных элементов. Реализовать многопозиционное регулирование можно набором двух трехпозиционных аналоговых регулирующих приборов или многопозиционным цифровым регулирующим прибором с числом исполнительных контактов до пяти.

Качество работы САР с использованием многопозиционных регулирующих приборов во многом зависит от настройки приборов и выборе количества ступеней регулирования.

Настройка регулирующих приборов заключается в установке настроечных параметров: по шкале — аналоговых регулирующих приборов и программным способом — цифровых приборов, при этом, следует соблюдать соотношение настроечных параметров, изображенное на рис. 2.85.

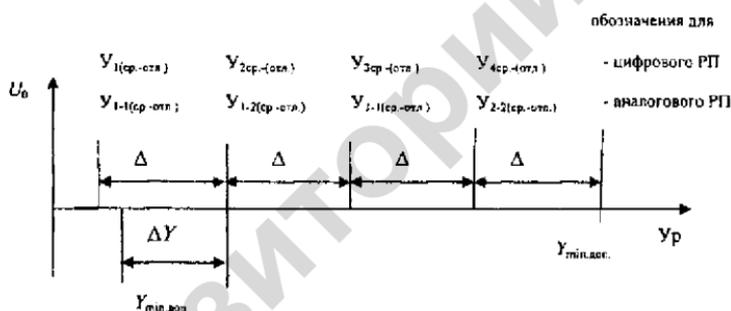


Рис. 2.85 Схема установки настроечных параметров многопозиционной САР: Y_p — рабочая зона регулирующих приборов, в единицах параметра регулирующей величины; $Y_{\max. доп.}$ — максимально допустимое значение контролируемого параметра; $Y_{\min. доп.}$ — минимально допустимое значение контролируемого параметра; Δ — зона неоднозначности; ΔY — максимальный выбег контролируемого параметра после отключения одной секции РО, например, ТЭНа; U_0 — управляющее воздействие

Релейные системы конструктивно наиболее просты и обладают большим быстродействием, однако они имеют меньшую точность регулирования по сравнению с импульсными и непрерывными системами.

Импульсные регуляторы. Импульсные регуляторы создаются, как правило, на базе аналоговых позиционных регуляторов с добавлением блоков импульсного регулирования или ступенчато-импульсных прерывателей СИП. Имеются в эксплуатации двухпозиционные регулирующие устройства им-

пульсного действия. Характеристика такого регулятора приведена на рис. 2.86. В импульсных регуляторах имеется элемент (КТ), который преобразует дискретную или непрерывную выходную величину регулятора в последовательность определенным образом модулированных импульсов. В зависимости от рода модуляции различают регуляторы амплитудно-широтные и время-импульсные. В промышленности находят применения главным образом первые в виде сочетания релейного регулятора со ступенчато-импульсным прерывателем.

Выходная величина импульсного регулятора представляет собой последовательность импульсов, имеющих фиксированную частоту, длительность и амплитуду. При работе с трехпозиционным регулятором знак импульсов определяется знаком величины, поступающей на вход импульсов блока. Длительность импульсов t_2 зависит от величины регулируемого параметра. При наладке импульсных регуляторов проверяют органы настройки длительности импульсов t_2 и пауз t_1 , а также устанавливают выбранные значения их.

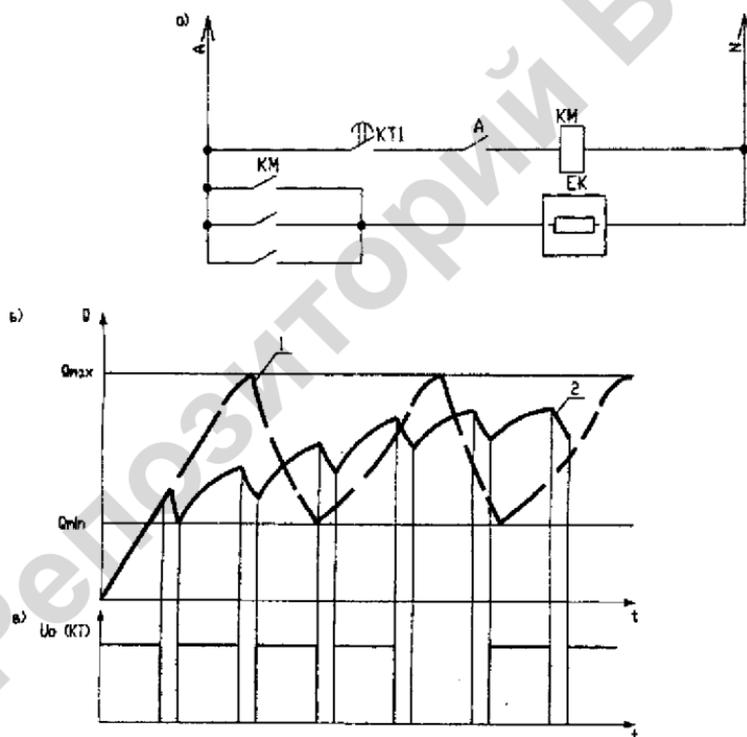


Рис. 2.86 Характеристика импульсного регулятора: а – принципиальная электрическая схема; б – переходный процесс (1 – переходный процесс двухпозиционного регулятора; 2 – переходный процесс импульсного регулятора); в – график следования управляющих импульсов

Импульсные регуляторы позволяют улучшить динамические характеристики системы, уменьшая перерегулирование и ускоряя переходный процесс.

Кроме упомянутых выше, начали внедряться цифровые регуляторы. Эти регуляторы состоят из вычислительных, входных и выходных устройств. Они позволяют значительно повысить точность регулирования (до 0,01–0,001%).

2.3.9 Регуляторы непрерывного действия

Характеристика регуляторов непрерывного действия. Наибольшее распространение получили стабилизирующие автоматические регуляторы непрерывного действия. В состав такого регулятора обычно входят первичный преобразователь, регулирующий прибор и исполнительный механизм непрерывного действия. Регулирующий прибор реализует: интегральный (И), или пропорциональный (П), или пропорционально-интегральный (ПИ), или пропорционально-дифференциальный (ПД), или пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) законы регулирования.

В аналоговом регулирующем приборе непрерывного действия (рис. 2.87) сигнал с датчика 1 поступает в сравнивающее устройство 2. В сравнивающем устройстве формируется разность между действительным значением Y и установленном на задатчике 3 заданным значением Y_3 и выдается отклонение регулируемого параметра ε , которое затем через усилитель 4 и демпфирующую цепочку 5 регулирующего блока подается на суммирующий усилитель 6. Суммирующий усилитель включает в зависимости от знака выходного напряжения один из двух триггеров 7, представляющий собой трехпозиционный релейный элемент. Порог срабатывания каждого триггера задается величиной запирающего напряжения, снимаемого с потенциометра, которым изменяется зона нечувствительности регулятора.

Положительное выходное напряжение триггера запускает блокинг-генератор 8. Импульсы напряжения блокинг-генератора используются для включения тиристоров 10.

Выходные напряжения триггеров управляют также светодиодами 9, выполняющими функции индикаторов включения РП в сторону «больше» и «меньше».

В регуляторах непрерывного действия обязательно должна быть предусмотрена система контроля положения регулирующего органа.

В регуляторах непрерывного действия реализующих П-закон регулирования положение регулирующего органа контролируется датчиком, сигнал с которого поступает через схему преобразования 13 на суммирующий усилитель 6.

В регуляторах непрерывного действия, реализующих ПИ и ПИД-закон регулирования, сигнал обратной связи снимается с выхода регулирующего прибора и через операционный усилитель 11 с коэффициентом равным единице и схему формирования закона регулирования 12 поступает на суммирующий усилитель 6.

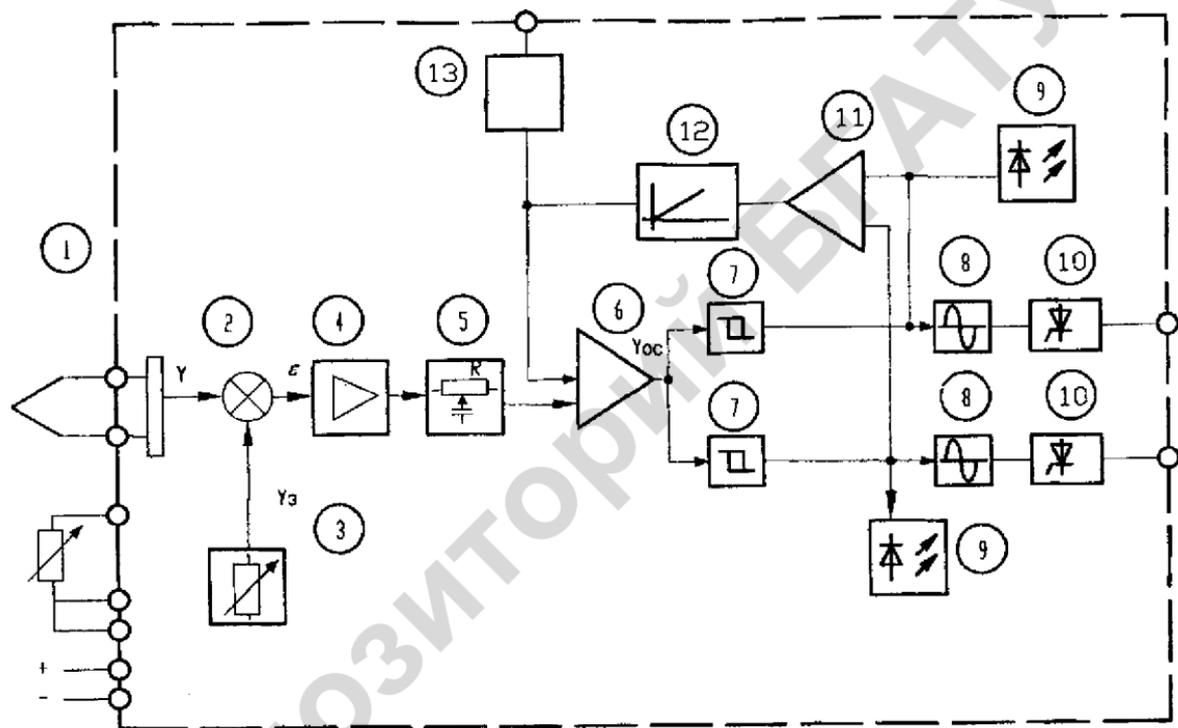


Рис. 2.87 Структурная схема электронного аналогового регулирующего прибора непрерывного действия: 1 – датчик; 2 – сравнивающее устройство; 3 – задатчик; 4, 6 – усилитель; 5 – демпфирующая цепочка; 7 – триггер; 8 – блокинг-генератор; 9 – светодиод; 10 – цифровой выход

Сигнал обратной связи имеет расчетное значение и характеризуется коэффициентом усиления (k_p), временем изодрома (T_n) и временем дифференцированием (T_d). Сигнал обратной связи на вход усилителя b поступает в импульсном режиме.

По принципу управления регулирующим органом регуляторы непрерывного действия можно разделить на два типа: регуляторы непрерывного действия с РО дросселирующего типа и регуляторы непрерывного действия с частотно-регулирующим приводом.

РО дросселирующего типа представляют собой переменное сопротивление в системе, воздействующее на расход вещества за счет изменения своего проходного сечения (задвижки, заслонки, клапаны).

Во втором случае к РО относятся такие устройства или агрегаты и механизмы, посредством которых осуществляется заданное дозирование поступающего вещества или энергии или изменение расхода вещества за счет изменения производительности агрегатов.

Для осуществления желаемого технологического процесса с использованием регулятора непрерывного действия необходимо чтобы регулируемые переменные параметры поддерживались на заданном уровне, либо изменялись по определенному алгоритму.

В настоящее время контуры регулирования строят по иерархическому принципу. К первой ступени иерархии относятся основные регуляторы, на которые возлагается важнейшая практическая задача — стабилизации технологических параметров или их изменения в соответствии с сигналом задания. Характерным признаком основных регуляторов является их непосредственное воздействие на регулируемые органы. Вторую ступень иерархии образуют корректирующие регуляторы, которые воздействуют на технологический процесс, изменяя задания основным регуляторам.

Для реализации регулирования на первой ступени используют регулирующие приборы аналогового и цифрового типа, для многоуровневых систем управления — цифровые регулирующие приборы.

Регуляторы непрерывного действия с РО дросселирующего типа. Рассмотрим принцип работы регулятора непрерывного действия с РО дросселирующего типа, структурная схема которого приведена на рис. 2.88.

Поддержание требуемого технологического режима обеспечивается плавным изменением положения (хода) в данном примере поворотной заслонки.

На рис. 2.88 механизм сочленения регулирующего органа с ИМ показан условно.

Способы сочленения РО с ИМ определяются в каждом конкретном случае типом и конструкцией регулирующего органа и исполнительного механизма, их взаимным расположением, характером перемещения регулирующего органа и другим местным условиям.

Способ сочленения РО с ИМ во многом определяет надежность и качество работы системы автоматического регулирования, основная задача при этом ставится — обеспечение линейной зависимости расходной характери-

стики регулирующего органа ($G^{кр}/\rho$) от угла поворота ротора электродвигателя исполнительного механизма.

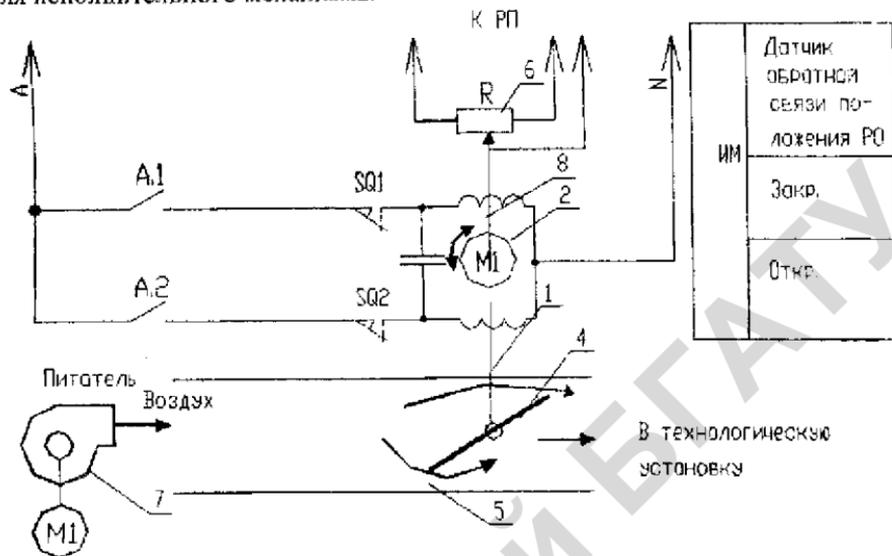


Рис. 2.88 Структурная схема регулятора подачи воздуха: 1 – сочленение регулирующего органа с исполнительным механизмом (ИМ); 2 – ротор электродвигателя ИМ; 3 – сочленение ИМ с датчиком; 4 – поворотная заслонка; 5 – воздуховод; 6 – датчик положения регулирующего органа; 7 – вентилятор

На рис. 2.89 схематично показаны основные способы сочленения РО и ИМ. Принцип работы устройств сочленения ясен из рисунка.

Линеаризация расходной характеристики устройства, изображенного на рис. 2.89, а производится по расходной характеристике РО путем подбора длины кривошипов и тяги, для РО типа задвижки — профилированием поворотного кулачка.

При равномерном линейном перемещении штока линеаризация расходной характеристики производится профилированием проходного отверстия клапана. Подробные сведения по параметрическим характеристикам элементов сочленения можно найти в справочной литературе по наладке автоматических устройств регулирования.

Перемещение РО через элементы сопряжения и понижающий редуктор исполнительного механизма производится посредством реверсивного электродвигателя.

В зависимости от модификации ИМ, в них используются однофазные и двухфазные конденсаторные с полым ротором электродвигатели, обладающие хорошими динамическими качествами и допускающие длительную работу в застопоренном режиме при полном напряжении питания, а при мощности свыше

500 Вт — трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, которые обычно используются в многооборотных ИМ.

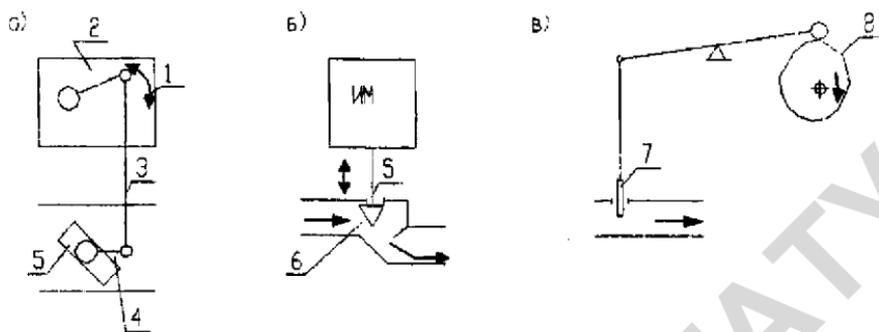


Рис. 2.89 Схемы сочленения регулирующего органа с исполнительным механизмом: 1 — исполнительный механизм типа МЭО; 2 — кривошип ИМ; 3 — тяга; 4 — кривошип; 5 — поворотная заслонка; 6 — клапан; 7 — задвижка; 8 — кулачок

Включение электродвигателя в прямом и обратном направлении вращения производится соответственно контактами А.1 и А.2 реле регулирующего прибора. Срабатывание одного из контактов зависит от знака сигнала рассогласования на выходе сравнивающего устройства регулирующего прибора, определяющего направление перемещения регулирующего органа — на закрытие, или на открытие.

Основным требованием к регулирующему органу является соответствие его пропускной характеристики расчетному значению расхода регулируемой среды. Правильно подобранным считается такой РО, при открытии которого, на 40–60% обеспечивается предусмотренный проектом номинальный расход среды. При открытии клапана от 15 до 85% он должен обеспечить расход среды во всем диапазоне от минимального до максимального значения. Если выбрать клапан с максимальной пропускной способностью значительно больше номинального расхода среды, то даже небольшое перемещение клапана приведет к резким изменениям расхода, не соответствующим величине управляющего сигнала. В этом случае даже при высокой точности работы регулирующего прибора невозможно обеспечить устойчивый режим управления.

Таким образом, номинальный режим работы системы обеспечивается при частично прикрытом регулирующем органе, что приводит к потере энергии. Это является недостатком работы системы с регулятором непрерывного действия и РО дросселирующего типа.

Регуляторы непрерывного принципа действия с частотно-регулируемым приводом. Использование прибора, обеспечивающего регулирование производительности агрегата путем изменения частоты вращения электродвигателя питателя, позволяет отказаться от регулирующих агрегатов

дросселирующего типа и избежать энергетических потерь. Регулирующим органом становится рабочий орган питателя.

В настоящее время промышленностью налажен выпуск преобразователей частоты, которые могут применяться для управления приводами питателей материала, насосов, вентиляторов, компрессоров и т.п. для поддержания заданной величины расхода, давления.

Результаты применения преобразователей частоты, например, в системе водоснабжения показывают чрезвычайно высокую эффективность в области энергоснабжения, так на рис. 2.90 приведен график работы частотно-регулируемого привода для подачи холодной питьевой воды для жилых домов насосом. Назначение насоса в примере — повышать напор в водопроводной сети до необходимого (примерно 45 м). На графике видно, что суточный расход меняется почти в шесть раз. Кроме того, входное давление также постоянно меняется в течение суток.

За счет плавного регулирования скорости вращения двигателя насоса, преобразователь частоты в любых условиях, даже при резком изменении расхода, поддерживает напор в системе строго постоянным и равным заданному.

Преобразователи частоты разработаны на цифровой элементной базе, что значительно расширяет их функциональные возможности.

Одно из основных положительных качеств данных преобразователей — их высокая надежность. Кроме того, функции преобразователя позволяют учесть практически любые потребности конкретного потребителя и особенности любой конкретной технологической ситуации.

При включении преобразователь осуществляет поддержание заданного параметра с помощью пропорционально-интегрального дифференциального регулирования. Параметры системы регулирования могут быть легко настроены с помощью программирования преобразователя.

При регулировании, преобразователь выдает следующие информационные сигналы, характеризующие процесс регулирования:

- верхняя граница частоты. Сигнал говорит о том, что насос либо не качает воду (сухой ход), либо достиг своей максимальной производительности (граница выдачи сигнала программируется);
- нижняя граница частоты. Сигнал говорит о том, что частота вращения двигателя ниже заданного порога (порог задается с помощью программирования). Такая ситуация возникает при понижении расхода перекачиваемой жидкости;
- направление вращения. Сигнал характеризует направление вращения двигателя при работе.

Преобразователи имеют функцию автосброса, позволяющую им надежно и устойчиво работать даже в «грязных» и «слабых» отечественных силовых сетях.

При использовании этой функции, преобразователь после срабатывания защиты автоматически пытается сбросить и вновь начать работать. Время между срабатыванием защиты и автоматической попыткой пуска, а так же количество таких попыток программируется.

Как правило, все преобразователи реагируют срабатыванием защиты на кратковременное понижение напряжения питания в сети. Такая ситуация не редкость, например, когда где-то рядом включается мощная силовая нагрузка. Если преобразователь не снабжен функцией автосброса, подобная безобидная ситуация вызовет остановку насоса.

Если же причина срабатывания защиты более серьезна, то преобразователь, исчерпав количество попыток автосброса, остановится и выдаст во внешние цепи релейный сигнал срабатывания защиты.

При срабатывании защиты, с помощью релейного сигнала неисправности, можно автоматически переключить насос на работу на прямую от сети.

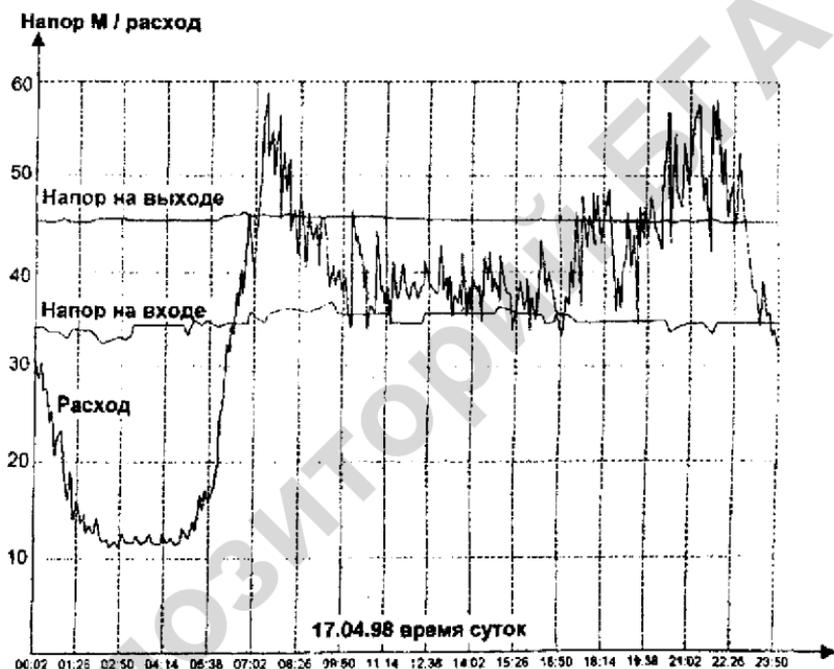


Рис. 2.90 График работы частотно-регулируемого привода

Регулирование скорости вращения стандартных асинхронных электродвигателей с помощью преобразователей частоты позволяет:

- экономить до 50 % электроэнергии;
- увеличить срок службы электродвигателей в 2–3 раза;
- увеличить технологические возможности и срок службы электрооборудования.

Многообразие встроенных функций позволяет резко повысить производительность системы. Программирование инвертора в соответствии с требованиями к нагрузке дает возможность найти полное соответствие статиче-

ских и динамических характеристик исполнительного механизма и электропривода. Микропроцессорная система управления инвертора обеспечит мгновенное регулирование на все изменения нагрузки в соответствии с заложеной программой, а бессенсорное векторное управление обеспечит точный контроль момента на всем диапазоне частот.

Инверторы обладают широкими функциональными возможностями:

- векторное управление обеспечивает достижение высоких пусковых моментов и поддержание момента на малых оборотах (не менее 150% от номинального момента уже при 30 об/мин для четырехполюсного двигателя);
- режим энергосбережения, оптимального по времени разгона и торможения;
- повышение момента двигателя в области малых частот за счет увеличения выходного напряжения;
- функция автоматического регулирования напряжения позволяет поддерживать постоянный момент при нестабильном питании сети;
- функция регулирования пусковой частоты позволяет при необходимости выполнить резкий (ударный) старт;
- во избежание резонанса механизма и нагрузки используют функцию, позволяющую осуществить скачок частоты. Можно устанавливать до трех скачков частоты;
- функция многоступенчатого задания скорости позволяет устанавливать до 16-ти фиксированных скоростей и выполнять регулирование скорости двигателя с помощью галетного переключателя;
- установка выходной частоты с помощью: пульта оператора инвертора, внешним сигналом (0–5 В, 0–10 В, 4–20 мА), с клемм цепи управления (сигнал установки многоступенчатой скорости), с дистанционного пульта оператора, с помощью дополнительных устройств;
- функция установки верхней и нижней границы частоты эффективна для предотвращения перегрузки (определяется верхней границей) и недостаточного самоохладения (определяется нижней границей) двигателя;
- выбор вида рестарта определяет способ функционирования инвертора при возникновении сбоев питания: генерация сигнала о сбое, замедление и останов, рестарт при вращающемся двигателе, рестарт с 0 Гц;
- установка значений частоты для выдачи выходного сигнализирующего сигнала (24 В), характеризующего достижение выходной частотой определенного значения;
- устанавливая тормозной момент и время при торможении постоянным током, можно достичь повышенной точности позиционирования и останова;
- плавный пуск, выполняемый при пониженном напряжении, может применяться для приводов конвейеров и т.п.;
- инвертор имеет электронное тепловое реле для защиты двигателя от перегрева. Уровень и характеристики перегрева устанавливаются отдельно;
- защиты от перегрузки по току, от повышенного и пониженного напряжения сети, от замыкания на землю, от провала фазы и многое другое;

- функции ПИД-регулирования находят широкое применение в системах, требующих поддержания уровня, давления, воздушного потока и т.п. на заданном уровне;
- отображение в цифровом и аналоговом виде значений частоты, выходного тока, момента, направления вращения двигателя;
- установка направления вращения двигателя дает возможность изменять направление вращения двигателя без переключения проводов между двигателем и инвертором;
- функция двухступенчатого разгона и торможения позволяет изменять время разгона и торможения с помощью сигнала от внешнего контакта;
- выбор любой из десяти вольтчастотных характеристик запрограммированных в инвентаре, а также программирование инвертора другой уникальной характеристики позволяет найти точное соответствие номиналов двигателя и нагрузки и т.д.

Законы регулирования. Под законом регулирования подразумевается функциональная связь между выходным сигналом (координатой) $X_{\text{вых}}$ регулятора и его входной координатой $X_{\text{вх}}$ как в установившемся, так и в переходном режимах.

Между выходной координатой $X_{\text{вых}}$ регуляторов и положением в каждый момент времени регулирующего органа объекта автоматизации существует прямая зависимость, поэтому величиной $X_{\text{вых}}$ иногда называют координату положения регулирующего органа α_p . Фактически такая подмена не всегда правомерна. А вот вход регулятора $X_{\text{вх}}$ и отклонение регулируемой величины объекта управления $Y = Y_и - Y_з$ или $X_о = X_{в(и)} - X_{в(з)}$ — величины, всегда тождественные (символы «и» и «з» означают «измеренное» и «заданное» значения).

Среди непрерывных наиболее широко используются два основных простейших закона (П- и И-законы) и три их комбинации в сочетании с предварением или без него (ПИ-, ПД-, ПИД-законы).

Рассмотрим наиболее распространенные законы регулирования.

В регуляторах непрерывного действия сравниваются сигналы соответствующие текущему значению параметра $Y(t)$, измеренного первичным преобразователем и заданного $Y_з$, установленного потенциометром аналогового регулирующего прибора, или программно — в цифровом РП.

Прибором определяется полярность сигнала рассогласования.

Нечувствительность регулятора Δ , определяющая минимальную величину входного сигнала, при которой подается команда на исполнительный механизм, аналогично устанавливается на регулирующих приборах. При малых величинах нечувствительности наблюдаются очень частые включения исполнительного механизма, которые могут привести к быстрому выходу его из строя.

Определить величину нечувствительности можно по формуле:

$$\Delta = 0,5 \sigma_{\text{доп.}} k_{\text{п.п.}}$$

где $\sigma_{\text{доп.}}$ – допустимое отклонение регулируемого параметра;

$k_{\text{п.п.}}$ – крутизна характеристики первичного преобразователя.

В дальнейшем в соответствующих устройствах обратной связи происходит формирование закона регулирования, за исключением интегрального регулятора, который не имеет дополнительной обратной связи.

Закон регулирования П-регулятора выражается уравнением:

$$X_{\text{вых}} = kX_{\text{вх}} \quad (2.138)$$

Его передаточная функция в операторной форме $W_{(p)} = k_p$.

Характерными величинами П-регулятора являются зона пропорционального X_p или коэффициент пропорциональности k_p и рабочая точка Y_0 . Рабочая точка Y_0 представляет собой такое значение выходного сигнала, при котором отклонение регулируемой величины становится равным нулю. Между зоной пропорциональности регулирования X_p и коэффициентом пропорциональности k_p существует следующая зависимость

$$k_p = \frac{1}{X_p} 100\%$$

Выходные и входные величины в пределах зоны X_p находятся в пропорциональной зависимости, т.е.:

$$\Delta X_{\text{вых}} = k_p \Delta X_{\text{вх}} \quad (2.139)$$

Как видно из формулы (2.139), изменение входной величины, например, под влиянием возмущающего воздействия, вызывает изменение выходной величины в k_p раз. В статическом состоянии, при изменении входной величины регулятор управляет объектом по иному значению задающего воздействия, чем до возмущающего воздействия. Это свойство имеют все пропорциональные регуляторы. Такое рассогласование называется *статической ошибкой* или *статическим отклонением*. Максимальная величина статической ошибки δ равна зоне пропорциональности X_p .

Переходные характеристики П-регулятора представлены на рис. 2.91.

Закон регулирования И-регулятора выражается зависимостью:

$$X_{\text{вых}} = \frac{k_p}{T_i} \int X_{\text{вх}} dt, \quad (2.140)$$

а его передаточная функция уравнением

$$W_{(p)} = \frac{k_p}{T_i p} \quad (2.141)$$

Закон регулирования ПИ-регуляторов, которые иногда называют *изодромными*, описывается уравнением:

$$X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}} + \frac{k_p}{T_{\text{и}}} \int X_{\text{вх}} dt, \quad (2.142)$$

где $T_{\text{и}}$ — постоянная времени интегрирующего звена (называется *временем изодрома*).

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W_{(p)} = k_p + \frac{k_p}{T_{\text{и}} p} \quad (2.143)$$

Структурная алгоритмическая схема ПИ-регулятора представляет собой параллельное соединение безынерционного и интегрирующего звеньев.

Закон регулирования ПИД-регулятора описывается уравнением:

$$X_{\text{вых}} = k_p X_{\text{вх}} + \frac{k_p}{T_{\text{и}}} \int X_{\text{вх}} dt + k_p T_{\text{д}} \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}, \quad (2.144)$$

где $T_{\text{д}}$ — постоянная времени дифференцирующего звена, которую иногда называют *временем предварения*.

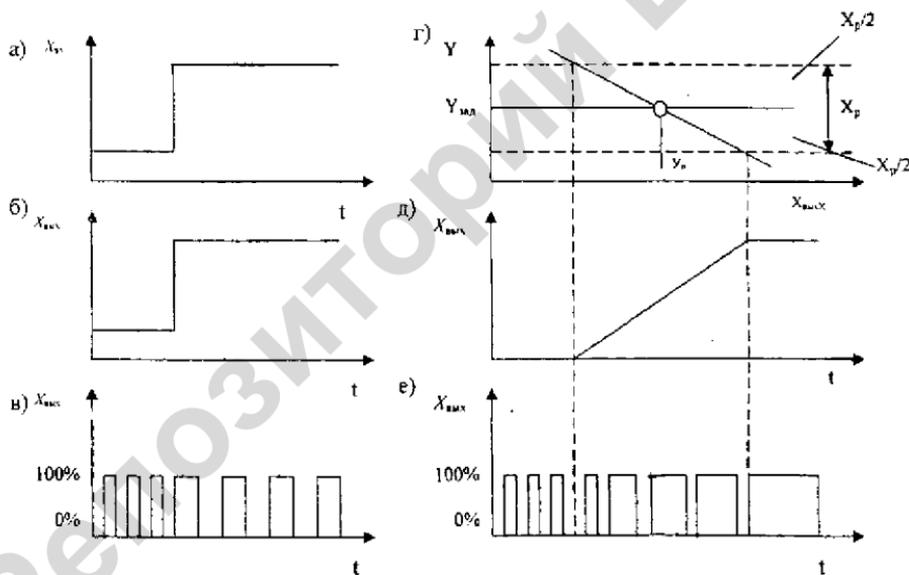


Рис. 2.91 Переходная характеристика ПИ-регулятора: а — скачкообразная функция на входе регулятора; б — переходная характеристика непрерывного регулятора; в — переходная характеристика прерывистого регулятора; г — симметричное расположение зоны пропорционального регулирования X_p ; д — характеристика выхода непрерывного регулятора в пределах зоны пропорциональности X_p ; е — характеристика выхода

Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W_{(p)} = k_p + \frac{k_p}{T_i p} + k_p T_d p \quad (2.145)$$

И-регулирующие звенья имеют в качестве выходной величины интеграл входных величин, то есть регулятор суммирует отклонение от заданного значения во времени. Это означает, что регулятор производит подрегулировку до тех пор, пока не будет устранено отклонение от заданного значения. На практике идеальным решением является комбинация различных звеньев выдержки времени, подбираемая в соответствии с требуемой регулируемой характеристикой. Временная характеристика индивидуальных звеньев может быть выражена через параметры регулятора, а именно: зону пропорционального регулирования X_p , время изодрома T_i (И-составляющая) и время предварения T_d (Д-составляющая).

Большинство задач регулирования типичных для технологии производственных процессов, могут решаться посредством регулятора с ПИ-характеристикой (рис. 2.92).

В случае инерционных объектов регулирования с продолжительным временем запаздывания, например, при регулировании температуры, результат регулирования можно улучшить за счет использования регулятора с ПИД-характеристикой (рис. 2.93).

Регуляторы с ПИ- и ПИД-характеристикой имеют то преимущество, что после установления колебаний регулируемая величина не имеет отклонения от заданного значения. Их недостаток заключен в том, что в пусковой период колебания регулируемой величины выходят за заданное значение.

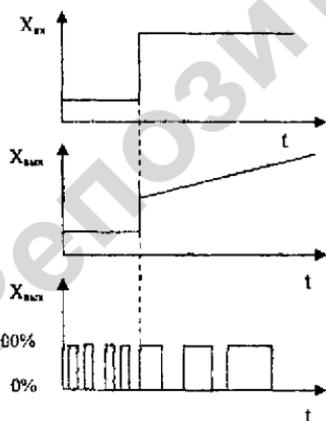


Рис. 2.92 Переходная характеристика ПИ-регулятора

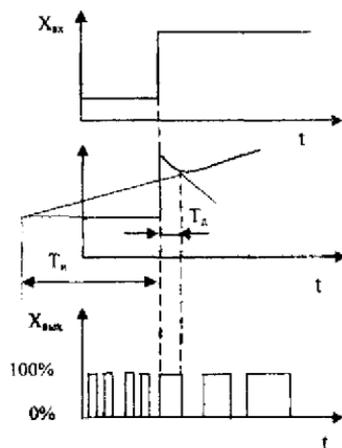


Рис. 2.93 Переходная характеристика ПИД-регулятора

На рис. 2.94 представлена характеристика ПД-регулятора. Д-регуляторы сами по себе не годятся для регулирования т.к. они перестают выдавать команду исполнения, когда входная величина снова становится на статическое значение. В сочетании с П-регулирующими звеньями используют

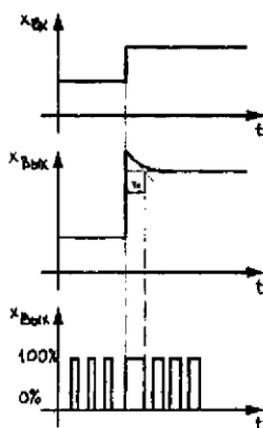


Рис. 2.94 Переходная характеристика ПД-регулятора

Д-составляющие с целью формирования исполнительного импульса в соответствии со скоростью изменения регулируемой величины. При воздействии возмущающего воздействия на объект регулирования ПД-регулятор устанавливается на другую величину отклонения ввиду изменения коэффициента уставки. Возмущения компенсируются, но не полностью. Как преимущество, можно отметить хорошую динамическую характеристику. Достигается демпфированный, свободный от колебаний переход в пусковом режиме и при изменении управляющего воздействия.

Тем не менее, регулятор с Д-составляющей не подходит для объектов регулирования с пульсирующими измеряемыми параметрами, например для регулирования давления и расхода.

Комбинация ПД- и ПИД-структур обеспечивают при оптимальной настройке параметров регулятора хорошую характеристику системы относительно изменений входного задающего сигнала или возмущающих воздействий, подавление вы-

бросов в пусковом режиме, а также регулирование без отклонений в установленном режиме.

В аналоговых регулирующих приборах звенья обратной связи реализуются на усилителях и RC-цепочках, параметры настройки — установкой величины сопротивлений.

Выбор закона регулирования. При выборе закона непрерывного регулирования руководствуются выработанными практикой положениями. Астатические объекты и статические с малым коэффициентом статизма из условий устойчивости не следует блокировать с И-регулятором. Объекты с большим статизмом могут быть облокированы со всеми типами регуляторов. При отсутствии значительных запаздываний, плавных возмущениях и отсутствии особых требований ко времени переходного процесса рекомендуется И-закон, в противном случае (если допускается статическая ошибка) — П-закон. Когда емкость объекта небольшая, а возмущения резко меняются, вводится предварение — ПД- или ПИД-закон. ПИ-регуляторы применяются для объектов со значительным запаздыванием при плавно меняющихся возмущениях. Если надо увеличить быстродействие, пользуются ПИД-законом, иногда с прерывистым воздействием.

Закон регулирования можно определить по диаграмме А.Я. Лернера (рис. 2.95).

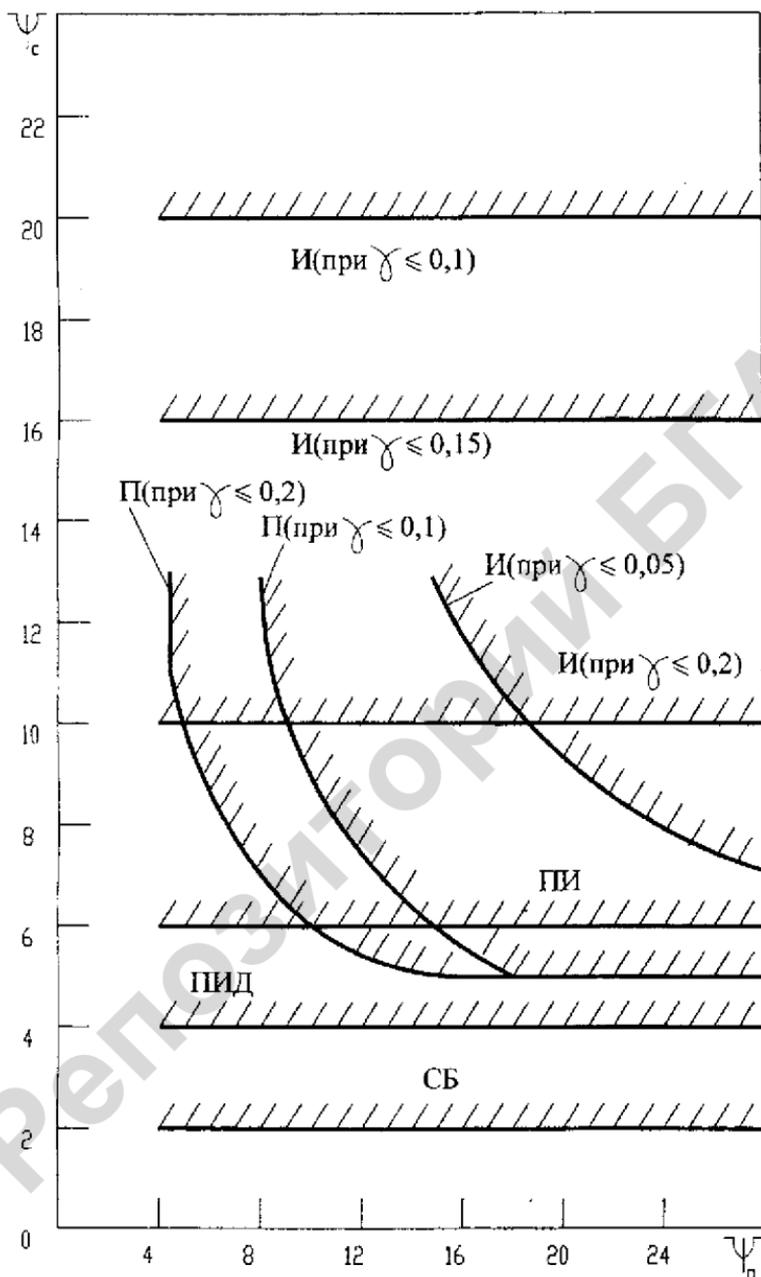


Рис. 2.95 Диаграмма А.Я. Лернера для выбора регуляторов непрерывного действия

Координатами диаграммы являются:

$$\psi_n = T/\tau \text{ и } \psi_c = t_{\text{рег}}/\tau,$$

где T — постоянная времени объекта;

τ — его запаздывание;

$t_{\text{рег}}$ — время регулирования.

Те стороны, которые лежат внутри области применения регуляторов, на диаграмме отмечены штриховкой. Безразмерный коэффициент γ определяется соотношением $\gamma = \sigma/\xi$, где σ — допустимое относительное отклонение параметра (статическая ошибка), а ξ — величина относительного отклонения параметра, равная отношению двух его изменений под действием расчетного возмущения и максимального регулирующего воздействия.

Из диаграммы видно, что ни один тип регуляторов не в состоянии обеспечить время регулирования меньше удвоенного времени запаздывания (при $\psi_c < 2$). При $2 < \psi_c < 4$ могут быть приняты только специальные быстродействующие регуляторы; при $4 < \psi_c < 6$ рекомендуются ПИД-регуляторы. При ψ_c от 0 до 10 можно выбирать все регуляторы, кроме астатических, которые рекомендуются при $\psi_c > 10$.

Например, при постоянной времени объекта $T = 600$ с, времени запаздывания $\tau = 30$ с и времени регулирования $t_{\text{рег}} = 240$ с:

$$\psi_n = T_n/\tau = 600/30 = 20,$$

$$\psi_c = t_{\text{рег}}/\tau = 240/30 = 8.$$

Пересечение этих координат на диаграмме дает точку, соответствующую регуляторам: изодранному с предварением и без такого и статическому при $\gamma > 0,06$, при этом коэффициент усиления

$$k \leq 1/0,06 - 1 = 15,7.$$

Формирование структуры систем регулирования. Эта задача решается на основании анализа технологических особенностей процесса и его аппаратурной реализации, статических и динамических характеристик объекта.

Анализ технологического процесса и его аппаратурной реализации дает возможность установить: структуру объекта, т.е. взаимосвязь входных и выходных переменных; технологические параметры, подлежащие регулированию, и требования к качеству их регулирования; источники возмущающих воздействий; технологические параметры, которые могут быть использованы для регулирования.

Анализ статических и динамических характеристик объекта позволяет выявить наиболее эффективные каналы регулирования в целях улучшения динамических параметров объектов, т.е. уменьшения величин чистого запаздывания и постоянной времени, сформировать предложения по модерниза-

ции аппаратурного оформления технологического процесса с целью улучшения его реализуемости.

Рассмотрим в качестве примера формирование структуры системы регулирования диффузионного процесса в наклонном диффузионном аппарате свеклосахарного производства. Из анализа технологического процесса следует, что одним из важнейших параметров, характеризующих эффективность функционирования процесса, является содержание в диффузионном соке сухих веществ (СВ). Основными материальными потоками, определяющими формирование содержания СВ в диффузионном соке $Y_{св}$, являются расходы свежей стружки $X_{св.стр.}$, барометрической воды $X_{б.в.}$, жома $Y_{ж}$ и диффузионного сока $Y_{д.с.}$. Из этих потоков для регулирования содержания СВ в диффузионном соке удобно принять подачу барометрической воды. При увеличении содержания СВ в диффузионном соке следует увеличивать подачу барометрической воды, а при уменьшении содержания СВ — уменьшить подачу барометрической воды, таким образом, чтобы в каждом случае обеспечивать восстановление требуемого содержания СВ.

Соответствующая структурная схема одноконтурной системы регулирования приведена на рис. 2.96, а, где $Y_{св.з}$ — заданное значение содержания СВ в диффузионном соке; X_p — регулирующее воздействие на изменение подачи барометрической воды; РП — регулирующий прибор.

Для анализа динамических свойств объекта снята переходная характеристика $Y_{св}(t)$ по каналу регулирования «расход барометрической воды» $X_{б.в.}$ — содержание СВ в диффузионном соке $Y_{св}$ (рис. 2.96, б). Параметры этой характеристики: $\tau = 23,4$ мин.; $T = 28$ мин.; $k = 0,12\%$ СВ ч/Т.

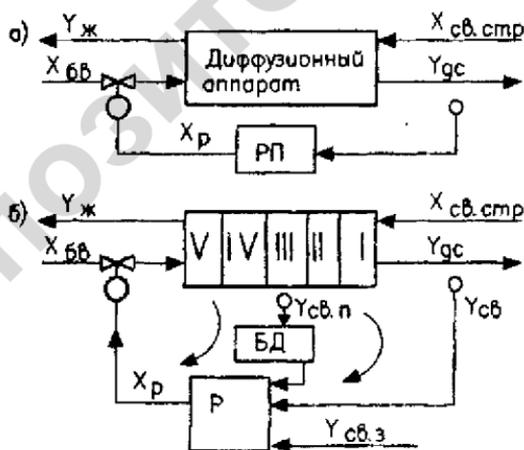


Рис. 2.96 Структуры систем регулирования: а — одноконтурная; б — двухконтурная

Построение АСР этого объекта с использованием ПИ-регулятора дает возможность получить переходный процесс регулирования, изображенный на рис. 2.97 кривой 1.

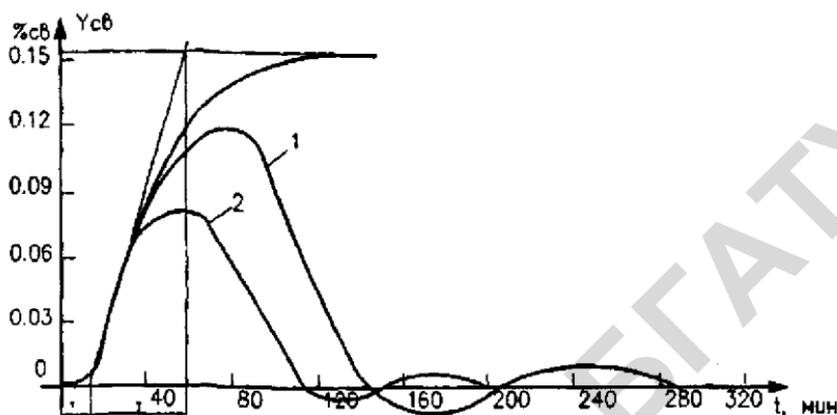


Рис. 2.97 Переходные процессы регулирования содержания СВ в диффузионном соке: а - в одноконтурной АСР; б - в двухконтурной АСР

Этот процесс имеет время регулирования $t = 285$ мин., динамическую ошибку около $0,125\%$ СВ. Такие показатели качества регулирования являются очень низкими и приводят к значительным потерям сахара с жомом. Основная причина этого — весьма большие значения времени запаздывания и постоянной времени объекта.

Для построения более эффективной системы регулирования следует изыскать способы уменьшения времени чистого запаздывания и постоянной времени объекта.

Этого можно добиться применением многоконтурных структур регулирования, разделив предварительно объект на последовательно соединенные звенья. В этом случае можно на более быстрой по динамическим параметрам части объекта — выявить начинающиеся отклонения промежуточных параметров и заранее, не допуская, пока эти отклонения проявятся на выходном параметре объекта — концентрации СВ в диффузионном соке, организовать необходимые регулирующие воздействия.

Анализ конструктивных особенностей наклонного диффузионного аппарата и технологии процесса показывает, что в качестве промежуточного параметра, информирующего о ходе процесса диффузии, может быть использовано содержание СВ в жидкой фазе соко-стружечной смеси в середине аппарата $Y_{св.л}$ т.е. в третьей зоне, как показано на рис. 2.96, б. На этом же рисунке приведена и соответствующая структура двухконтурной системы регулирования

Начало изменения $Y_{св.п}$ фиксируется промежуточным блоком-дифференциатором (БД), который вырабатывает сигнал, соответствующий скорости изменения $Y_{св.п}$, и подает его на регулирующий блок (Р). Регулирующий блок обрабатывает регулирующее воздействие $X_в$, которое изменяет подачу барометрической воды $X_{б.в}$. В результате этого в малом контуре К1 ликвидируется начавшееся нарушение хода технологического процесса.

При возникновении возмущений, которые вызывают отклонения выходной переменной $Y_{св}$ от $Y_{св.з}$, срабатывает регулирующий блок Р второго контура К2, который вновь изменяет подачу барометрической воды, но уже в зависимости от отклонения выходного параметра диффузионной установки. Отметим, что основные процессы регулирования протекают именно в первом контуре К1.

Качество при двухконтурном регулировании иллюстрирует переходной процесс, представленный кривой 2 на рис. 2.97. На графике видно, что качество регулирования существенно улучшено: сокращено время регулирования, составляющее теперь 110 мин, т.е. 38% времени регулирования по одноконтурной структуре; уменьшена динамическая ошибка, которая равна 0,071% СВ, т.е. составляет 56% динамической ошибки, имевшей место при одноконтурной структуре регулирования.

Таким образом, двухконтурная структура АСР, обеспечивающая значительно более высокие показатели качества регулирования, должна быть принята для регулирования диффузионного процесса в наклонном аппарате.

Общая характеристика методов расчета настройки регуляторов непрерывного действия. Как известно из теории автоматического регулирования, качество работы системы регулирования определяется характером переходного периода (функций). Быстрота затухания переходного периода и устойчивость регулирования зависят не только от статических и динамических свойств регулируемого объекта, но и от свойств регулятора, а поэтому каждая система (регулятор и объект регулирования) образуют взаимосвязанный контур регулирования.

Динамическая настройка автоматических регуляторов сводится к определению и установке настройки (коэффициента передачи регулятора, времени издрорма, времени предварения и т.д.), обеспечивающее требуемое качество работы системы автоматического регулирования в процессе ее эксплуатации.

Требования к качеству работы САР должно быть сформулировано на первом этапе расчета настройки регулятора в виде **критерия оптимальности**, представляющего собой дополнительное требование к качеству автоматического регулирования. Основным требованием является **получение устойчивой работы САР**.

В устойчивых системах различают апериодический и колебательный переходные процессы. На рис. 2.98 приведены кривые описывающие эти процессы регулирования, для систем астатических, т.е. без статической ошибки ($a, в, д, ж$), и статических ($б, з, е, з$) при возмущении заданием ($в, з, ж, з$) и

нагрузкой или любым другим воздействием ($a, б, в, г, е$). Кривые построены в координатах время (t) – отклонение ($\Delta Y = y - y_0$).

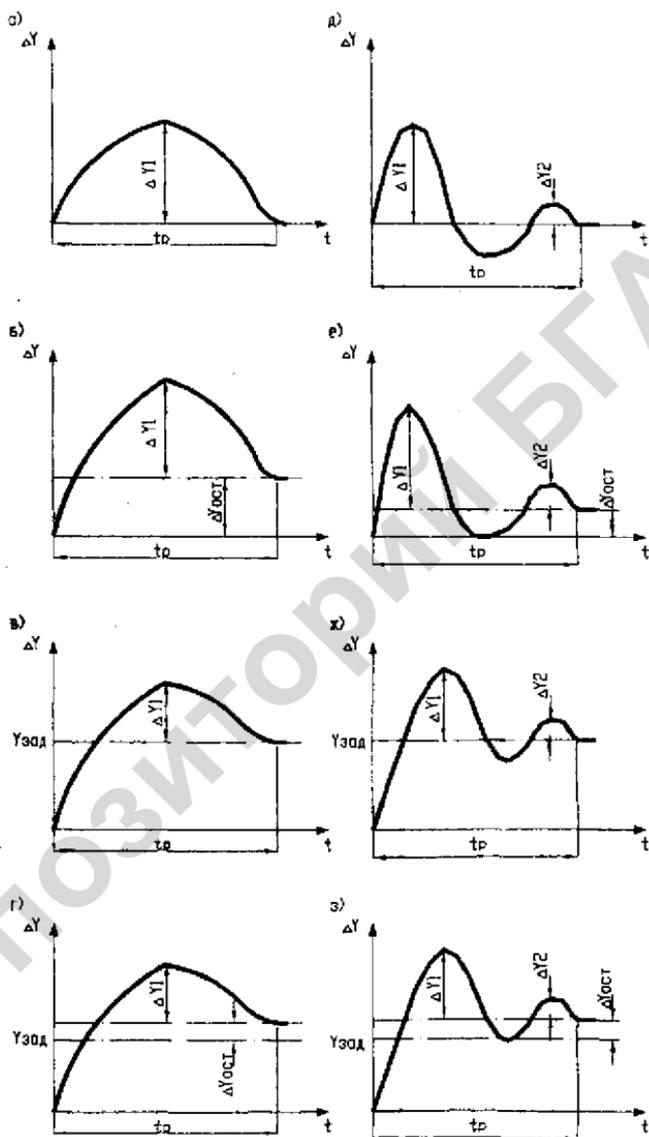


Рис. 2.98 Кривые переходных процессов САР: аperiodических для астатических ($a, б$) и статических ($в, г$) объектов, колебательных для астатических ($д, ж$) и статических ($е, з$) объектов

Переходный процесс характеризуется критериями (показателями) качества, основными из которых являются:

- динамическая ошибка регулирования Δy_1 ;
- время регулирования t_p (промежуток времени от начала переходного процесса до момента, когда величина рассогласования или амплитуда колебаний становится меньше допустимой по технологическим соображениям величины);
- степень затухания колебательного процесса:

$$\psi = \frac{\Delta Y_1 - \Delta Y_2}{\Delta Y_1};$$

- колебательность регулирования m , которая определяется числом колебаний регулируемой величины относительно заданного значения за время регулирования t_p ;
- статическая ошибка $\Delta_{\text{ост}} (\delta)$.

Переходный процесс в автоматической системе должен по возможности иметь минимальное время регулирования, сравнительно небольшое динамическое отклонение регулируемой величины, небольшое перерегулирование и минимальную статическую ошибку. Однако удовлетворить все перечисленные требования одновременно ни одним регулятором невозможно. Поэтому параметры регуляторов принято настраивать на один из трех типовых переходных процессов регулирования рис. 2.99.

Апериодический — характеризуется минимальным временем регулирования для объектов с самовыравниванием (для объектов без самовыравнивания время регулирования велико), отсутствием перерегулирования, небольшим управляющим воздействием. Вместе с тем динамическое отклонение в этом процессе максимально. Такой тип переходного процесса рекомендуется в тех случаях, когда объект имеет несколько регулируемых величин и необходимо, чтобы регулирующее воздействие для рассматриваемой величины не оказывало нежелательного влияния на другие регулируемые величины.

Процесс с 20%-ным перерегулированием (со степенью затухания близкой к $\Psi = 0,85-0,95$), который характеризуется наличием перерегулирования и уменьшенным динамическим отклонением регулируемой величины. Применяется к объектам, допускающим перерегулирование, но чувствительным к большим динамическим отклонениям.

Процесс с минимальной площадью отклонения регулируемой величины характеризуется малым значением динамического отклонения, обеспечивает минимум интегральной квадратичной оценки, равной $\int_0^{\infty} \Delta y^2 dt$; однако

перерегулирование здесь большое, увеличивается время регулирования и требуется значительное управляющее воздействие на объект. Этот процесс применяют для тех объектов, в которых по техническим требованиям не допускается большое отклонение регулируемой величины.



Рис. 2.99 Характеристики типовых переходных процессов: *a* – аperiodический; *b* – с 20%-ным перерегулированием; *в* – с минимальной площадью под кривой переходного процесса

Для большинства систем автоматической стабилизации при непрерывном регулирующем воздействии таким оптимальным процессом регулирования мог бы быть процесс с интенсивным затуханием, минимальным временем регулирования и отклонением регулируемой переменной. Однако в реальных условиях одновременная оптимизация всех показателей качества процесса регулирования невозможна. Поэтому динамическая настройка автоматических регуляторов выполняется из условий оптимизации только одного, заранее выбранного в качестве критерия оптимальности, показателя качества процесса регулирования.

Выбор критерия оптимальности процесса регулирования производится прежде всего на основании требований технологического регламента. При этом необходимо также учитывать достоверность информации об объекте и регуляторе и другие, в том числе, экономические факторы.

С экономической точки зрения наиболее целесообразно применение в качестве критерия оптимальности интегральной квадратичной оценки, так как минимизация такого критерия почти всегда приводит к минимизации потерь, возникающих в процессе регулирования. Однако, если информация о свойствах объекта и регулятора недостаточно надежна, к выбору указанного критерия следует подходить осторожно, так как переходные процессы в системах, настроенных на минимум такого критерия, слабо затухают и всегда существует опасность перехода таких систем под действием неучтенных воздействий из области параметров настройки близкий к границе устойчивости, на границу устойчивости или даже в область неустойчивой работы системы. В этом плане преимуществом обладают процессы с минимальным временем регулирования или без перерегулирования; так как системы, настроенные на такие процессы, обладают наибольшим запасом устойчивости.

Чаще всего в наладочной практике настраивают регуляторы на колебательный переходный процесс со степенью затухания $\Psi = 0,85-0,95$ (близкий к процессу с 20%-ным перерегулированием). При этом динамическая ошибка и время регулирования оказываются сравнительно небольшими и качество регулирования приемлемым.

На втором этапе работ по расчету параметров настройки производят определение динамических характеристик объекта или системы. Ис-

пользование в дальнейшем для расчета параметров настройки динамических характеристик объекта хотя несколько и упрощает эксперимент на этом этапе работ, однако дает менее точные результаты, чем в случае экспериментального определения динамических характеристик системы. Это связано с тем, что в результате расчетов, проводимых по динамическим характеристикам объекта, как правило, не учитываются возможные отклонения реальных характеристик регулятора от идеализированных. Поэтому в практике инженера-наладчика следует отдавать предпочтение методам расчета параметров настройки, основанным на экспериментальном определении динамических характеристик системы, при прочих равных условиях.

Непосредственный *расчет оптимальных значений параметров настройки регулятора* проводится на третьем этапе работ с использованием данных о динамических свойствах объекта или системы, полученных в результате определения их динамических характеристик. В учебном пособии излагаются, в основном, упрощенные методы расчета параметров настройки регуляторов, как получившие наибольшее распространение на практике. Эти методы, в отличие от точных, основаны на применении приближенной модели объекта или системы, полученной путем использования сравнительно небольшого числа типовых элементарных звеньев.

Четвертый этап работ по расчету настройки регуляторов сводится к *реализации рассчитанных настроек на реальной аппаратуре*, т.е. к установке органов настройки аналогового регулятора на отметки, соответствующие их оптимальным значениям. Если в процессе лабораторной проверки регуляторов была проведена градуировка приспособлений для настройки, то реализация рассчитанных настроек значительно упрощается. В противном случае может быть использован метод последовательных приближений.

Ввод параметров настройки в цифровых регуляторах можно произвести непосредственно со встроенных индикатора и клавиатуры в одноуровневых системах управления, или автоматически — при многоуровневых.

Завершающим этапом этого цикла работ является *уточнение настройки регулятора* в процессе пробной эксплуатации системы автоматического регулирования. Необходимость проведения этого этапа работ диктуется тем, что любой из упрощенных методов расчета настроек основан на ряде допущений, которые в конечном итоге приводят к некоторому отклонению качественных показателей получаемого переходного процесса системы от выбранного критерия оптимальности. Для устранения этих расхождений уточнение настроек производят в процессе пробной эксплуатации замкнутой системы регулирования по ее временной характеристике.

Описание последовательности работ по определению оптимальных параметров настройки регуляторов (ПНР) характерна прежде всего для *расчетного метода*, основанного на использовании характеристик объекта регулирования. В практике инженера-наладчика, занимающегося настройкой регулятора непосредственно на объекте, получили распространение также *итерационные алгоритмы настройки САР: поисковые и беспоисковые*. В первом случае поиск оптимальных параметров настройки ведется путем их

пошагового изменения в некоторых пределах с запоминанием получаемых при таком изменении ПНР значений заранее выбранного критерия оптимальности процесса регулирования, позволяющих определить величину и направление последующих изменений ПНР для достижения оптимума. Основным недостатком таких методов организованного поиска является крайне медленная процедура достижения оптимума и необходимость проведения большого числа экспериментов. При использовании итерационных беспойсковых методов на органы настройки регулятора воздействуют по известному алгоритму, добиваясь совпадения фактических характеристик системы с характеристиками ее математической модели при оптимальном ПНР. Хотя эти методы, как и поисковые, обычно содержат ряд последовательно повторяемых расчетных процедур (итераций), однако их число благодаря использованию математической модели значительно сокращается.

При уточнении настройки регулятора следует помнить, что любое изменение настройки регулятора для улучшения одних показателей может привести к ухудшению других. Например, уменьшение коэффициентов усиления приводит к уменьшению колебательности системы, уменьшению времени регулирования, но увеличивает статическую ошибку (для П-регуляторов). Увеличение времени изодрома ($T_{из}$) способствует увеличению степени затухания переходного процесса, но при чрезмерном увеличении времени изодрома начинает проявляться статическая ошибка. Увеличение времени предварения T_d (постоянной времени дифференцирующего элемента) до некоторых значений улучшает качество регулирования, но вместе с тем чрезмерное увеличение T_d ухудшает показатели переходного процесса.

Чрезмерное увеличение передаточного коэффициента (коэффициента усиления) или уменьшение времени интегрирования и увеличение времени предварения способствуют увеличению колебательности процесса и может привести к возникновению незатухающих колебаний системы, то есть к неустойчивому режиму автоматической системы.

Настройка аналоговых регуляторов непрерывного действия. Таким образом, задача настройки регулятора заключается в том, чтобы применительно к данному объекту выбрать (рассчитать) и установить такие настроечные параметры (коэффициенты усиления, постоянные времени интегрирования и дифференцирования), которые обеспечили бы процесс регулирования, близкий к оптимальному.

Существует большое количество разнообразных методов расчета параметров настройки (ПНР), аналоговых регуляторов, которые по используемой методике и принятым допущениям могут быть отнесены к упрощенным. Их можно классифицировать по ряду признаков:

- алгоритму определения: ПНР-расчетные, итерационные беспойсковые и итерационные поисковые;
- используемые по расчетным характеристикам: объекта и системы;
- виду входных воздействий: апериодических, периодических и случайных.

Расчетные алгоритмы чаще всего используются для определения оптимальных ПНР по характеристикам объекта регулирования, итерационные –

для определения оптимальных ПНР по характеристикам системы, хотя в последнем случае возможно применение и чисто расчетных алгоритмов.

В большинстве случаев с помощью рассмотренных ниже методов определяют оптимальные параметры настройки идеальных регуляторов для объектов, передаточная функция которых аппроксимируется передаточными функциями (табл. 2.42) одного или двух типовых звеньев.

Располагая значениями этих параметров, определяют оптимальные ПНР по номограммам, приводимым в справочниках по наладке автоматических устройств.

Расчетные значения параметров настройки регуляторов для типовых переходных процессов приведены в табл. 2.43.

Значения коэффициентов усиления и постоянных времени в электрических аналоговых регуляторах устанавливают путем изменения сопротивления соответствующих переменных резисторов.

Регуляторы можно настроить без объекта в лаборатории на специально приспособленном стенде при этом на вход регулятора необходимо подавать воздействия в виде изменяющейся регулируемой величины (температуры, влажности, уровня жидкости и т.п.). На выходе регулятора должны быть установлены приборы, регистрирующие изменение управляющего воздействия. На рис. 2.100 приведены динамические характеристики П-, ПИ- и ПИД-регуляторов.

При настройке П-регуляторов значение коэффициента усиления k_p определяют по динамической характеристике как отношение приращения выходной величины μ к изменению входной величины φ (рис. 2.100, а).

Приступая к настройке ПИ-регулятора, сначала отключают интегральную часть и градуируют устройство для настройки. Затем, включив интегральную часть одновременно с пропорциональной, градуируют приспособление для настройки T_i при том же значении k_p . Как видно из рисунка 2.100, б выходной сигнал регулятора вначале изменяется на $\Delta\mu$ за счет действия пропорциональной части, а затем он нарастает под действием интегральной части. Время, за которое произойдет удвоение выходного сигнала пропорциональной части характеристики, и будет временем изодрома T_i .

ПИД-регуляторы градуируют вначале при отключенной интегральной и дифференциальной части, то есть устанавливают величину k_p . Затем подключают интегральную часть и аналогично ПИ-регуляторам градуируют устройство для настройки T_i . Для настройки времени предварения T_d включают пропорциональную и дифференциальную части регулятора (при отключенной интегральной части). Устанавливают известное и на вход регулятора подают непрерывно возрастающее воздействие (рис. 2.100, в), скорость нарастания которого постоянна, и регистрируют изменение выходной величины изменяется резко (совершает скачок) за счет действия дифференциальной части, а затем нарастает под действием пропорциональной части.

Таблица 2.43

Параметры настройки аналоговых регуляторов непрерывного действия

Регулятор	Типовой процесс регулирования					
	апериодический		20%-ное перерегулирование		$\min \int x^2 dt$	
	статический объект	астатический объект	статический объект	астатический объект	статический объект	астатический объект
И	$k_p=0,22 A$	-	$k_p=0,59, A$	-	$k_p=0,59A$	-
П	$k_p=0,3 B$	$k_p=0,4 C$	$k_p=0,7 B$	$k_p=0,7 C$	$k_p=0,9B$	-
ПИ	$k_p=0,6 B$ $T_{и}=0,6 T_0$	$k_p=0,4 C$ $T_{и}=6\tau_3$	$k_p=0,7 B$ $T_{и}=0,7 T_0$	$k_p=0,7 C$ $T_{и}=3\tau_3$	$k_p=B$ $T_{и}=T_0$	$k_p=C$ $T_{и}=4\tau_3$
ПИД	$k_p=0,95 B$ $T_{и}=2,4 \tau_3$ $T_{д}=0,4 \tau_3$	$k_p=0,6 C$ $T_{и}=5\tau_3$ $T_{д}=0,2 \tau_3$	$k_p=1,2 B$ $T_{и}=2 \tau_3$ $T_{д}=0,4 \tau_3$	$k_p=1,1 C$ $T_{и}=2\tau_3$ $T_{д}=0,4 \tau_3$	$k_p=1,4B$ $T_{и}=1,3\tau_3$ $T_{д}=0,5\tau_3$	$k_p=1,4 C$ $T_{и}=1,6 \tau_3$ $T_{д}=0,5 \tau_3$

$A = \frac{1}{k_0 T_0}$; $B = \frac{T_0}{k_0 \tau_3}$; $C = \frac{T}{\tau_3}$; T — условная постоянная времени астатического объекта
 $\tau_3 = \tau_{p0} + T_{p0} + \tau_0$

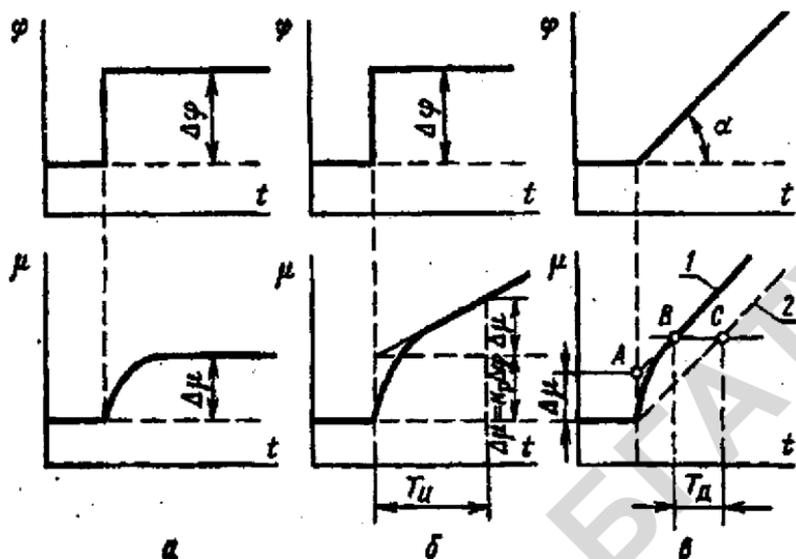


Рис. 2.100 Динамические характеристики: а) П-регулятора; б) PI-регулятора; в) ПИД-регулятора

Время предварения T_d определяют как разность времени достижения одних и тех же значений выходной величины регулятора при включений и выключенной дифференциальной части. При выключенных интегральной и дифференциальных частях ПИД-регулятор превращается в П-регулятор (характеристика 2). Чтобы найти значение T_d , проводят прямую, параллельную оси времени выше точки А так, чтобы она пересекла характеристики 1 и 2. Отрезок ВС в масштабе времени определяет время предварения T_d при данном положении настроечных устройств.

В тех случаях, когда градуировку и настройку выполняют непосредственно на месте установки регулятора, предварительно разведывают исполнительный механизм и регулирующий орган. Если исполнительный механизм не имеет указателя положения, то его снабжают шкалой, градуированной в процентах хода регулирующего органа.

2.3.10 Особенность использования цифровых регуляторов

Особенность настройки цифровых регуляторов связана с обработкой сигнала в блоках регулятора в числовом коде.

В общем случае цифровой регулятор состоит из входных устройств, вычислительных и выходных устройств.

Входные устройства цифровых регуляторов представляют собой совокупность блоков, предназначенных для получения электрических сигналов, пропорциональных измеренному и заданному значениям регулируемой величины, сравнения этих значений и получения в цифровой форме сигнала ϵ . Во входном устройстве эти функции реализуются следующими блоками: датчиком регулируемой величины, сравнения этих значений и получения в цифровой форме сигнала ϵ .

Во входном устройстве эти функции реализуются следующими блоками: датчиком регулируемой величины (преобразующим неэлектрическую величину в электрическую), задающим блоком (формирующим сигнал соответствующий заданному значению регулируемой величины), блоком отклонения (выходной сигнал которого пропорционален отклонению ϵ). Выходные сигналы датчика и блока задания могут быть представлены в аналоговой или цифровой форме. В связи с этим можно указать три основных типа структурных схем входного устройства цифрового регулятора (рис. 2.101). Входное устройство 1-го типа (рис. 2.101, а) применяют, главным образом, в одноканальных цифровых регуляторах при использовании аналоговых датчиков АД с выходным сигналом в виде тока и напряжения (АЗ — аналоговый блок задания). В связи с тем, что точность АД не превышает 0,5%, к аналого-цифровому преобразователю АЦП, включенному на выходе аналогового блока отклонения АО, требования по точности невысоки — он должен обладать стабильностью нуля и линейностью статической характеристики.

Входное устройство второго типа (рис. 2.101, б) применяют в многоканальных цифровых регуляторах, где можно применить один АЦП с поочередным подключением к различным датчикам.

Входные устройства 3-го типа (рис. 2.101, в) используют, в основном, в одноканальных цифровых регуляторах. Здесь цифровые датчики ЦД применяют для измерения некоторых физических величин, например, линейных и угловых перемещений (ЦЗ и ЦО соответственно — цифровые блоки задания и отклонения). Точность измерения регулируемой величины такими датчиками очень высока. Аналоговые блоки, используемые во входных устройствах цифровых регуляторов, в принципе могут быть теми же, что и в регуляторах непрерывного действия.

Вычислительное устройство цифрового регулятора представляет собой микроЭВМ, принцип работы которой был описан ранее.

Выходные устройства цифровых регуляторов представляют собой совокупность блоков (рис. 2.102) и устройств, при помощи которых осуществляется воздействие на регулируемый объект в соответствии с выходным сигналом вычислительного устройства. К выходным устройствам относятся: цифро-аналоговые преобразователи ЦАП, блоки памяти БП, усилители У, исполнительные механизмы ИМ различных типов.

Эти блоки могут представлять собой конструктивно независимые устройства или входить в состав других устройств, совмещающих выполнение нескольких функций. В выходных устройствах, приведенных на рис. 2.102, а, б,

применяют интегрирующие ИМ — электрические двигатели постоянного (или переменного) тока Д или шаговые двигатели ШД (везде Р — редактор).

В схеме на рис. 2.102, а ЦАП в моменты времени $t = T, 2T, \dots, nT$ преобразует управляющий сигнал $U_0^* [iT]$ в пропорциональное значение длительности импульса τ . В течение интервалов времени τ двигатель подключается к внешнему источнику энергии. При использовании шагового двигателя целесообразно, чтобы цифровая часть регулятора выдавала сигнал $U_0^* [nT]$ в число — импульсном коде. В этом случае система управления шаговым двигателем состоит из коммутатора фаз КФ и усилителя Y . На рис. 2.102, в, з приведены структурные схемы выходных устройств пропорционального типа, в которых выходная координата $U(t)$ пропорциональна величине сигнала $U_0^* [n, T]$.

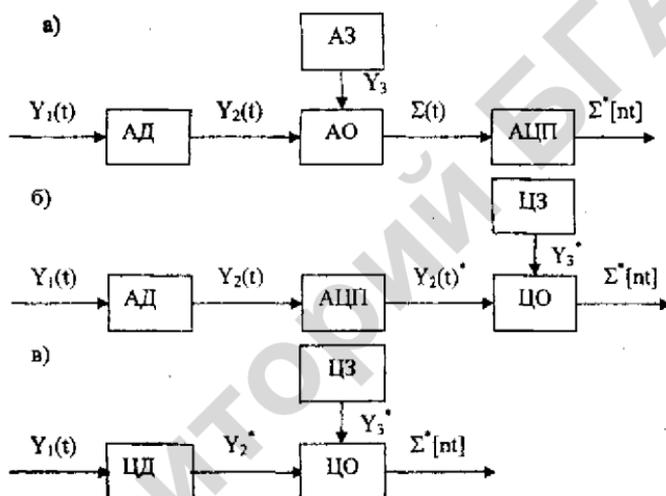


Рис. 2.101 Структурные схемы входных устройств цифрового регулятора: $Y_1(t)$ — измеряемая входная величина; Y_3 — задающее воздействие; индексом «*» помечены сигналы в цифровой форме

Пропорциональность обеспечивается введением *обратной связи* по положению выходной координаты исполнительного органа.

В случае, представленном на рис. 2.102, в, обратная связь охватывает только аналоговую часть. Сигнал с аналогового датчика АД алгебраически суммируется на входе усилителя с сигналом ЦАП. Точность такой системы можно довести до 0,5–1% при использовании общепромышленных ИМ.

В системе, представленной на рис. 2.102, з, для получения сигнала обратной связи по положению используют цифровой датчик ЦД или сочетание аналогового датчика с АЦП. Эти системы могут обладать высокой точностью и быстродействием.

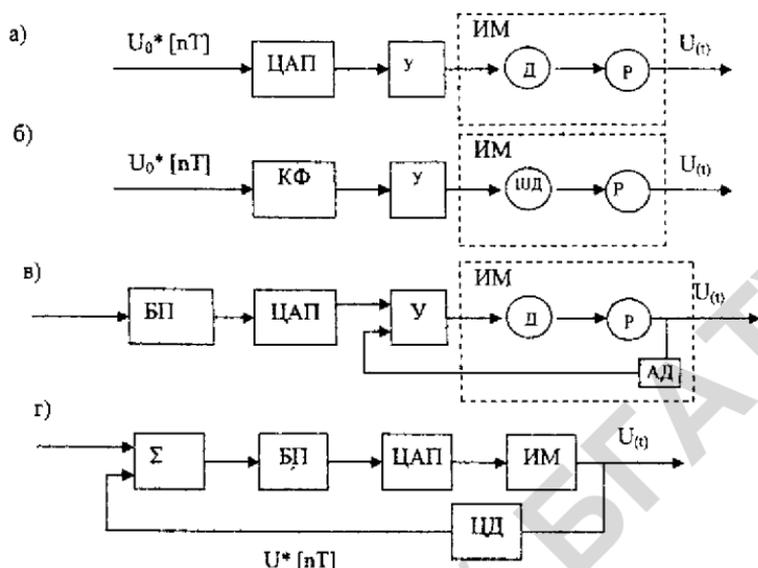


Рис. 2.102 Структурные схемы выходных устройств цифрового регулятора

Для представления сигнала в цифровом коде в цифровых регуляторах осуществляется **квантование** сигнала (рис. 2.103) уровня и времени. Квантование по уровню делает систему с цифровым регулятором нелинейной, а квантование по времени — импульсной.

Поведение цифрового, а также любого другого регулятора в системе определяется динамическими свойствами регулятора, т.е. его законом регулирования.

Дискретный аналог ПИД-закона регулирования, реализуемого цифровым регулятором, имеет вид:

$$U(t) = k_1 \varepsilon[nT] + k_2 \sum_{i=1}^n \varepsilon[iT] + k_3 \{ \varepsilon[nT] - \varepsilon[(n-1)T] \}, \quad (2.146)$$

где $U(t)$ — выходная величина регулятора (управляющее воздействие на объект);

$\varepsilon[nT]$ — отклонение действительного значения регулируемой величины от заданного в моменты времени $T, 2T, \dots, nT$;

k_1, k_2, k_3 — коэффициенты.

По закону регулирования ЦР можно разбить на отдельные группы, различающиеся как характером изменения входной и выходной координат, так и типом уравнений, описывающих поведение регуляторов.

ЦР фактически работают как регуляторы непрерывного или дискретного действия, их динамические характеристики описываются линейными и нелинейными дифференциальными или разностными уравнениями.

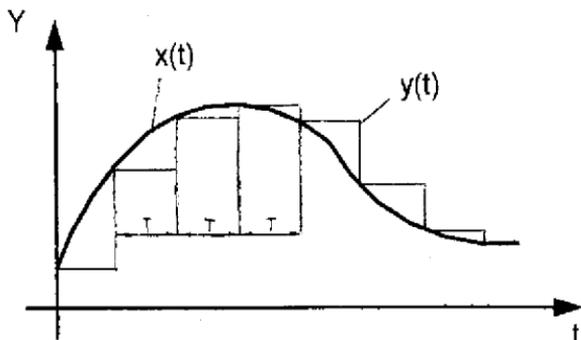


Рис. 2.103 Кривые входного и выходного сигнала, получаемые в непрерывной форме (без погрешностей) и в цифровой форме

Регуляторами дискретного действия называют регуляторы, выходная величина которых имеет дискретную форму представления. Эти регуляторы обеспечивают изменение регулирующего воздействия в определенные моменты времени. Между моментами регулирующее воздействие постоянно. Интервал времени между соседними изменениями воздействия обычно называют **временем цикла**. Этот интервал времени характеризует «**квантование по времени**», свойственное регуляторам дискретного действия.

Характеристики некоторых типов регуляторов дискретного действия при времени цикла, стремящемся к нулю, и при соблюдении определенных соотношений между параметрами системы, практически могут совпадать с характеристиками регуляторов непрерывного действия соответствующих типов. Таким регуляторам присваивают то же название, что и регуляторам непрерывного действия. Можно выделить группу регуляторов, образующих так называемые комбинированные системы.

В законе регулирования этих регуляторов присутствуют составляющие характеристики как регуляторов непрерывного, так и дискретного действия.

Специфической особенностью цифровых регуляторов является то, что точность воспроизведения отдельных составляющих закона регулирования определяется не только характеристиками чисто цифровой части регулятора, но и характеристиками аналого-цифрового преобразования входного сигнала, видом входного сигнала и его спектральным составом. Основными характеристиками, влияющими на точность воспроизведения законов регулирования в цифровой форме, являются частота квантования по времени, степень квантования по уровню и время аналого-цифрового преобразования.

Для анализа и синтеза систем управления с цифровым регулятором применяют методы теории импульсных и нелинейных систем.

Цифровые регуляторы широко применяют в таких системах, где невозможно или нецелесообразно применять регуляторы других типов, в частности **регуляторы непрерывного действия.**

На основании анализа динамических свойств систем с различными регуляторами были сформулированы некоторые конкретные рекомендации по выбору типа регулятора.

Методика выбора типа регулятора при проектировании систем автоматизации:

1. На основании изучения процесса получают данные о динамических свойствах регулируемого объекта, о действующих в системе возмущениях, о требованиях к точности и скорости протекания процесса;
2. Предусматривают возможность измерения регулируемой величины с данной степенью точности, а также оценивают возможность изменения регулирующего воздействия в необходимом диапазоне, обеспечивающем компенсацию действующих в системе возмущений;
3. Подбирают тип регулятора, который, с одной стороны, мог бы обеспечить заданное качество регулирования, а с другой стороны, сочетался бы с предусмотренными датчиками и исполнительными устройствами.* Естественно, чем выше требования к качеству регулирования, тем сложнее регулятор. При проектировании систем автоматизации не следует всегда предусматривать включение в систему наиболее сложных регуляторов, так как в ряде случаев система при этом становится неоправданно сложной и громоздкой. С другой стороны, использование наиболее простых и надежных регуляторов в ряде случаев не может обеспечить необходимое качество регулирования. Выбор регулятора должен соответствовать тем требованиям, которые предъявляются к качеству регулирования:

а) если допустима небольшая статическая ошибка, объект регулирования описывается первым или вторым порядком и запаздывание объекта пренебрежимо мало ($\tau < 0,1 T_0$), то целесообразно рекомендовать пропорциональные регуляторы.

Цифровые пропорциональные регуляторы имеют преимущество по сравнению с аналоговыми регуляторами в случае, если измерение осуществляется импульсными или цифровыми датчиками и задание регулируемой величины поступает в цифровой форме;

б) если не предъявляются высоких требований ко времени переходного процесса, а также к величине максимальных отклонений в процессе регулирования, и необходимо, чтобы среднее значение статической ошибки было равно нулю, то для объектов с самовыравниванием второго порядка и первого порядка с запаздыванием можно рекомендовать применить интегральные регуляторы.

Цифровые интегральные регуляторы имеют значительные преимущества по сравнению с аналоговыми интегральными регуляторами в случае совместной работы с импульсными и цифровыми датчиками. Большая точность датчиков при использовании цифровых суммирующих блоков позволяет обеспечить высокую точность регулирования (0,5% и выше);

в) если предъявляются высокие требования к статической и динамической точности регулирования и могут быть применены импульсные (частот-

* Исполнительные устройства более правильно выбирать одновременно с регулирующим устройством

ные) датчики высокой точности, то целесообразно рекомендовать использование цифровых интегральных регуляторов в качестве отдельных блоков комбинированных аналого-цифровых систем, например, систем, в которых пропорциональные блоки и блоки введения сигнала производной выполнены на аналоговой технике;

г) для обеспечения высококачественного регулирования в системах, процессы которых описываются уравнениями высоких порядков или первого порядка с запаздыванием, целесообразно применять ПИ-регуляторы. Как уже отмечалось, ПИ-регуляторы, построенные на цифровой технике, имеют преимущество по сравнению с аналоговыми регуляторами в случае, если система дискретна, а также, если используются импульсные или цифровые датчики.

Цифровые ПИД-регуляторы сложнее ПИ-регуляторов и качество регулирования в системе с ПИД-регуляторами только в некоторых случаях выше, чем в системе с ПИ-регуляторами. Поэтому цифровые ПИД-регуляторы в качестве отдельных приборов могут найти сравнительно узкое применение.

Целесообразно разрабатывать отдельные блоки — цифровые дифференциаторы, которые могут быть использованы в разнообразных цифровых и цифро-аналоговых системах управления. С помощью цифрового дифференциатора, работающего совместно с П-, И- и ПИ-блоками, можно обеспечить регулирование согласно ПД-, П*, ПИД-законам.

Цифровые дифференциаторы могут применяться в качестве отдельных корректирующих блоков.

После выбора типа регулятора необходимо еще раз проверить, удовлетворяют ли показатели качества проектируемых систем соответствующим требованиям. Если это так (время регулирования, максимальные отклонения, статическая ошибка удовлетворяют предъявленным требованиям), то можно считать, что тип регулятора выбран правильно.

Необходимые значения параметров настройки определяют по кривым, приведенным в справочных пособиях, т.е. на основании динамических характеристик объекта. После соответствующих пересчетов находят примерное значения коэффициента k_1 и величины $\frac{Tk_1}{k_2}$ и $\frac{Tk_3}{T_1}$ (для ПИ- и ПИД-регуляторов или $\frac{T}{k_1}$ для И-регулятора).

Далее, задаваясь $T \leq 0,1T_n$ определяют числовые значения k_1 , k_2 , k_3 и T . Если полученные значения параметров регулятора находятся в диапазонах, предусмотренных в ЦР широкого назначения, то целесообразно использовать такие регуляторы. В противном случае необходимо приступить к проектированию специального регулятора.

Выполнение операций вычисления отклонения (ошибки) между заданным и измеренным значениями (получение пропорциональной составляющей

* Этот случай имеет место, например, когда используют шаговый двигатель и требуется обеспечить пропорционально регулирование

шей) легко осуществляется на базе цифровой техники. Устройства, вычисляющие отклонения, а также устройства, обеспечивающие пропорциональные преобразования (например, аналого-цифровое в виде напряжения — код, частота — код, интервал времени — код), можно отнести к типу пропорциональных корректирующих устройств и регуляторов.

Ниже приводятся несколько типовых алгоритмов, выполняемых пропорциональными цифровыми корректирующими устройствами. В этих уравнениях учитываются особенности измерения входных координат:

$$y_{\Pi}^* = k_1(\varphi_3^* - \varphi^*[nT]), \quad (2.147)$$

$$y_{\Pi}^* = k_1 \left[\int_{nT}^{nT+\theta} (f_3 - f(t)) dt \right]^*, \quad (2.148)$$

$$y_{\Pi}^* = k_1'' ([f_3 T_3]^* - [f_3 T_f]^*). \quad (2.149)$$

Параметрами настройки пропорционального цифрового корректирующего устройства являются коэффициенты k_1 , k_1' , k_1'' , и интервалы времени T и θ .

При определенных условиях поведение корректирующих устройств, характеризуемое уравнениями (2.148) и (2.149), может практически мало отличаться от поведения пропорционального устройства описываемого уравнением (2.147). При этом коэффициенты k_1' и k_1'' должны выбираться из условия:

$$k_1' = \frac{k_1}{\theta f_3} \quad \text{и} \quad k_1'' = \frac{k_1}{f_3 T_3} \quad (2.150)$$

Вычисление в цифровой форме интегральной составляющей (цифрового интеграла) от величины отклонения целесообразно осуществлять во всех указанных выше случаях, а также при необходимости получения постоянной интегрирования более 2 000 с*). Выполнение соответствующих устройств на аналоговой технике приводит к более громоздким решениям, обладающим значительно меньшей точностью (как было отмечено ранее, точность систем с цифровыми интегрирующими устройствами достигает величины 0,01–0,02).

Ниже приводятся алгоритмы, реализуемые с помощью основных модификаций цифрового интегрирующего устройства (интегрального регулятора):

$$y_{\Pi}^* = k_2 \sum_{i=1}^n x^*[iT], \quad (2.151)$$

* Цифровые интеграторы позволяют осуществлять операцию хранения информации и поэтому могут сохранять строго постоянное значение выходной координаты при нулевом входном сигнале.

$$y_{\Pi}^* = k_2' \sum_{i=1}^n \frac{iT+\theta}{iT} (f_3 - f) dt]^*, \quad (2.152)$$

$$y_{\Pi}^* = k_2'' \left[\int (f_3 - f(t)) dt \right]^*, \quad (2.153)$$

Параметрами настройки интегрирующего устройства являются коэффициенты k_2 и интервалы времени T и θ . Проводя аналогию с непрерывным интегральным регулятором $y(t) = \frac{1}{T_I} \int x(t) dt$, можно указать соответственно на следующие соотношения, связывающие параметры цифровых и непрерывного интеграторов:

$$T_I \frac{T}{k_2}; T_I \frac{T}{k_2 f_3 \theta} \quad \text{и} \quad T_I \frac{1}{k_2 f_B} \quad (2.154)$$

Для того, чтобы частотные свойства цифрового интегратора совпадали с частотными свойствами непрерывного регулятора, как будет показано в следующем разделе, необходимо, чтобы $T < 0,2 T_I$.

Цифровые устройства для определения первой разности (цифровые дифференциаторы) могут применяться во всех случаях, когда используются пропорциональные и интегральные цифровые устройства. Кроме того, цифровые дифференциаторы целесообразно использовать, когда стоит задача получения сигнала производной при медленном изменении входного сигнала. При таком сигнале, особенно при наличии помех, цифровое дифференцирующее устройство позволяет осуществить более качественное выполнение операции дифференцирования.

Погрешность от запаздывания, вносимого цифровым дифференциатором, примерно равна погрешности аналогового дифференциатора:

$$\left(\frac{T_D p}{T_1 p + 1} \right)$$

при равенстве $T = T_1$. Ниже приводятся уравнения цифровой части основных модификаций цифровых дифференциаторов:

$$y_D^* = k_3 \{ x^* [nT] - x^* [(n-1)T] \}, \quad (2.155)$$

$$y_D^* = k_3 \left[\int_{nT}^{nT+\theta} (f_3 - f) dt - \int_{(n-1)T}^{(n-1)T+\theta} (f_3 - f) dt \right]^*, \quad (2.156)$$

$$y_D^* = k_3 \{ [f_3 T_{f_n}]^* - [f_3 T_{f_{n-1}}] \}^*, \quad (2.157)$$

Параметрами настройки цифровых дифференциаторов являются коэффициенты k_3 и времена θ и T .

Проведя аналогию с идеализированным непрерывным дифференциатором $y(t) = T_D \frac{dx(t)}{dt}$, можно вывести соответственно следующие соотношения:

$$T_D \approx T k_3; T_D \approx T k_3 \theta f_3 \quad (2.158)$$

$$T_d \approx k''_3 T_{fn} f_3 T_3$$

Однако следует помнить, что в отличие от систем с цифровым интегратором, в которых не предъявляется жестких требований к выбору величины T , в системах с цифровыми дифференциаторами выбор T должен производиться в зависимости от частоты входного сигнала.

Вычисление второй разности в цифровой форме может найти только ограниченное применение. Например, такое устройство может работать в качестве нелинейного звена, выдающего сигнал только при относительно большой производной от скорости изменения входной величины.

Выбор параметров такого устройства зависит от конкретной задачи и от других устройств, работающих в той же системе, и не может быть сформулирован в общем виде.

Поэтому нельзя рекомендовать разработку отдельных цифровых корректирующих устройств, вычисляющих вторую разность. Построение цифровых устройств для определения разностей более высоких порядков также не является целесообразным.

В цифровой форме целесообразно осуществлять вычисление одновременно пропорциональной, интегральной (суммирование) и дифференциальной (первая разность) составляющих.

Комбинация из первых двух составляющих дает ПИ-закон регулирования, из трех — ПИД-закон. Поэтому имеет смысл предусмотреть разработку цифровых ПИ- и ПИД-регуляторов.

Уравнения цифровых пропорционально-интегральных (ПИ-регуляторов) и регуляторов пропорционально-интегральных с воздействием по производной (ПИД-регуляторов) легко получить на основании выражений (2.147), (2.148), (2.150), (2.151), (2.155), (2.156). Идеализированное уравнение цифровой части отдельных модификаций ПИ-регуляторов может быть записано в виде:

$$y^*_{\text{ПИ}} = k_1 x^*[nT] + k_2 \sum_1^n x^*[iT], \quad (2.159)$$

$$y^*_{\text{ПИД}} = k_1 \left[\int_{nT}^{nT+\Theta} (f_3 - f) dt \right]^* + k_2 \sum_{i=1}^n \int_{iT}^{iT+\Theta} (f_3 - f) dt]^*. \quad (2.160)$$

Уравнение дискретного ПИ-регулятора можно записать и в другом виде, например $y^*_{\text{ПИ}} = k_1 \{ x^*[nT] + k_{21} \sum_1^n x^*[iT] \}$.

Параметрами настройки цифрового ПИ-регулятора являются интервалы времени T и Θ и коэффициенты k_1 и k_2 . Для получения ПИД-закона регулирования целесообразно предусмотреть дополнительный блок — цифровой дифференциатор. Если все блоки имеют одинаковое время цикла T , то идеализированные уравнения цифровой части ПИД-регулятора можно записать в виде:

$$y^*_{\text{ПИД}} = k_1 x^*[nT] + k_2 \sum_1^n x^*[iT] + k_3 \{ x^*[nT] - x^*[(n-1)T] \}, \quad (2.161)$$

$$y^*_{\text{ПИД}} = k_1 \left[\int_{nT}^{nT+\theta} (f_3 - f) dt \right]^* + k_2 \sum_{i=1}^n \left[\int_{iT}^{iT+\theta} (f_3 - f) dt \right]^* + k_3 \left\{ \left[\int_{nT}^{nT+\theta} (f_3 - f) dt \right]^* - \left[\int_{(n-1)T}^{(n-1)T+\theta} (f_3 - f) dt \right] \right\} \quad (2.162)$$

Параметрами настройки цифрового ПИД-регулятора являются коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 и интервалы времени T и θ .

Сопоставим уравнения цифровых ПИ- и ПИД-регуляторов (2.159) и (2.162) с соответствующими уравнениями непрерывных ПИ- и ПИД-регуляторов:

$$\mu(t) = k_p \left\{ x(t) + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int x(t) dt \right\}, \quad (2.163)$$

$$\mu(t) = k_p \left\{ x(t) + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int x(t) dt + T_{\text{Д}} \frac{dx(t)}{dt} \right\}, \quad (2.164)$$

Далее будут приведены различные уравнения цифровых ПИ- и ПИД-регуляторов. Однако все эти уравнения легко приводятся к виду (2.159) и (2.161) при соответствующем пересчете коэффициентов.

Можно увидеть следующее соответствие между параметрами настроек. Для уравнений (2.159) и (2.161):

$$k_p \approx k_1; \quad T_{\text{И}} \approx \frac{T k_1}{k_2}; \quad T_{\text{Д}} \approx T \frac{k_3}{k_1} \quad (2.165)$$

Для уравнений (2.160) и (2.162) при $k_1 = k_1' \theta f_3$:

$$\begin{aligned} k_2 &= k_2' \theta f_3; \\ k_3 &= k_3' \theta f_3; \\ k_p &= k_1' \theta f_3; \\ T_{\text{И}} &\approx \frac{T k_1'}{k_2'}; \\ T_{\text{Д}} &= T \frac{k_3'}{k_1'} \end{aligned} \quad (2.166)$$

В ряде случаев представляется целесообразным осуществлять вычисления алгоритма управления цифро-аналоговым способом. В комбинированных регуляторах некоторые составляющие закона регулирования получаются в аналоговой форме, другие — в цифровой. В качестве примера приведено несколько уравнений регуляторов этого типа:

$$y^*_{\text{ПИ}} = k_p x(t) + k_2 \sum_1^n x^*[iT] \quad (2.167)$$

при $nT < t < (n+1)T$,

$$y^*_{\text{ПИД}} = k_p x(t) + k_2 \int_1 (f_3 - f) dt + T_D \frac{dx}{dt}. \quad (2.168)$$

Уравнение (2.167) соответствует уравнению непрерывно-дискретного регулятора, который обеспечивает непрерывное воспроизведение (в аналоговой форме) пропорциональной составляющей и получение в дискретные моменты времени (в цифровой форме) интегральной составляющей. Такое уравнение можно использовать для регулятора, применяемого для автоматизации медленных процессов.

Уравнение (2.168) относится к непрерывному цифро-налоговому ПИД-регулятору. Интегральная составляющая получается за счет суммирования (с учетом знака) импульсов измеренной и заданной частоте на входе реверсивного счетчика.

Вычисление пропорциональной и дифференциальной составляющих обеспечивается за счет применения аналоговой техники. Регуляторы, характеризуемые уравнением (2.168), часто используются при регулировании скорости вращения двигателей. В этих системах измерение скорости осуществляется двумя датчиками: частотным датчиком и датчиком ЭДС. С тахомашины напряжение поступает на аналоговую часть регулятора, импульсы с частотного датчика скорости поступают на реверсивный счетчик, т.е. на цифровую часть.

Большую группу комбинированных регуляторов составляют регуляторы, у которых имеются две системы регулирования: грубая и точная. Например, при больших отклонениях действует грубая система, построенная с помощью аналоговой техники, при небольших отклонениях работает цифровая, точная система регулирования. Уравнение такого комбинированного регулятора может иметь вид:

$$\mu(t) = \begin{cases} k_1 x^*[nT] + k_2 \sum_1^n x^*[iT] & \text{при } x < x_0 \\ k_p \left\{ x(t) + \frac{1}{T_I} \int_1 x(t) dt \right\} & \text{при } x > x_0 \end{cases} \quad (2.169)$$

Регулирующие микропроцессорные контроллеры. На рис. 2.104 представлена структурная схема цифрового регулирующего прибора

Выходной сигнал 1 с термометра сопротивления термопары или внешнего измерительного преобразователя поступает через аналоговый мультиплексор 4 на аналогово-цифровой преобразователь 6. Преобразованные в цифровую форму результаты измерений обрабатываются далее в процессоре 8. С помощью опорных величин 5 осуществляется непрерывное самотарирование регулятора. Клавиатура 3, индикатор 2 и электрически стираемое ПЗУ 7 связаны через систему шин с процессором. При сбоях в выполнении программы сторожевая схема 9 запускает возврат аппаратной части в исходное состоя-

ние, и осуществляется перезапуск системы, в качестве выходов предусмотрены два переключающиеся реле 11 и 12 и логический выход 14, связанный с одним из релейных выходов. Еще один логический выход 13 принимает функцию линейного компаратора. Два двоичных входа 15 и 16 управляют функциями «Блокировки клавиатуры» и «Останов линейного насыщения». При использовании обоих двоичных входов выход 3 не активен. Сетевой блок 10 обеспечивает питание структурных схем.

Для точности регулирования и оптимальной компенсации возмущающих воздействий необходимо согласование регулятора непрерывного действия с временной характеристикой объекта регулирования, для чего служат электронные схемы обратной связи, которые в зависимости от их структуры, различаются по характеристике как пропорциональные (П), пропорциональные с предварением (ПД), пропорционально-интегральные (ПИ) и пропорционально-интегральные с предварением (ПИД).

Коэффициенты настройки регулирующих приборов определяются по таблицам, предоставляемым заводом-изготовителем.

Наличие двух программируемых каналов регулирования позволяет осуществить двухпозиционный, трехпозиционный, а также ПИД ШИМ и ПИД шаговых законы регулирования. Приборы с опцией «Интерфейс» обеспечивают связь с компьютером по интерфейсу RS-485 и могут реализовать программное регулирование.

Системы автоматического регулирования с использованием цифровых регулирующих приборов (ЦРП) имеют ряд преимуществ по сравнению с аналоговой системой регулирования (большая точность, быстроедействие, повышенная надежность, удобство настройки и т.д.).

В настоящее время ЦР применяются в различных отраслях промышленности.

Укажем на некоторые задачи, которые могут быть успешно решены только при использовании ЦР.

1. Управление процессами, информация о состоянии которых может быть получена в дискретные моменты времени (например, операции взвешивания, дозировки, работа со сложными измерительными установками, в которых значения регулируемых величин устанавливаются на основе лабораторного анализа, или при использовании датчиков, работающих в тяжелых условиях и др.).

2. Управление с высокой степенью точности процессами или агрегатами, в которых для измерения регулируемой величины используются цифровые (частотные) датчики. Точность таких датчиков, преобразующих неэлектрические величины непосредственно в цифровую форму, в ряде случаев намного превышает точность датчиков, построенных на элементах аналоговой техники. Например, точность работы частотных датчиков скорости может составлять 0,01–0,001%.

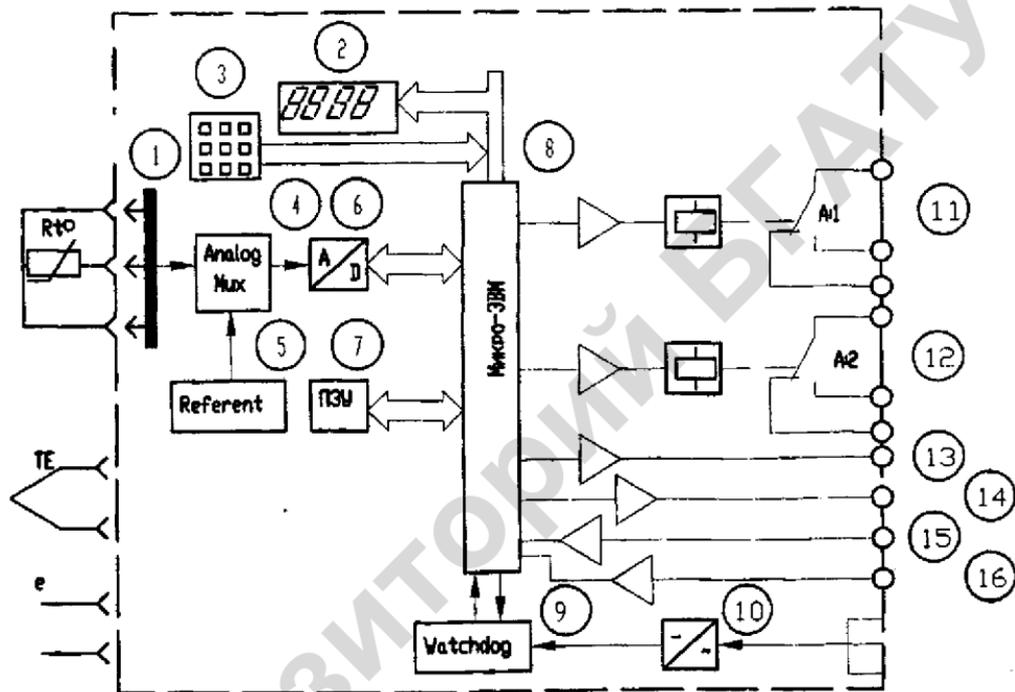


Рис. 2.104 Структурная схема электронного цифрового регулирующего прибора: 1 – датчик; 2 – индикатор; 3 – клавиатура; 4 – аналоговый мультиплексор; 5 – генератор; 6 – АЦП; 7 – ЦАП; 8 – процессор; 9 – сторожевая схема; 10 – сетевой блок; 11,12 – реле; 13 ... 16 – цифровой выход

3. Управление процессами, наблюдение о состоянии которых, и изменение режима работы которых осуществляется при помощи системы централизованного контроля, например, АСУ ТП теплиц или АСУ ТП кормления коров. Выходные сигналы систем централизованного контроля, а также сигналы с различных информационных устройств, предназначенных для управления процессами, обычно выдаются в цифровой форме в дискретные моменты времени.

4. Управление медленно меняющимися процессами, при которых необходимо обеспечить достаточно большую постоянную времени интегрирования (например, величину, превосходящую 200 с) и осуществлять операцию дифференцирования медленно изменяющихся величин. Примером такого процесса может быть изменение температуры воздуха в теплице, когда требуется в дневные часы поддерживать ее, например, в пределах 22–26 °С, а в ночное время на 6–8 °С ниже, и при переходе с дневного на ночной режим обогрева температура воздуха не должна изменяться более, чем на 6 °С в час.

3 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1 Назначение и содержание проекта автоматизации технологических процессов

Создание новых и модернизация действующих предприятий сельскохозяйственного назначения предусматривает выполнение значительного объема работ, связанных с решением различных вопросов автоматизации производственных процессов. Разработка и внедрение систем автоматизации непосредственно в процессы сельскохозяйственного производства — многоступенчатый процесс. Он включает проведение научно-исследовательских, проектных и монтажно-наладочных работ, а также комплекс мероприятий, обеспечивающих надежную работу систем автоматизации в ходе эксплуатации.

Задачи, которые решаются при автоматизации процессов современного сельскохозяйственного производства требуют от специалистов как знаний принципов построения и функционирования приборов автоматизации, методов построения систем автоматического управления, так и овладения общим техническим языком, посредством которого можно четко и однозначно обмениваться разработками в области автоматизации технологических процессов. Это значит, что логически продуманная и технически обоснованная система автоматизации определенного технологического процесса должна быть представлена на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматизации. При этом у всех специалистов должно быть единым понимание создаваемой системы автоматизации в части ее приборного оснащения, реализации алгоритмов управления и заданных законов регулирования, способов монтажа приборов и средств автоматизации, прокладки импульсных и командных линий и линий питания.

Каким же образом достичь этого однозначного взаимопонимания без непосредственного участия, например, разработчиков системы в монтажных работах или монтажников в процессе эксплуатации? Такое взаимопонимание обеспечивается посредством специально разрабатываемой технической документации, которая называется *проектом автоматизации технологического процесса*.

В зависимости от сложности и новизны технологического процесса и оборудования, принципов организации производства системы автоматизации могут проектироваться в одну или две стадии. При разработке систем автоматизации технологических процессов несложных объектов или по существующим прототипам проектирование выполняется в одну стадию — так называемый *архитектурно-строительный проект*. Для остальных, более сложных объектов, проектирование систем автоматизации технологических процессов выполняется в две стадии: *архитектурный и строительный проект*.

Проекты систем автоматизации технологических процессов выполняют в соответствии с заданием на проектирование.

Исходными данными для выполнения проектов систем автоматизации являются технологические схемы с характеристиками оборудования и трубопроводами, перечни контролируемых и регулируемых параметров с необходимыми требованиями, характеристиками и величинами и чертежи производственных помещений с расположением технологического оборудования.

Состав проектных материалов систем автоматизации технологических процессов на различных стадиях проектирования различен.

На стадии архитектурного проекта, предусматривающего разработку документации с целью выявления технической возможности и экономической целесообразности автоматизации данного технологического участка, определяются уровень и объем автоматизации, принципы ее осуществления и структура, экономическая эффективность. Все основные технические и экономические вопросы решаются укрупнено, без особой детализации с общими принципиальными выводами о возможности и целесообразности автоматизации.

В состав проектных материалов этой стадии входят:

- структурная схема управления и контроля, которая разрабатывается для сложных систем управления;
- схема автоматизации технологического процесса;
- планы расположения щитов и пультов;
- ведомости приборов и средств автоматизации; электроаппаратуры, щитов и пультов, трубопроводной арматуры, основных монтажных материалов и изделий;
- сметы на приобретение и монтаж технических средств автоматизации;
- пояснительная записка.

На стадии строительного проекта предусматривается разработка рабочей документации, целью которой является обеспечение проведения монтажно-наладочных работ. Уровень и объем автоматизации, предусмотренные в рабочих чертежах, должны полностью соответствовать уровню и объему автоматизации, принятым в утвержденном архитектурном проекте.

В состав строительного проекта систем автоматизации согласно ГОСТ 21.408–93 включают:

- рабочие чертежи, предназначенные для производства работ по монтажу технических средств автоматизации;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых средств автоматизации;
- спецификацию оборудования, изделий и материалов;
- пояснительную записку.

Основной комплект рабочих чертежей систем автоматизации в общем случае содержит:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схемы автоматизации;
- схемы принципиальные (электрические, гидравлические, пневматические схемы контроля, автоматического регулирования, управления, сигнализации и питания);
- схемы (таблицы) соединений и подключений внешних проводов;

- чертежи расположения оборудования и внешних проводок;
- чертежи установок средств автоматизации.

На стадии архитектурно-строительного проекта, разрабатываемого для несложных объектов или по существующим прототипам, проектные материалы объединяют цели и задачи, ставящиеся на стадиях архитектурного и строительного проекта.

Все графические материалы, входящие в состав проектной документации систем автоматизации технологических процессов, выполняются согласно действующим ГОСТам, обеспечивающим единообразие проектной документации и облегчающим ее чтение и использование при проведении монтажных работ и в процессе эксплуатации системы.

Текстовые материалы проекта автоматизации. Проект автоматизации помимо графического материала содержит текстовую часть: пояснительную записку, спецификации и смету на приобретение и монтаж технических средств.

Пояснительная записка. Содержание пояснительной записки должно отражать назначение разработанной технической документации и особенности ее использования на различных стадиях проектирования. Текст пояснительной записки должен быть кратким и ясным, но достаточным для понимания основных технических решений проекта.

Пояснительная записка должна состоять из следующих разделов: общая часть, характеристика объекта автоматизации, основные технические решения по автоматизации производственных процессов, краткие пояснения к монтажным чертежам.

В общей части пояснительной записки указываются сведения о документах, являющихся основными для разработки проекта автоматизации, конкретная задача проекта и исходные данные для проектирования.

В разделе «Характеристика объекта автоматизации» приводится общая характеристика объекта управления с указанием сведений об основных производственных подразделениях объекта (цехи, отделения, аппараты и т. п.). Дается краткая характеристика технологического процесса с описанием особенностей контролируемых и регулируемых средств, типов и основных характеристик технологического оборудования, класса и категории взрыво- и пожароопасных производств и других специфических особенностей окружающей среды.

При описании технологических процессов необходимо приводить сведения об особенностях работы технологического оборудования, требования к точности управления и контроля технологических параметров.

В разделе «Основные технические решения по автоматизации» раскрывается содержание принятой в проекте структуры управления, приводятся сведения о контроле важнейших параметров, об основных узлах систем автоматического регулирования, о принятой схеме технологической сигнализации, об источниках и системе питания приборов и средств автоматизации.

В разделе «Пояснения к монтажным чертежам» отмечаются особенности установки средств автоматизации и выполнения проводок, дается пояснение к монтажным и установочным чертежам проекта.

Спецификация. В проектной документации систем автоматизации производственных процессов составляются следующие виды спецификаций: спецификация оборудования, спецификация щитов и пультов, ведомость монтажных материалов. Спецификации оборудования присваивается обозначение С01, спецификация щитов и пультов — С02, ведомости монтажных материалов — ВМ.

Спецификация С01 составляется на основании рабочей документации проекта автоматизации и выполняется в виде таблицы, в графе 1 которой указывается позиция оборудования, предусмотренного рабочими чертежами; в графе 2 — наименование оборудования и материала, их техническая характеристика в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и другой технической документации на оборудование и материалы, а также завод-изготовитель. Для приборов и средств автоматизации в графе 2, кроме того, указываются наименования и предельные значения параметров измеряемой среды; в графе 3 — тип, марка оборудования, обозначение стандарта, технического условия или другого документа на оборудование, а также номер опросного листа; в графе 4 — наименование единицы измерения; 5 — код единицы измерения по классификатору систем обозначения единиц измерения; в графе 6 — код завода-изготовителя оборудования; в графе 7 — код оборудования и код материала по классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции; в графе 8 — цена оборудования; в графе 9 — количество оборудования и материалов; в графе 10 — масса оборудования в килограммах.

Спецификацию оборудования составляют по подразделам, которым присваивают следующие номера и наименования:

- 1.1. Приборы и средства автоматизации;
- 1.2. Электроаппаратура;
- 1.3. Трубопроводная арматура;
- 1.4. Кабели и провода.

Спецификация щитов и пультов С02 составляется по двум разделам: 1 — щиты; 2 — электроаппаратура, поставляемая комплектно со щитами.

Смета на приобретение и монтаж технических средств. Эта смета является документом, на основе которого осуществляется планирование капитальных вложений и финансирование строительства.

3.2 Структурные схемы автоматизации

Для общего ознакомления с системой предназначена структурная схема (рис. 3.1). Согласно ГОСТ 2.701—84 *структурная схема — это схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи.* Структура — это совокупность частей автоматизированной системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку,

а также пути передачи воздействия между ними. В общем случае любая система может быть представлена следующими структурами:

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

Рассмотрим, каким образом оформляются конструктивные структурные схемы (рис. 3.1). Надо отметить, что для простых объектов автоматизации эти схемы могут не приводиться. Требования к данным схемам устанавливает РТМ 252.40 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Структурные схемы управления и контроля». Согласно этому документу конструктивные структурные схемы содержат:

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

Элементы структурной схемы изображают в виде прямоугольников. Отдельные функциональные службы и должностные лица допускается изображать кружком. Внутри прямоугольников раскрывается структура данного участка. Функции автоматизированной системы управления технологическим процессом указываются условными обозначениями, расшифровка которых дается в таблице над основной надписью по ширине надписи. Взаимосвязь между элементами структурной схемы изображают сплошными линиями, слияния и разветвления линиями с изломом. Толщина линий следующая: условных изображений — 0,5 мм, линий связи — 1 мм, остальных — 0,2–0,3 мм. Размеры элементов структурных схем не регламентируются и выбираются по усмотрению. Выполнение конструктивной структурной схемы (рис. 3.2). В примере приведен фрагмент выполнения конструктивной схемы управления и контроля станции водоочистки. В нижней части раскрыты технологические подразделения объекта автоматизации. В прямоугольниках средней части раскрыты основные функции и технические средства пунктов местного управления агрегатами. В верхней части раскрыты функции и технические средства пункта централизованного управления станцией. Продолжение схемы идет на последующих листах. Поэтому обозначены переходы

линий связи на последующие листы и показан обрыв прямоугольника, раскрывающего структуру объекта автоматизации.

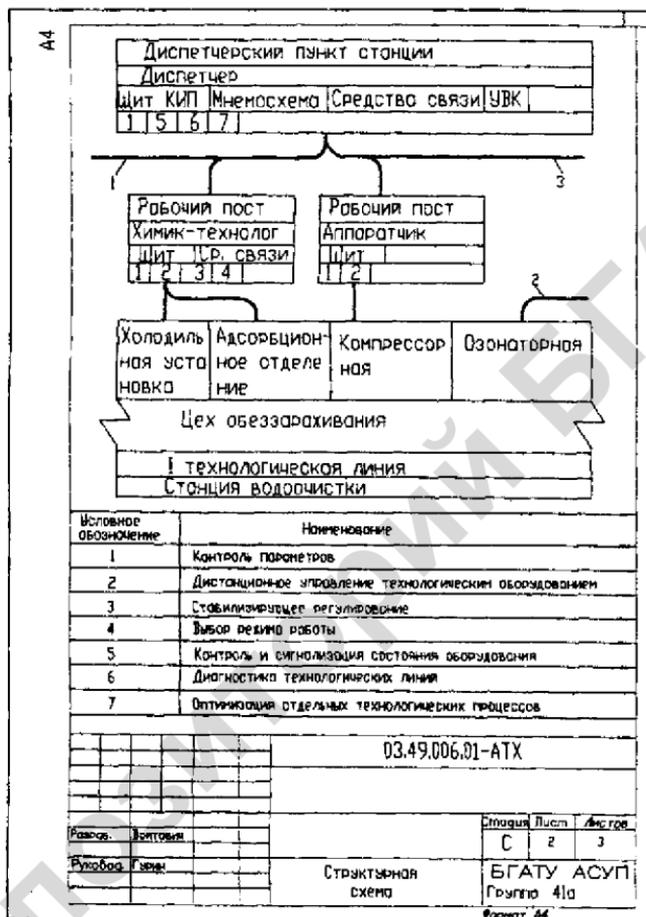


Рис. 3.1 Структурная схема управления отделением озонобработки питьевой воды

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

3.3 Схемы автоматизации

3.3.1 Назначение схем автоматизации и общие принципы их выполнения

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

Согласно ГОСТ 21. 408–93 на схеме автоматизации изображают:

1. Техническое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта;
2. Технические средства автоматизации или контуры контроля, регулирования и управления (контур — совокупность отдельных функционально связанных приборов, выполняющих определенную задачу по контролю, регулированию, сигнализации, управлению и т.д.);
3. Линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации или контурами (при необходимости).

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

3.3.2 Изображение технологического инженерного оборудования и коммуникаций на схемах автоматизации

Технологическое оборудование и коммуникации должны изображаться, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения, но технологическая схема должна давать ясное представление о принципе ее работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

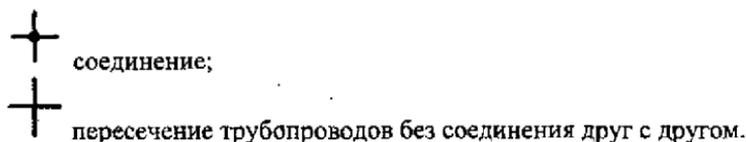
На технологических трубопроводах показывают регулируемую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом. Технологические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показывают только в тех случаях, когда они механически соединяются или взаимодействуют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

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

Условное обозначение трубопровода состоит из графического упрощенного изображения (ГОСТ 2.784–70) и обозначения транспортируемой среды

согласно приложению 3 ГОСТ 14202 (табл. 3.1).

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



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

У изображения технологического оборудования и трубопроводов дают поясняющие надписи и указывают стрелками направления потоков на линиях трубопроводов. Например, наименование технологического оборудования: «кормушки» или в месте обрыва трубопровода «к фильтру», «от насосов». Трубопроводы, идущие к конечным аппаратам и устройствам, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают и дают поясняющие надписи.

Запорную арматуру, используемую в системах автоматизации (нерегулирующую), изображают согласно ГОСТ 2.785. Примеры изображения трубопроводной арматуры приведены на рис. 3.2.

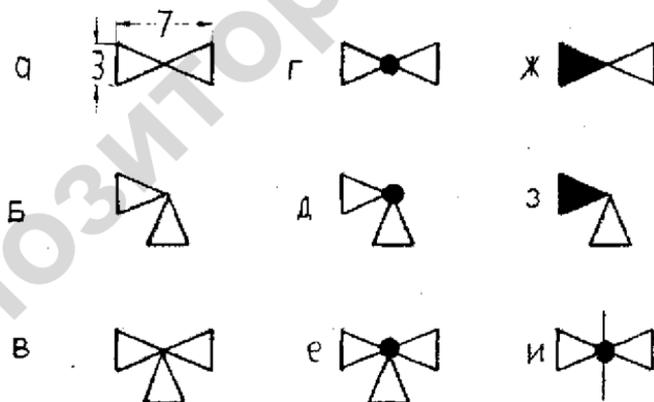


Рис. 3.2 Изображение трубопроводной арматуры: а – проходной вентиль; б – угловой вентиль; в – трехходовой вентиль; г – проходной кран; д – угловой кран; е – трехходовой кран; ж – проходной клапан; з – угловой клапан; и – задвижка

**Условные обозначения трубопроводов, в зависимости от
транспортируемой среды**

Цифро- вые обо- значения	Транспонируемое вещество	Цифро- вые обо- значения	Транспонируемое вещество
1	Вода	3	Воздух
1.1	Питьевая	3.1	Атмосферный
1.2	Техническая	3.2	Кондиционированный
1.3	Горячая (водоснабжение)	3.3	Циркуляционный
1.4	Горячая (отопление)	3.4	Горячий
1.5	Питательная	3.5	Сжатый
1.6	Резерв	3.6	Пневмотранспорта
1.7	Резерв	3.7	Кислород
1.8	Конденсат	3.8	Вакуум
1.9	Прочие виды воды	3.9	Прочие виды воздуха
1.0	Отработанная, сточная	3.0	Отработанный
2	Пар	4	Газы горючие
2.1	Низкого давления (до 2 кгс/см ²)	4.1	Светильный
2.2	Насыщенный	4.2	Генераторный
2.3	Перегретый	4.3	Ацетилен
2.4	Отопление	4.4	Аммиак
2.5	Влажный (соковый)	4.5	Водород и газы его содержащие
2.6	Отборный	4.6	Углеводороды и их производные
2.7	Резерв	4.7	Оксись углерода и газы ее содержащие
2.8	Вакуумный	4.8	Резерв
2.9	Прочие виды пара	4.9	Прочие виды горючих газов
2.0	Отработанный	4.0	Отработанные горючие газы
5	Газы негорючие	6	Кислоты
5.1	Азот и газы его содержащие	6.1	Серная
5.2	Резерв	6.2	Соляная
5.3	Хлор и газы его содержащие	6.3	Азотная
5.4	Углекислый газ и газы его содержащие	6.4	Резерв
5.5	Инертные газы	6.5	Неорганические кислоты и их растворы
5.6	Сернистый газ и газы его содержащие	6.6	Органические кислоты и их растворы
5.7	Резерв	6.7	Растворы кислых солей
5.8	Резерв	6.8	Резерв
5.9	Прочие виды негорючих газов	6.9	Прочие жидкости кислотной реакции
5.0	Отработанные негорючие газы	6.0	Отработанные кислоты и кислые стоки (при pH < 6,5)

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

Пример изображения технологического оборудования на схеме автоматизации приведен на рис. 3.3.

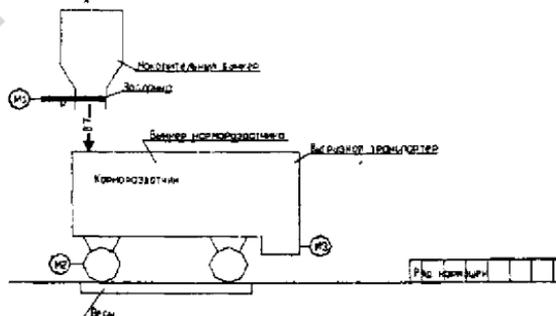


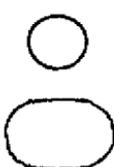
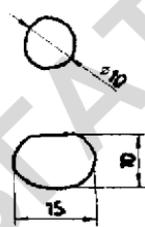
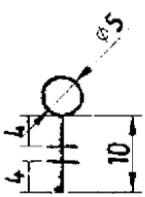
Рис. 3.3 Пример выполнения технологического оборудования на схеме автоматизации

3.3.3 Изображение приборов и средств автоматизации на схеме автоматизации

Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимают по ГОСТ 21.404–85.

Таблица 3.2

Условные графические обозначения приборов автоматизации

Наименование	Обозначение	Размеры обозначений
1	2	3
1. Прибор, устанавливаемый вне щита (по месту): а) основное обозначение б) допускаемое обозначение		
2. Прибор, устанавливаемый на щите, пульте: а) основное обозначение б) допускаемое обозначение		
3. Исполнительный механизм. Общее обозначение		
4. Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала: а) открывает регулирующий орган; б) закрывает регулирующий орган; в) оставляет регулирующий орган в неизменном положении		

1	2	3
5. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом.		Примечание — Обозначение может применяться с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала.
6. Линии связи. Общее обозначение		
7. Пересечение линий связи без соединения друг с другом		
8. Пересечение линий связи с соединением между собой		

Согласно стандарту устанавливаются два метода построения условных обозначений: а) упрощенный; б) развернутый.

При **упрощенном** методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например, контроль, регулирование, сигнализацию и выполненные в виде отдельных блоков изображают одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру не изображают.

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

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают графические, буквенные и цифровые обозначения.

В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение.

Основные буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов должны соответствовать приведенным в табл. 3.3.

В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

Порядок расположения букв в буквенном обозначении принимают следующим:

- основное обозначение измеряемой величины;
- дополнительное обозначение измеряемой величины (при необходимости);
- обозначение функционального признака прибора.

Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов, преобразователей сигналов и вычислительных устройств, приведены в табл. 3.4, 3.5.

Буквенные условные обозначения приборов автоматики

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
A	+	-	Сигнализация	-	-
B	+	-	-	-	-
C	+	-	-	Автоматическое регулирование, управление	-
D	Плотность	Разность, перепад	-	-	-
E	Электрическая величина	-	+	-	-
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	-	-	-
G	Размер, положение	-	+	-	-
H	Ручное воздействие	-	-	-	Верхний предел измеряемой величины
I	+	-	Показание	-	-
J	+	Автоматическое переключение, обга- нение	-	-	-
K	Время, временная программа	-	-	+	-
L	Уровень	-	-	-	Нижний предел измеряемой величины
M	Влажность	-	-	-	-
N	+	-	-	-	-
O	+	-	-	-	-
P	Давление, вакуум	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6
Q	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т.п.	Интегрирование, суммирование по времени	-	+	-
R	Радиоактивность	-	Регистрация	-	-
S	Скорость, частота	-	-	Включение, отключение, переключение, блокировка	-
T	Температура	-	-	+	-
U	Несколько разнородных измеряемых величин	-	-	-	-
V	Вязкость	-	+	-	-
W	Масса	-	-	-	-
Y	+	-	-	+	-
Z	+	-	-	+	-

Примечание – Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», являются резервными, а отмеченные знаком «-» не используются.

Таблица 3.4

Дополнительные буквенные обозначения приборов

Наименование	Обозначение	Назначение
Чувствительный элемент	Е	Устройства, выполняющие первичное преобразование: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, датчики пирометров, сужающие устройства расходомеров и т.п.
Дистанционная передача	Г	Приборы бесшкальные с дистанционной передачей сигнала: манометры, дифманометры, манометрические термометры.
Станция управления	К	Приборы, имеющие переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления
Преобразование, вычислительные функции	У	Для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств

**Дополнительные буквенные обозначения преобразователей
сигналов и вычислительных устройств**

Наименование	Обозначение
1. Род энергии сигнала: электрический; пневматический; гидравлический	E P G
2. Виды форм сигнала: аналоговый; дискретный	A D
3. Операции, выполняемые вычислительным устройством: суммирование; умножение сигнала на постоянный коэффициент k ; перемножение двух и более сигналов; деление сигналов; возведение величины сигнала f в степень n и извлечение из величины сигнала корня степени n ; логарифмирование; дифференцирование; интегрирование; изменение знака сигнала; ограничение верхнего значения сигнала; ограничение нижнего значения сигнала	Σ k x f_n $\sqrt[n]{}$ lg dx/dt ∫ x(-1) max min
4. Связь с вычислительным комплексом: передача сигнала на ЭВМ; вывод информации с ЭВМ	B ₁ B ₀

Порядок построения условных обозначений с применением дополнительных букв принимают следующим: основное обозначение измеряемой величины; одна из дополнительных букв: *E*, *T*, *K* или *Y*.

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

При построении обозначений комплектов средств автоматизации первая буква в обозначении каждого входящего в комплект прибора или устройства (кроме устройств ручного управления) является наименованием измеряемой комплектом величины.

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

Порядок расположения буквенных обозначений функциональных признаков прибора принимают с соблюдением последовательности (ГОСТ 21.404-85):

I — функция показания,

R — функция регистрации,

C — функция регулирования,

S — функция контактного устройства для включения, отключения, переключения,

A — функция сигнализации.

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

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

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

При применении контактного устройства прибора для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора используют обе буквы: *S* и *A*.

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

При необходимости конкретизации измеряемой величины справа от графического обозначения прибора допускается указывать наименование или символ этой величины.

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

Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

Принцип построения условного обозначения прибора приведен на рис. 3.4.

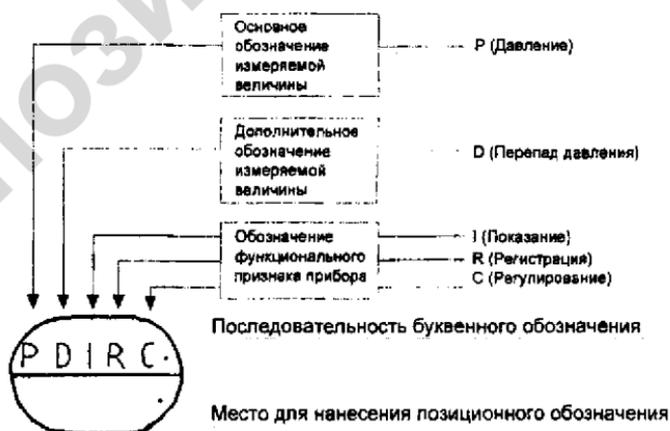


Рис. 3.4 Принцип построения условного обозначения прибора

Буквенно-цифровые (позиционные) обозначения приборов указывают в нижней части окружности или с правой стороны от него, обозначения электрических аппаратов — справа от их условного графического обозначения.

При этом позиционные обозначения технических средств присваивают по спецификации оборудования и составляют из цифрового обозначения соответствующего контура и буквенного обозначения (прописными буквами русского алфавита) каждого элемента, входящего в контур (в зависимости от последовательности прохождения сигнала).

Во избежание разночтений буквы «З» и «О», имеющих начертание, похожее на начертание цифр, применять не допускается.

Электроаппараты, входящие в систему автоматизации (звонки, сирены, сигнальные лампы, табло, ЭД и др.), показывают на схеме условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.722, ГОСТ 2.732, ГОСТ 2.741 и присваивают им буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710.

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

Остальные технические средства автоматизации показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, расположенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваивают заголовки, соответствующие показанным в них техническим средствам. Первым располагают прямоугольник, в котором показаны внешние приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком «Приборы местные», ниже — прямоугольники, в которых показаны щиты и пульты, а также комплексы технических средств.

Заголовки прямоугольников, предназначенных для изображения щитов и пультов, принимают в соответствии с наименованиями, принятыми в эскизных чертежах общих видов, для комплексов технических средств — в соответствии с их записью в спецификации оборудования.

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

3.3.4 Требования к изображению линий связи на схемах автоматизации

Каждая связь между техническими средствами автоматизации, расположенными по месту и в щитах, обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь (см. табл. 3.2).

К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для вход-

ных и выходных сигналов линии связи допускается подводить с любой стороны, в том числе сбоку и под углом.

Линии связи допускается изображать с разрывом при большой протяженности и (или) при сложном их расположении (смотрите примеры чертежей). Места разрывов линий связи нумеруют арабскими цифрами в порядке их расположения в прямоугольнике с заголовком «Приборы местные».

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

На линии связи указывают предельные (max и min) рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин по ГОСТ 8.417 или в единицах шкалы выбираемого прибора. Для обозначения разрежения ставят « - » (минус). Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование и не имеющих линий связи, эти значения указывают рядом с обозначением приборов.

Линии связи отображаются сплошной тонкой линией. Расстояние между соседними линиями связи не менее 3 мм. При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи допускается наносить стрелки.

3.3.5 Примеры выполнения схем автоматизации

Схемы автоматизации выполняют двумя способами:

- 1) развернутым, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления. Пример выполнения схемы по первому варианту приведен на рис. 3.5;
- 2) упрощенным, при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных технических средств автоматизации и указания места расположения).

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

Пример выполнения схемы по второму варианту приведен на рис. 3.6.

Сложные технические средства рекомендуется расчленять на отдельные технологические узлы и выполнять схемы этих узлов в виде отдельных чертежей на нескольких листах или на одном.

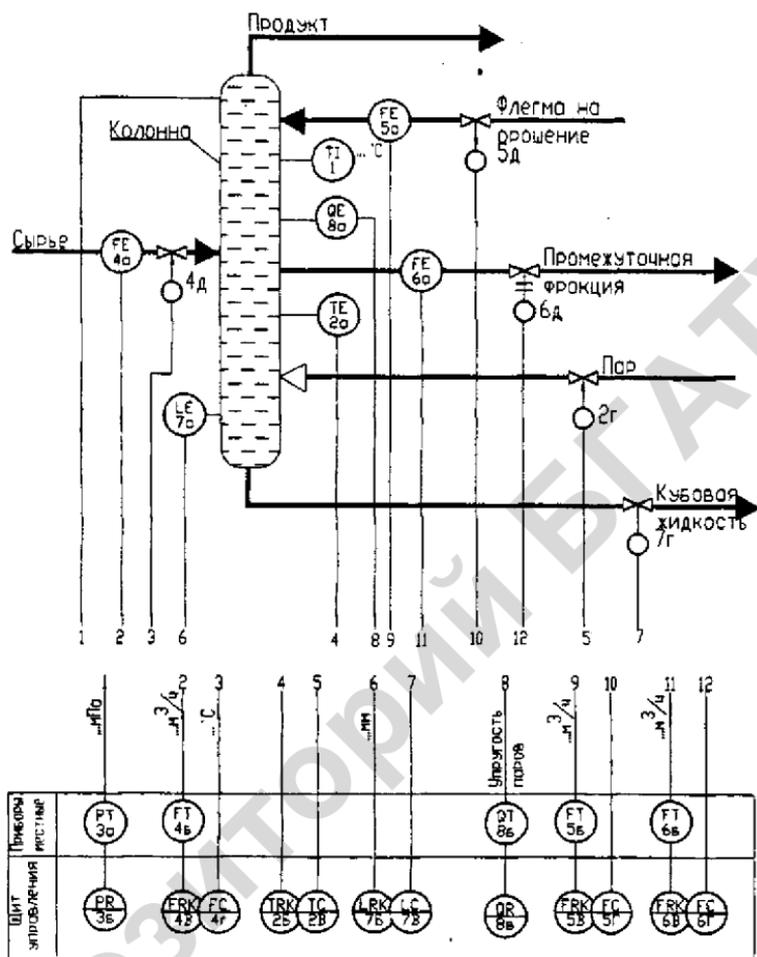


Рис.3.5 Пример выполнения схемы автоматизации развернутым способом

Для технологических процессов с большим объемом операций схемы автоматизации могут быть выполнены отдельно по видам технологического контроля и управления. При расположении схемы автоматизации на нескольких листах на концах линий, переходящих с одного листа схемы на другой лист или схему, указывают наименование этих линий или присвоенные им обозначения схемы, где показано продолжение этих линий. Такие пояснения дают на каждом из взаимосвязанных листов или схем.

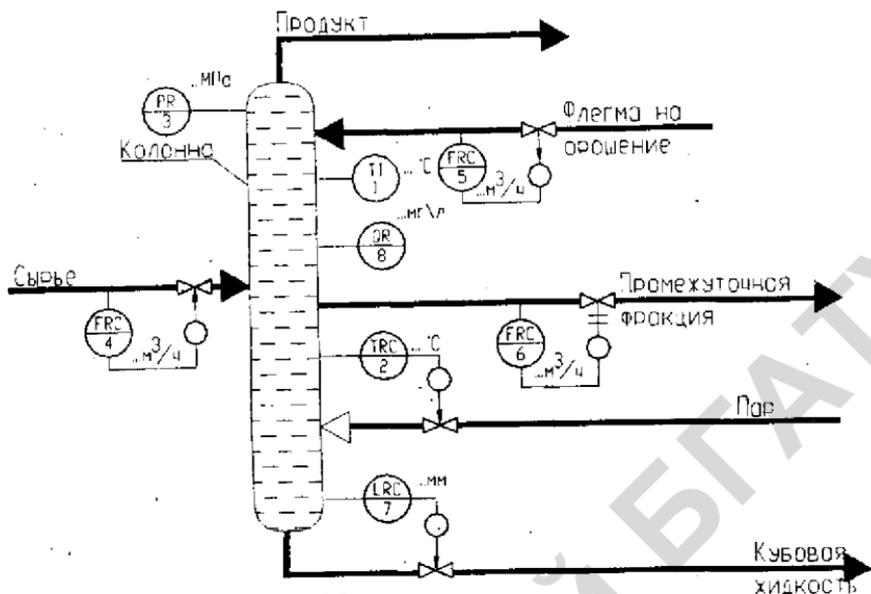


Рис. 3.6. Пример выполнения схемы автоматизации упрощенным способом

Таблицу не предусмотренных стандартами условных обозначений, принятых в данной схеме, располагают на первом листе чертежа над основной надписью, по ее ширине сверху вниз. При необходимости эти таблицы можно выполнить на отдельных листах.

Пояснительный текст располагают обычно над основной надписью.

Рассмотрим конкретные примеры разработки схемы автоматизации (рис. 3.7 и 3.8). На схеме автоматизации технологических процессов приводится техническое решение варианта автоматизации. Например, при разработке варианта автоматизации линии раздачи корма мобильным кормораздатчиком (изображение технологического оборудования линии приведено на рис. 3.3) было принято следующее решение.

Для начала процесса загрузки мобильного кормораздатчика должно быть зафиксировано то, что кормораздатчик находится в исходном положении (с помощью конечного выключателя), и что в накопительном бункере имеется корм (с помощью датчика уровня). Далее открывается заслонка (ее конечные положения тоже фиксируются) и по весу производится загрузка кормораздатчика. После этого по сигналу реле времени производится кормораздача в ряд кормушек. Включение и отключение выгрузки корма обеспечивается с помощью конечных выключателей, фиксирующих начало и конец кормушек. Перечень приборов для данного варианта автоматизации приведен в табл. 3.6 и 3.7.

Перечень приборов, устанавливаемых на технологическом оборудовании

Прибор	Буквенное обозначение	Позиционное обозначение	Примечание
Датчик уровня, устанавливаемый в накопительном бункере	LS	3	Обозначение измеряемой величины по табл. 3.3 (строка 12) — уровень <i>L</i> . Функциональный признак — переключение — по той же таблице — <i>S</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления.
Весовое устройство	WS	6	Обозначение измеряемой величины по табл. 3.3 (строка 23) — масса <i>W</i> . Функциональный признак — переключение — по той же таблице — <i>S</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления.
Конечные выключатели, фиксирующие крайние положения заслонки, движения кормораздатчика и начала ряда кормушек	GS	1а, 1б, 4а, 4б, 5	Обозначение измеряемой величины по табл. 3.3 (строка 7) — положение <i>G</i> . Функциональный признак — переключение — по той же таблице — <i>S</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления. Буква в позиционном обозначении говорит о порядке прохождения сигнала.

Таблица 3.7

Перечень приборов, устанавливаемых на щитах управления

Прибор	Буквенное обозначение	Позиционное обозначение	Примечание
1	2	3	4
Магнитные пускатели, управляющие двигателями перемещения заслонки и кормораздатчика, выгрузного шнека	NS	1в, 1г, 4в, 4г, 7б	Обозначение измеряемой величины задано взятым по табл. 3.3 резервным символом <i>N</i> . Функциональный признак — переключение — по той же таблице — <i>S</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления. Буква в позиционном обозначении говорит о порядке прохождения сигнала.
Переключатель режимов работы оборудования	HS	4е	Обозначение измеряемой величины по табл. 3.3 (строка 8) — ручное воздействие <i>H</i> . Функциональный признак — переключение — по той же таблице — <i>S</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления. Буква в позиционном обозначении говорит о порядке прохождения сигнала.

1	2	3	4
Реле времени	KS	2, 8	Обозначение измеряемой величины по табл. 3.3 (строка 11) — время <i>K</i> . Функциональный признак — переключение — по той же таблице — <i>S</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления.
Кнопочные выключатели, подающие сигнал на включение магнитных пускателей в ручном режиме управления.	H	1д, 1с, 4ж, 7а	Обозначение измеряемой величины по табл. 3.3 (строка 8) — ручное воздействие <i>H</i> . Цифровое обозначение фиксирует обозначение контура управления. Буква в позиционном обозначении говорит о порядке прохождения сигнала.
Сигнализация, организованная с помощью сигнальной арматуры		HL1—HL6	Повторяет обозначение на принципиальной электрической схеме

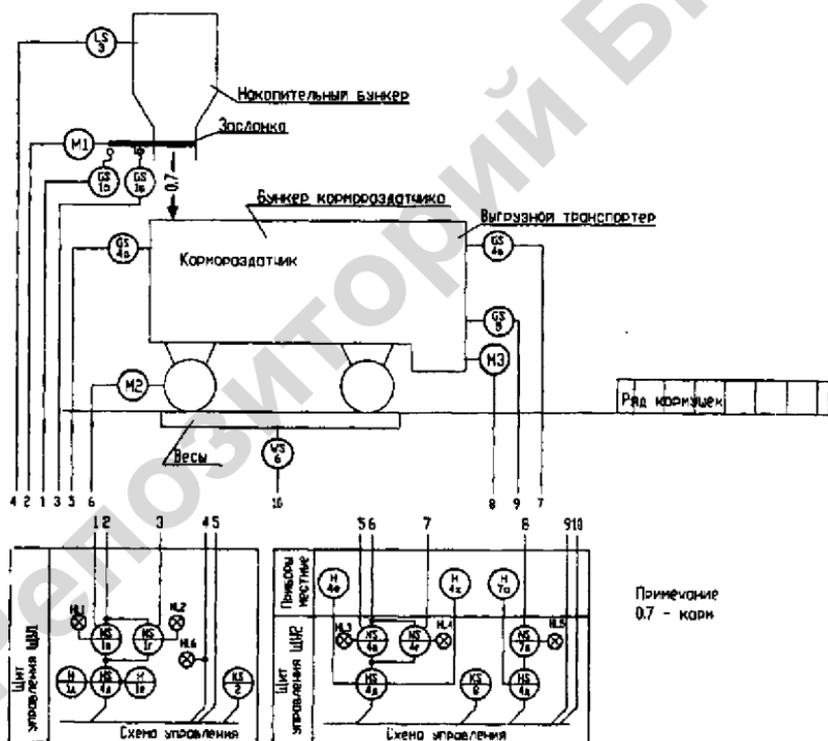


Рис. 3.7 Схема автоматизации технологического процесса кормораздачи мобильным кормораздатчиком

Технологическое оборудования на схеме автоматизации (рис. 3.7) изображается аналогично технологической схеме. Сплошной основной линией показано перемещение корма при загрузке кормораздатчика, и дано обозначение транспортируемой среды в разрыве линии. Графическое изображение приборов взято согласно табл. 3.2. Схема автоматизации по данному варианту с учетом разделения управления оборудованием показана на рис. 3.7.

Еще один вариант схемы автоматизации приведен на рис. 3.8. Здесь линии связи между приборами и средствами автоматизации не разорваны, как в предыдущем варианте.

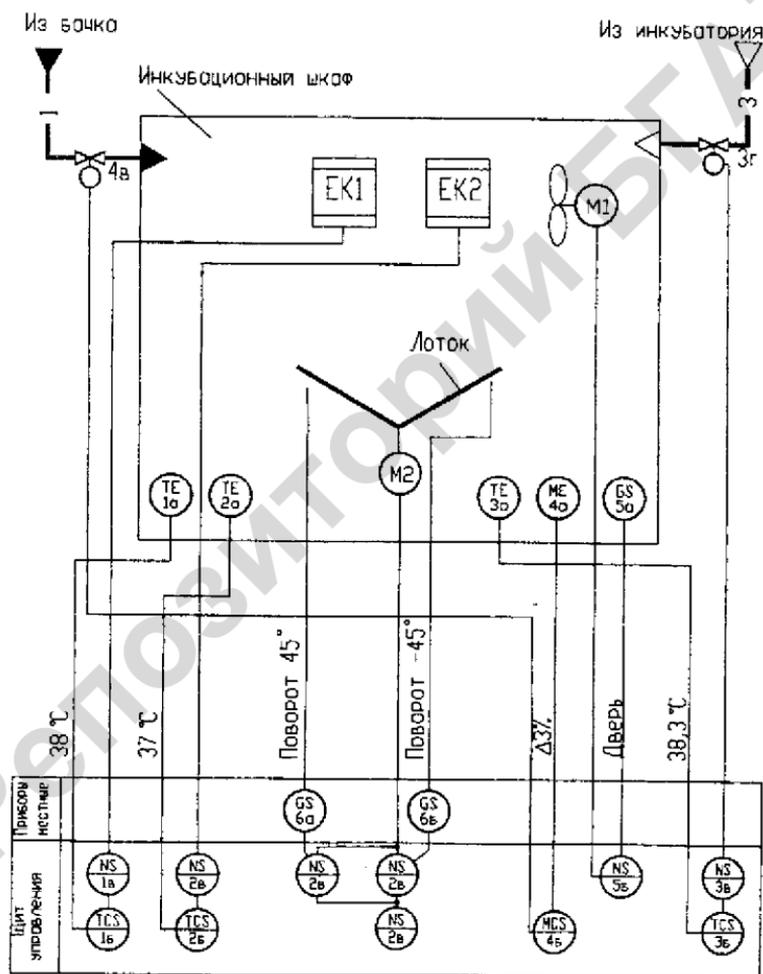


Рис. 3.8 Схема автоматизации инкубатора

3.4 Принципиальные электрические схемы

3.4.1 Назначение и типы принципиальных электрических схем

В современных системах контроля, управления и автоматического регулирования различными технологическими процессами значительное место занимают электрические приборы, аппаратура и устройства. Для изображения взаимной электрической связи приборов и устройств, действия которых обеспечивают решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации технологических процессов, служат электрические схемы.

Принципиальные электрические схемы обычно являются основными и важнейшими техническими материалами проекта, базирующегося на использовании в системах управления электрической аппаратуры. Любое изделие или установка, содержащая взаимодействующие электрические элементы и устройства, обязательно имеют в составе технической документации одну или несколько принципиальных схем.

Принципиальная (полная) схема — это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы установки или изделия.

Элементом схемы называется составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющая самостоятельное функциональное назначение (прибор, магнитный пускатель, трансформатор, ключ управления, резистор и т.д.).

Полные принципиальные электрические схемы по функциональному назначению можно разделить на: управления технологическими процессами, регулирования, защиты, измерения и сигнализации.

Принципиальные схемы управления состоят из силовых цепей или цепи главного тока и из вспомогательных цепей управления и защиты. При всем многообразии принципиальных электрических схем управления технологическими процессами и степени их сложности они представляют определенным образом составленное сочетание отдельных, достаточно элементарных электрических цепей и типовых функциональных узлов, в заданной последовательности выполняющих ряд стандартных операций. Под стандартными операциями следует понимать передачу командных сигналов к органам управления или сигналов измерения к исполнительным органам, усиление или размножение командных сигналов, их сравнение, превращение кратковременных сигналов в длительные и, наоборот, блокировку сигналов и т.д.

Принципиальная электрическая схема управления разрабатывается в соответствии с алгоритмом управления технологического процесса и дополняется типовыми принципиальными схемами регулирования, защиты и сигнализации.

Выбор типовых схем осуществляется в соответствии с общим комплексом вопросов, связанных с контролем, управлением и регулированием данного объекта, определенным в начальной стадии проектирования, и обеспечи-

вающим надежность, простоту, удобство оперативной работы, эксплуатации и четкость действия схемы при аварийных режимах.

Полная принципиальная схема служит основанием для разработки монтажных таблиц щитов и пультов, схем соединений внешних проводок и других документов проекта.

Принципиальными схемами пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте.

3.4.2 Основные требования к оформлению принципиальных электрических схем управления, регулирования контроля и сигнализации

Принципиальные электрические схемы управления, регулирования, измерения, сигнализации, питания, входящие в состав проектной документации систем автоматизации, выполняют в соответствии с требованиями общих госстандартов [37, 38, 39] по правилам выполнения схем за исключением основной надписи, которую оформляют так же, как и основные надписи других чертежей, входящих в состав проекта автоматизации [43, 44].

На чертежах принципиальной электрической схемы системы автоматизации в общем случае должны изображаться:

- все электрические элементы, необходимые для управления, регулирования, измерения, сигнализации, электропитания;
- контакты аппаратов данной схемы, занятые в других схемах, и контакты аппаратов других схем;
- диаграммы и таблицы включений, контактов переключателей, программных устройств, конечных и путевых выключателей, циклограммы работы аппаратуры;
- поясняющая технологическая схема, схема блокировочных зависимостей работы оборудования (при необходимости);
- необходимые пояснения и примечания;
- перечень элементов.

Принципиальные электрические схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия не учитывают. Графическое обозначение элементов и соединяющие их линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При

разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

Возможны случаи, когда возникает необходимость в применении каких-либо графических изображений, не предусмотренных стандартом. Тогда допускается применять нестандартизированные графические обозначения, приводя при этом необходимые пояснения на схеме.

При выполнении схем рекомендуется пользоваться строчным способом. При этом условные графические обозначения элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи — рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки. Таким образом, схема в целом должна читаться слева направо и сверху вниз. При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами.

Устройства, имеющие самостоятельную принципиальную схему (например, кнопочный пост, блоки Б5300 и т.д.), выполняют на схемах в виде фигуры сплошной линией, равной по толщине линии связи (смотри примеры на чертежах).

Функциональную группу или устройство, не имеющее самостоятельной принципиальной схемы, выполняют в виде фигуры из контурных штрихпунктирных линий, равных по толщине линии связи. Таким же образом допускается разграничивать элементы, расположенные в разных помещениях с указанием наименования помещения.

Расстояние между двумя соседними линиями графического изображения должно быть не менее 1 мм, между соседними параллельными линиями связи — 3 мм, между отдельными условными графическими обозначениями — 2 мм.

Графические обозначения на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи. Условные графические обозначения элементов изображают на схеме в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах, или повернутыми на угол, кратный 90° , если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. Допускается условное графическое обозначение поворачивать на угол, кратный 45° , или изображать зеркально повернутыми, если только при этом не нарушится смысл или удобочитаемость обозначения.

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий от 0,3 до 0,4 мм. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений (в отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линии связи, длину которых следует по возможности ограничивать). Линии связи, переходящие с одного листа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелки. Рядом с обрывом линии связи должно быть указано обозначение или наименование, присвоенное этой линии, и в круглых скобках номер листа схемы и зоны, при ее наличии, при выполнении схемы на нескольких листах, например, лист 5 зона 6 (Л5. 6), или

обозначение документа, на который переходит линия связи, при выполнении схем самостоятельными документами. Линии связи в пределах одного листа, если они затрудняют чтение схемы, допускается обрывать. Обрывы линий связи заканчивают стрелками. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий и необходимые характеристики цепей (полярность, потенциал).

Существуют несколько групп обозначений на чертеже принципиальной электрической схемы (рис. 3.9):

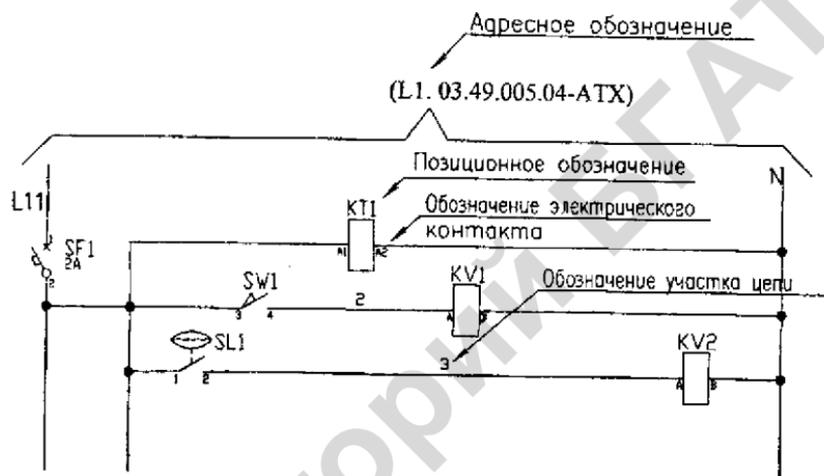


Рис. 3.9 Группы обозначений на чертеже принципиальной электрической схемы

1. Позиционное обозначение в общем случае состоит из 3-х частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию. Первые два являются обязательной частью обозначения и должны быть присвоены всем элементам и устройствам. Указание функции не является обязательным. В первой части записывают одну или несколько букв для указания вида элемента (приложение 1 ГОСТ 2.710–81), во второй части записывают одну или несколько цифр для указания номера элемента, и в третьей (при необходимости) — одну или несколько букв функции элемента (приложение 2 ГОСТ 2.710–81).

Позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах изделия. Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. При необходимости допускается изменять последовательность присвоения порядковых номеров в зависимости от размещения элементов в изделии, направления прохождения сигналов или функциональной последовательности процесса. Позиционные обо-

значения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов и устройств с правой стороны или над ними. Если в состав изделия входит несколько одинаковых устройств, то позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах этих устройств. Допускается в качестве кода вида применять однобуквенное обозначение, например, когда в схеме магнитного пускателя не содержится реле, то пускатель можно обозначить буквой К (хотя он имеет и двухбуквенный код КМ).

При разнесенном способе изображения иногда целесообразно отдельно изображенные части элементов соединять линией механической связи, указывая тем самым на принадлежность их к одному элементу.

2. Обозначение электрического контакта. Для обозначения электрического контакта в общем случае используют комбинацию букв и цифр. Обозначение контакта должно повторять маркировку контакта, нанесенную на объекте или указанную в документации этого объекта. Если обозначение контактам присваивают при разработке объекта, то следует обозначить их номерами. Если контакты конструктивно сгруппированы в несколько групп, то допускается обозначать их по группам.

3. Обозначение участков цепей. Обозначение участков цепей в схемах служит для их опознавания, может отражать их функциональное назначение и создает связь между схемой и устройством. При обозначении используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры, выполненные одним размером кегля. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Соединения, проходящие через неразборные, разборные и съемные контактные соединения, обозначают одинаково (допускаются в обоснованных случаях разные обозначения). Последовательность обозначения должна быть, как правило, от ввода (источника питания) к потребителю. Разветвляющиеся цепи обозначают сверху вниз в направлении слева направо. Для удобной ориентации в схемах при обозначении участков цепей допускается оставлять резервные номера или некоторые номера пропусков.

Обозначение цепи переменного тока состоит из обозначения участков цепи фазы и последовательного номера (1-ая фаза — L1, L11, L12, L13 и т.д.; 2-ая фаза — L2, L21, L22, L23 и т.д.; 3-ая фаза — L3, L31, L32, L33 и т.д.). Пример обозначения показан на чертеже.

Допускается, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами А, В, С.

Цепи постоянного тока обозначают нечетными числами на участках положительной полярности и четными числами на участках отрицательной полярности. Входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности «L+» и «L-»; допускается применять только знаки «+» и «-».

Цепи управления, защиты сигнализации обозначают последовательными числами в пределах изделия или установки.

Для обозначения цепей по функциональному признаку может быть рекомендовано для цепей управления, регулирования и измерения использовать группу чисел 1–399, для цепей сигнализации 400–799, для цепей пита-

ния 800—999. Вместо групп цифр функциональная принадлежность цепей принципиальной схемы может быть выражена и условно, принятыми буквами.

На схеме обозначение проставляют около концов или в середине участка цепи: слева от изображения цепи — при вертикальном расположении цепи; над изображением цепи — при горизонтальном расположении цепи.

4. Адресное обозначение в общем случае состоит из трех частей: обозначение документа, с которым сопрягается данный документ; номер листа документа, с которым сопрягается данный лист документа; адрес другой части объекта (или ее изображение), с которой сопрягается данная часть объекта. Все части данного адресного обозначения записывают в указанном порядке и отделяют друг от друга точкой. Адресное обозначение применяется, например, для обозначения разрыва линий связи при переходе с листа на лист.

Пример выполнения принципиальной электрической схемы управления представлен на рис. 3.10 и 3.11.

Данные об элементах принципиальной электрической схемы должны быть записаны в перечень элементов, который помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа и оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз.

В графе «Позиционные обозначения» указывают позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп; в графе «Наименование» — для элемента (устройства) — наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (ГОСТ, ОСТ, ТУ), для функциональной группы — наименование; в графе «Примечание» — рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Элементы в перечень записывают группами в *алфавитном порядке буквенно-позиционных обозначений*, а в группах по порядку номеров.

Запись элементов, входящих в каждое устройство (функциональную группу), начинают с наименования устройства или функциональной группы, которое записывают в графе «Наименование» и подчеркивают. Ниже наименования устройства (функциональной группы) должна быть оставлена одна свободная строка, выше — не менее одной свободной строки.

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают, как правило, над основной надписью.

Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм.

Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

Пример выполнения перечня элементов к схеме, приведенной на рис. 3.10 и 3.11, дан на рис. 3.12 и 3.13.

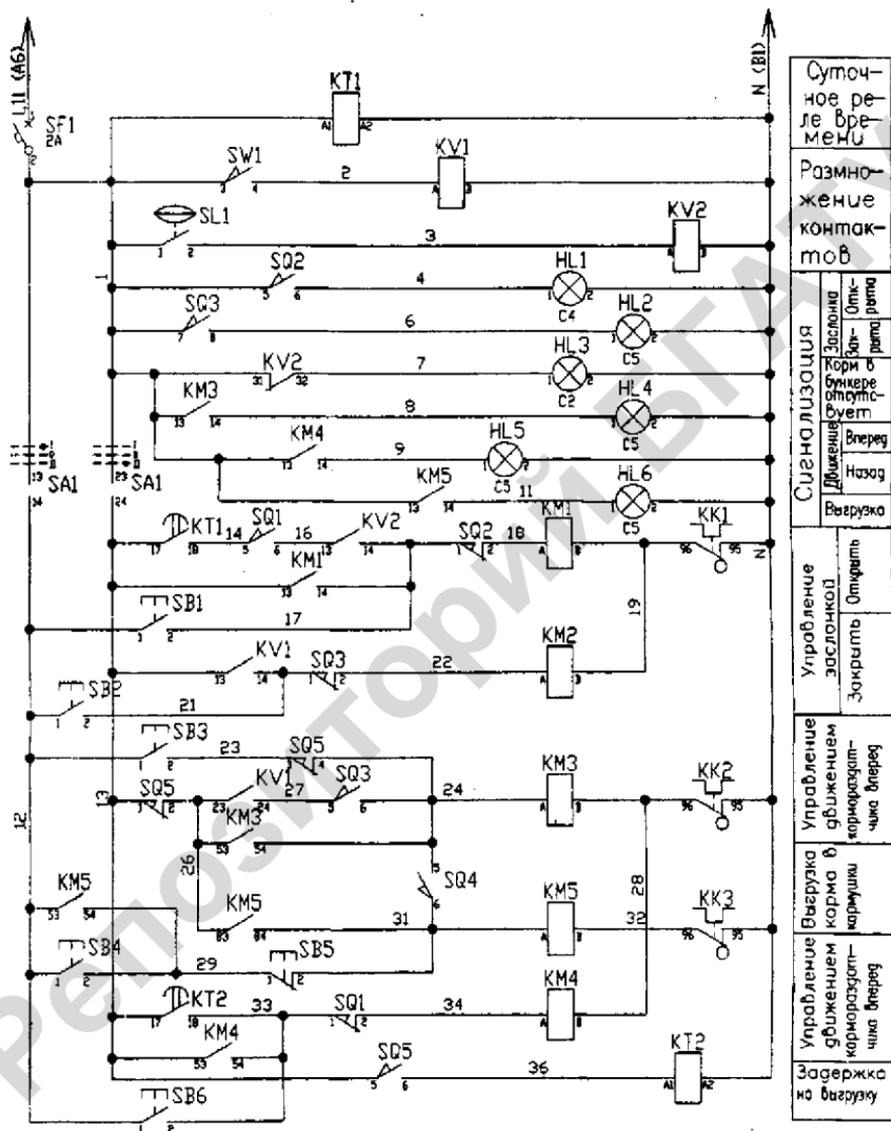


Рис. 3.11 Принципиальная электрическая схема управления кормораздатчиком (продолжение)

Поз. обозначение	Наименование	Код	Примечание
HL1	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 11. В-Ж-2-220, желтая ЕНСК433137.011 ТУ	1	
HL2,HL4, HL5,HL6	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 11. В-Л-2-220, зеленая ЕНСК433137.011 ТУ	4	
HL3	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-К-2-220, красная ЕНСК433137.014 ТУ	1	
КК1	Реле тепловое РТТ-111УХЛ4, 1.6 А ТУ16-647.024-85	1	
КК2	Реле тепловое РТТ-111УХЛ4, 2.5 А ТУ16-647.024-85	1	
КК3	Реле тепловое РТТ-111УХЛ4, 3.2 А ТУ16-647.024-85	1	
КМ1...КМ5	Пускатель магнитный ПМЛ-110004А, 50 Гц, 220 В ТУ16-664.001-83	5	
КМ3,КМ4	Приставка контактная ПКЛ-1104А ТУ16-523.554-82	2	
КМ5	Приставка контактная ПКЛ-2204А ТУ16-523.554-82	1	
КТ1	Реле времени 2РВМ	1	
КТ2	Реле времени ВЛ-73 УХЛ4, 220 В, 50 Гц, 0.199 с ТУ 16-91 ИЕУВ.647642.028 ТУ	1	
КВ1,КВ2	Реле промежуточное РПЛ-12204А, 220 В, 50 Гц ТУ16-523.554-82	2	
М1	Двигатель АИР71В4У3, 0.75 кВт, 380 В, 50 Гц ИМ3081, 1500 Об/мин ТУ 16-97. БВИЕ 525222.001 ТУ	1	
М2	Двигатель АИР71В2У3, 1.1 кВт, 380 В, 50 Гц ИМ3081, 3000 Об/мин ТУ 16-97. БВИЕ 525222.001 ТУ	1	

Рис. 3.12 Перечень элементов к принципиальной электрической схеме примера

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
M3	Двигатель АИР80А2У3, 1,5 кВт, 380 В, 50 Гц IM30B1, 2850 об/мин ТУ РБ-05755950-420-93	1	
QF1	Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц 16А 12In ТУ16-522.148-80	1	
QF2	Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц 1,6А 12In ТУ16-522.148-80	1	
QF3	Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц 2,5А 12In ТУ16-522.148-80	1	
QF4	Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20У3-А 380В, 50Гц 3,15А 12In ТУ16-522.148-80	1	
SA1	Кнопка поворотная NEF30-Pdp, I-O-II (stable/stable/return), синий, XY, XY Poland, Sasnowiec, SN Promet, Elementy sterownicze i sygnalizacyjne, 1999	1	
SB1, SB4, SB6	Выключатель KEI81У3, исп. 1, синий ТУ16-642.015-84	5	
SB5	Выключатель KEI81УХЛ3, исп. 5, красный ТУ16-642.015-84	1	
SF1	Выключатель ЭльФ-102-1/02, 220/380 В, 50 Гц, 2 А, С ГОСТ 50345-92	1	
SL1	Блок сигнализации уровня мембранный БСУ-2 У2 ТУ 1696 ИЖТП.656111.116 ТУ	1	
SQ1, SQ4, SQ5	Выключатель ВП19М21Б412-00У2.16, толкатель, фронтальный способ крепления ТУ16-526.516-83	5	
SQ2, SQ3	Выключатель ВП19М21Б421-67У2.16, толкатель с роликом, базовый способ крепления ТУ16-526.516-83	2	
SW1	Весовой индикатор CI-2001A REP. OF KOREA, CAS CORPARATION, Catalogue WE WEIGH THE WORD®2000	1	

Рис. 3.13 Продолжение перечня элементов

3.4.3 Разработка полной принципиальной схемы управления, защиты, контроля и сигнализации

Полная принципиальная схема управления, защиты, контроля и сигнализации разрабатывается в соответствии с требованиями к схеме САУ ТП, которые определяются в начальной стадии проектирования.

На этом этапе определяются режимы работы оборудования (автоматический, ручной, наладочный) и способ функционирования оборудования (исключающий одновременное управление в нескольких режимах), способы защиты технологического процесса и оборудования, виды и объем сигнализации.

При разработке систем управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства следует учитывать тот фактор, что оборудование ряда технологических процессов должно работать в режиме реального времени. К таким процессам относятся освещение в птичнике и досветка растений, кормление, доение и температурный режим в помещении и т.д.

Включение системы может обеспечить оператор с помощью тумблера или переключателя кнопочной станции.

Для функционирования САУ ТП без участия оператора используются программные устройства многосуточного действия типа УПУС, ПРУС (для обеспечения светового режима в птичнике) и устройства с суточным циклом работы типа 2РВМ, которое представляет собой часовой механизм, программное устройство которого делает один оборот в 24 часа. На программном диске 2РВМ оператором устанавливаются штифты, которые в заданное время замыкают и размыкают контакты. На диске можно установить две временные программы.

При использовании 2РВМ для пуска систем управления следует учитывать то факт, что конструкция устройства не позволяет устанавливать время замыкания контакта по одной программе менее 30-ти минут, а по другой — менее 40 минут. Одновременное использование двух контактов, при последовательном их включении, позволяет сократить время между включением и выключением системы до 5-ти или 10-ти минут.

Если цикл процесса длится меньше уставки программного реле, может произойти повторное включение системы.

Например, в случае раздачи корма мобильным кормораздатчиком при возврате его в исходное состояние может произойти повторное открытие заслонки на загрузку при наличии корма в бункере.

В таких случаях включение контакта программного устройства 2РВМ следует производить по схеме, приведенной на рис. 3.14.

Время подачи импульса на схему управления равно величине уставки реле времени КТ2.

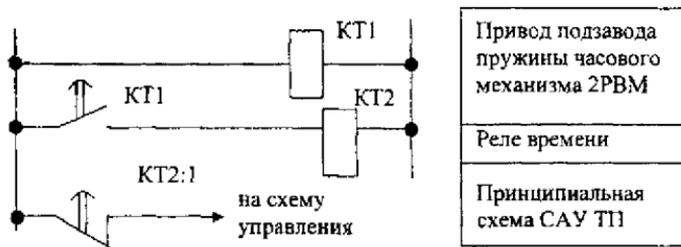


Рис. 3.14 Включение контакта программного устройства

Переключение режимов работы оборудования. В соответствии с техническим заданием на проектирование системы автоматического управления технологическим процессом (объектом управления) могут быть заданы кроме автоматического ручной и наладочный режимы работы, при этом, исключается возможность одновременного управления в нескольких режимах.

Принципиальная схема управления таким процессом строится в соответствии со схемой, изображенной на рис. 3.15.

Переключение режимов работы оборудования производится переключателем SA. В автоматическом режиме напряжение подается на шину 1 и система работает в соответствии с алгоритмом. В ручном режиме напряжение подается на шину 2 и управление обеспечивается вручную с помощью кнопочных блоков. Очередность включения агрегатов определяется технологическими условиями. На схеме (рис. 3.15) подача напряжения на катушку магнитного пускателя KM2 возможна после включения KM1 и замыкания контакта KM1 в цепи кнопочного блока SB4, SB5. Кнопочные блоки ручного управления устанавливаются на щите управления.

При выполнении наладочных и ремонтных работ в отдельных случаях возникает необходимость кратковременного включения исполнительных устройств на месте их установки. На катушку магнитных пускателей KM1 и KM2 в режиме наладки напряжение подается с шины 3 кнопками SB5 и SB6, установленными по месту.

Шинная организация связи может вызвать дополнительные цепи по контактным схемам исполнительных механизмов и шине 1, что вызывает одновременное срабатывание двух и более исполнительных механизмов при подаче управляющего сигнала на один из них в ручном или наладочном режиме. Разрыв дополнительных цепей можно обеспечить размыкающими контактами KV1 и KV2 реле, подключаемых к шинам ручного и наладочного режимов схемы.

Автоматическая защита представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс. Автоматическая защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Система автоматической защиты (САЗ) динамическая, она преобразует вы-

ходную величину объекта защиты в сигнал, сравнивает его с предельно допустимым значением и, в случае превышения, прекращает подачу энергии к объекту. Исполнительным элементом САЗ является контакт, который используется в принципиальной схеме защиты.

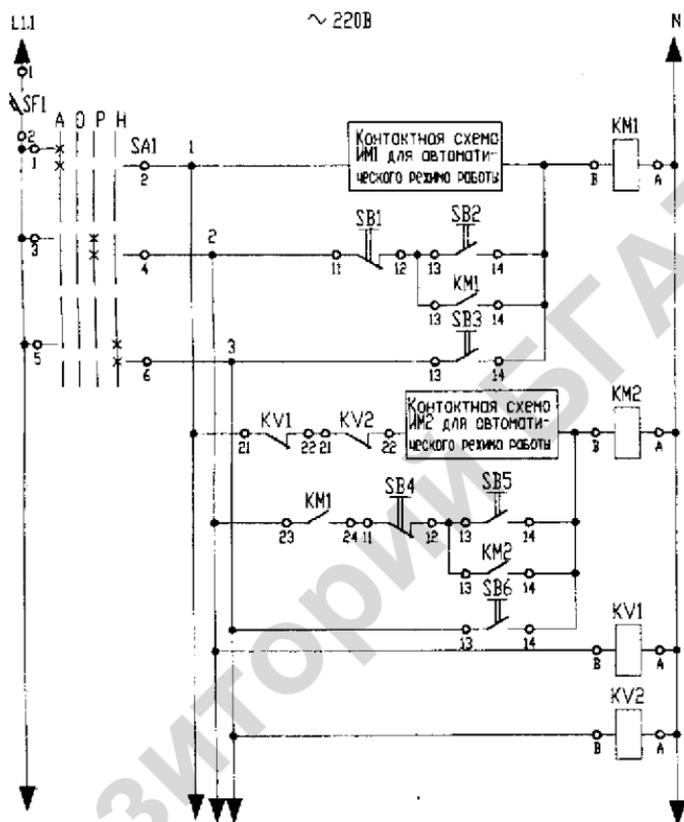


Рис. 3.15 Структура ПЭС для работы в нескольких режимах

На рис. 3.16 приведена схема защиты объекта управления, параметры которого контролируются датчиками SZ1-SZ3. Пуск системы производится контактами SB или КТ, которые затем блокируются контактом реле KV. В нормальных режимах работы объекта контакты датчиков SZ1-SZ3 замкнуты. При возникновении аварийного режима соответствующий контакт датчика размыкается, реле KV обесточивается и управление прекращается. Контакт сработавшего датчика переключается и, при этом, образуется электрическая цепь в сигнальной лампе аварийного табло. Принципиальная схема может быть использована, если после прекращения производственного процесса остальные датчики не изменяют своего состояния, в противном случае следует применять принципиальную схему защиты и сигнализации изображенную на рис. 3.18.

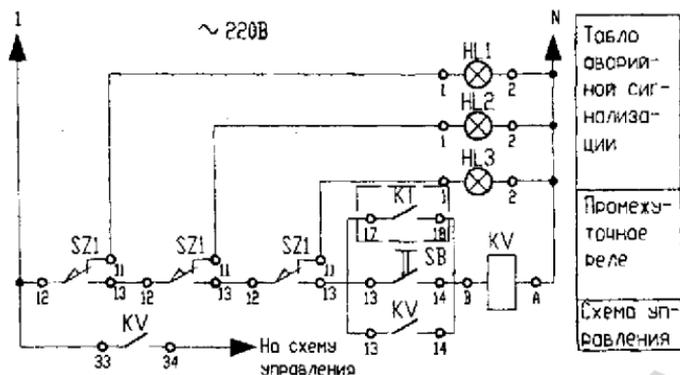


Рис. 3.16 ПЭС защиты объекта управления

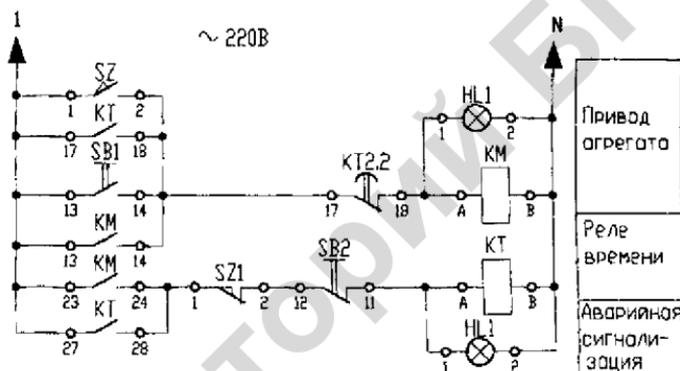


Рис. 3.17 ПЭС защиты агрегата

Приведенная схема используется при автоматизации котлоагрегатов. На рабочий режим котлоагрегат выводится вручную, и контакты соответствующих датчиков приводятся в соответствующее положение. После аварийного отключения котлоагрегата на табло загорается сигнальная лампа датчика, отключающего подачу топлива в котлоагрегат.

На рис. 3.17 представлена принципиальная схема защиты агрегата с выдержкой времени на отключение после возникновения аварийного режима.

Пуск агрегата может производиться кнопкой SB1, контактом программного реле времени KT или технологическим датчиком SZ. При этом, подается напряжение на катушку магнитного пускателя KM исполнительного механизма агрегата. Контакт KM подает напряжение на катушку реле времени KT, которое своим контактом KT блокирует этот контакт. Если за данный период времени агрегат не выйдет на рабочий режим, датчик аварийного режима SZ1 останется замкнутый, а контакт KT2 в цепи катушки магнитного пускателя KM разомкнется и отключит привод агрегата. Реле KT останется на

самоблокировке. Кнопка SB2 предназначена для снятия блокировки после устранения неисправности.

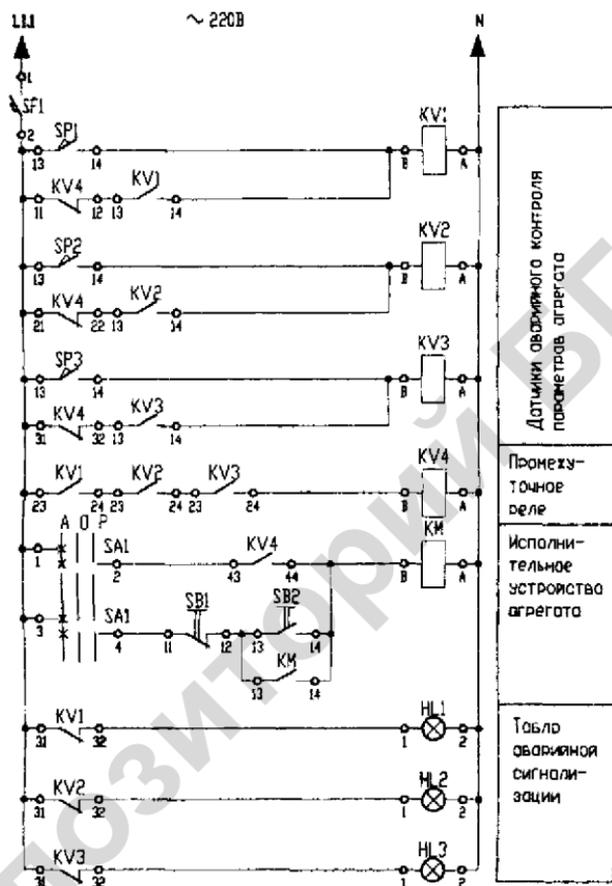


Рис. 3.18 ПЭС защиты и сигнализации

Для управления технологическим процессом в ручном режиме оператору необходима информация о его протекании, об уровне технологических параметров и состоянии механизмов.

При разработке задания на протекание САУ ТП определяют необходимое и достаточное количество информационных точек, от которых будут подаваться команды на световую и звуковую сигнализацию. Для примера в табл. 3.8 приведен вариант информационных точек 1–12 системы сигнализации для задачи корма (технологическая схема задачи приведена ранее).

Информационные точки системы сигнализации

№ п/п	Контролируемый параметр	Элемент схемы, осуществляющий контроль	Обозначение	Вид сигнализации	Примечание
1	Время выдачи корма	Суточное реле времени	Z	Световая и звуковая	Звуковая, с выдержкой времени на подачу сигнала
2	Режим работы	Переключатель режима работы	SA	Световая	Два режима: ручной, автоматический
3	Уровень корма в бункере	Датчик уровня	b ₂	Световая	Ставится дополнительно
4	ЗБ закрыта	Конечный выключатель	b ₅	Световая	—
5	ЗБ открыта	Конечный выключатель	b ₃	Световая	—
6	ЗБ не закрылась или не открылась	Реле времени создающее выдержку	Z ₃	Световая и звуковая	Ставится дополнительно
7	Движение К «вперед»	Контакты магнитного пускателя	X ₃	Световая	—
8	Движение К «назад»	Контакты магнитного пускателя	X ₄	Световая	—
9	ВТ включен	Контакты датчика потока корма	X ₅	Световая	Ставится дополнительно
10	Кормление началось, а корм не выдается	Контакты датчика потока корма и конечного выключателя	X ₃ C	Световая и звуковая	Ставится дополнительно
11	К не остановился	Аварийный конечный выключатель	b ₈	Световая и звуковая	Ставится дополнительно
12	Технологический процесс не завершен	—	Z ₄	Световая и звуковая	Ставится дополнительно

Работая с элементами сигнализации (лампой накаливания, табло, звонком, сиреной и т.п.), оператор должен иметь возможность проверить их исправность. При работе схем сигнализации на переменном токе проверка затруднена, поскольку каждый элемент должен включиться через собственную кнопку «пуск» или через переключатель, создающий замкнутую цепочку на все сигнальные элементы от одной кнопки. При большом количестве контролируемых параметров одним переключателем обойтись невозможно, и схема неоправданно усложняется.

Схема с индивидуальными кнопками апробирования применяется, если число ламп колеблется от двух до пяти (рис. 3.19, а). Схема сигнализации с

централизованной проверкой исправности и центральным переключателем приведена (на рис 3.19, б и в). Использование промежуточного реле KV (рис. 3.19, в) значительно уменьшает число контактов переключателя SA. Схема рис. 3.19, г применяется тогда, когда имеются свободные блок-контакты у исполнительных механизмов.

Задача проверки сигнальных элементов значительно упрощается при питании схем сигнализации от источников постоянного тока. При этом становится возможным применение развязывающих диодов, что значительно упрощает схемы. Схема сигнализации на постоянном токе с разделительными диодами приведена на рис. 3.19, д. Стоит отметить, что применение постоянного тока в цепях управления создает условия для упрощения схем за счет применения развязывающих диодов.

В нашем примере выявлено значительное число контролируемых параметров. При этом принята как световая сигнализация, так и звуковая. Последняя оповещает о предельных и аварийных ситуациях.

В САУ ТП используются следующие типы сигнализации:

- **сигнализация положения**, связанная с исполнительными органами системы управления технологическим процессом (для уменьшения сложности схемы эту сигнализацию выполняют на переменном токе, включив сигнальные лампы параллельно с исполнительными органами);
- **сигнализация положения**, связанная с командными органами, датчиками положения, уровня, потока и т.п.;
- **технологическая сигнализация** о предельных и аварийных состояниях технологического процесса с подачей светового и звукового сигнала;
- **предупреждающая сигнализация** о включении оборудования (рис. 3.20, а) или о ненормальных, но пока еще допустимых значениях контролируемых или регулируемых величин (рис 3.20, б). Появление предупреждающих сигналов указывает обслуживающему персоналу о принятии мер предосторожности или о необходимости принятия мер по устранению возникших неисправностей. В первом случае пуск оборудования осуществляется автоматически с помощью контакта КТ суточного реле времени, во втором — датчиком аварийного состояния объекта SZ. Сигнал с выдержкой времени или подается на объект управления, или снимается. Кнопка SB предназначена для отключения схемы и снятия блокировки.

Разработка отдельных цепочек схем сигнализации. Для сигнализации о том, что заслонка не закрылась или не открылась, применяют реле времени КТ (рис. 3.21), которое включено параллельно КМ (привод заслонки или последнего в технологической цепочке ИМ). Если заслонка не закрылась (открылась) за определенный промежуток времени (технологический процесс не завершен), то конечный выключатель SQ (датчик завершения процесса SY) не разомкнется. Контакт КТ размыкается цепь в катушке исполнительного механизма КМ и подается аварийный сигнал (HL, HA).

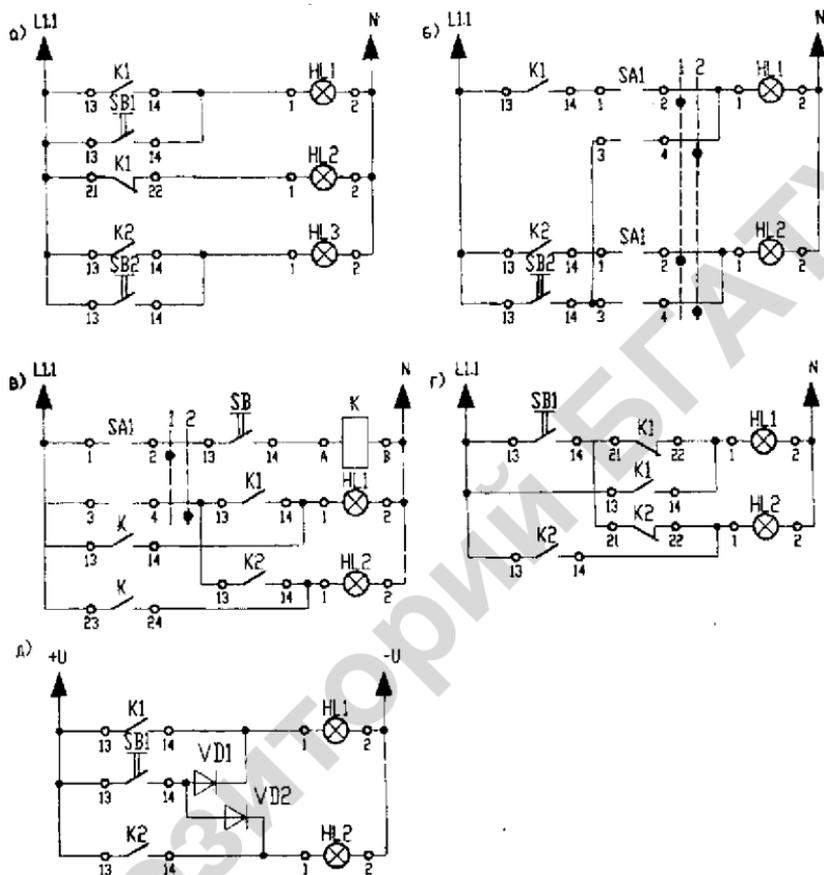


Рис 3.19 Примеры реализации принципиальных схем сигнализации: а – схема с индивидуальными кнопками апробирования; б – схема с централизованной проверкой исправности сигнализации; в – схема с центральным переключателем; г – схема со свободными контактами исполнительных механизмов; д – схема на постоянном токе

К дополнительным аппаратам аварийного отключения относятся следующие устройства. Защита схем управления от токов короткого замыкания, отключающая системы управления при кратковременном исчезновении напряжения на шинах щита управления. Благодаря нулевой защите временное снятие напряжение со схем управления приводит к отключению электромагнитных элементов автоматики, но при этом командные органы (датчики, конечные выключатели и т.п.) и двигательные исполнительные механиз-

схеме возможно возникновение аварийных ситуаций из-за повторного включения механизмов. Чтобы избежать этого, в схемах предусматривается реле напряжения (рис. 3.20, а), отключающее питание от схемы управления при описанном уменьшении напряжения на шинах щита. При наличии дистанционного ручного или автоматического управления процессом оператор выполняет функцию надзора за правильностью работы оборудования обхода и осматривая его. При обнаружении неисправности, отклонении от заданных параметров или при возникновении аварийной ситуации оператор должен иметь возможность быстро отключить оборудование, обесточив схему управления независимо от режима ее работы. Для этого в производственном помещении в доступных местах устанавливается несколько кнопок аварийного отключения схемы, контакты которых включаются, как правило, в цепь управления реле напряжения (нулевая защита).

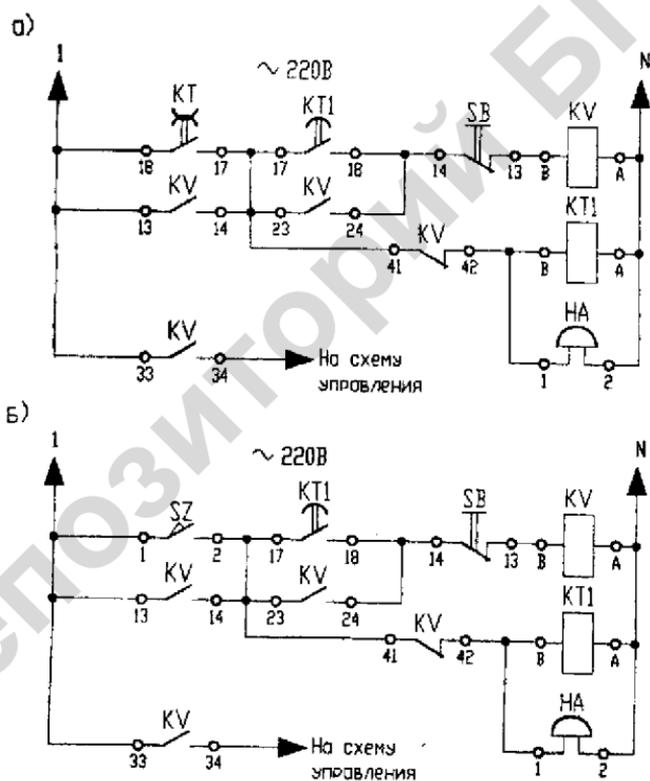


Рис. 3.20 Параметры ПЭС предупредительных сигналов

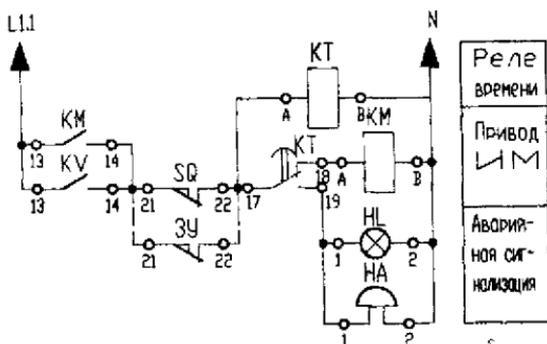


Рис. 3.21 Использование реле времени в схемах сигнализации

Блокировка цепей катушек реверсивного пускателя. Чтобы застраховаться от одновременного включения обеих катушек реверсивного магнитного пускателя, приводящему к короткому замыканию, в цепь включения одной катушки подсоединяют размыкающие контакты другой катушки. Это делает невозможным ее включение.

Есть и другие способы электрической и механической блокировки. Однако первый — наиболее универсальный, выполняющий свою функцию при любых режимах работы.

3.4.4 Принципиальные электрические схемы регулятора

Принципиальные электрические схемы регуляторов содержат три основных элемента: датчик, регулирующий прибор, исполнительный механизм и, по существу, являются унифицированными по типу регулятора.

Рассмотрим структуру принципиальных электрических схем систем автоматического управления четырех основных типов регуляторов: двухпозиционного, трехпозиционного, непрерывного действия и регулятора с частотно-регулируемым приводом.

На рис. 3.22 представлена принципиальная электрическая схема двухпозиционного регулятора температуры воздуха в помещении для схемы автоматизации процесса представленной на рис. 3.23.

Универсальность принципиальной электрической схемы, представленной на рис. 3.22, состоит в том, что в ней может быть использован электронный регулирующий прибор любой модели, реализующий двухпозиционный закон регулирования.

При выполнении полной принципиальной электрической схемы регулятора следует только уточнить тип датчика и обозначение контактов на разъеме, которые приводятся в техническом описании и инструкции по эксплуатации прибора.

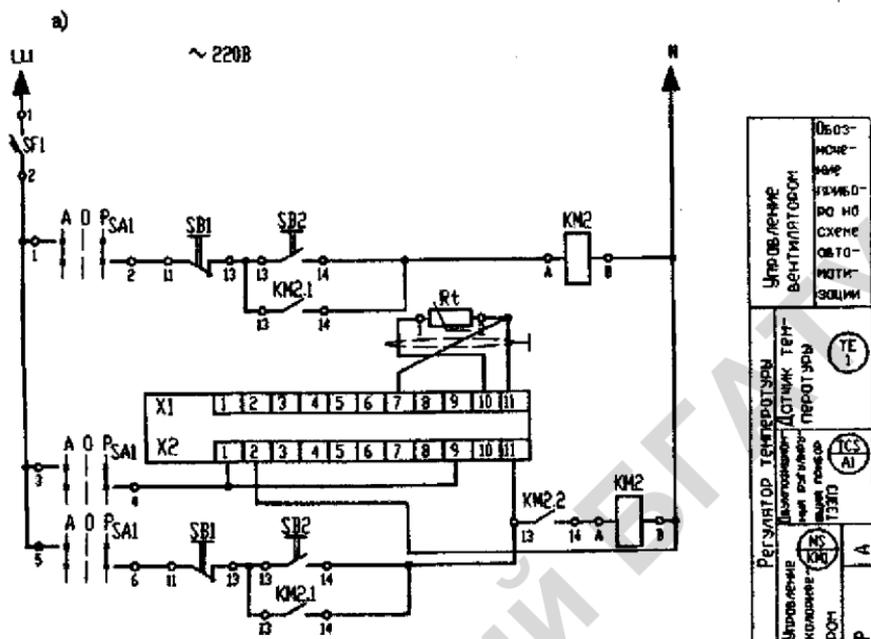


Рис. 3.22 Принципиальная электрическая схема двухпозиционного регулятора температуры (а) и диаграмма срабатывания контактов (б) прибора

Для примера, на рис. 3.24 приведены цепи подключения цифрового регулирующего прибора РП МТ2141.

На рис. 3.24 не все элементы схемы являются обязательными в другой технологической ситуации. Так контакты КМ2.2 введены в схему управления для обеспечения защиты от работы электрокалорифера без обдува его воздухом. При использовании в технологической схеме водяного калорифера контакты КМ2.2 из схемы можно исключить и подключить катушку магнитного пускателя к сети только контактом регулирующего прибора.

Цепи управления электрокалорифера в ручном режиме также вводятся исходя из технологических требований к системе управления.

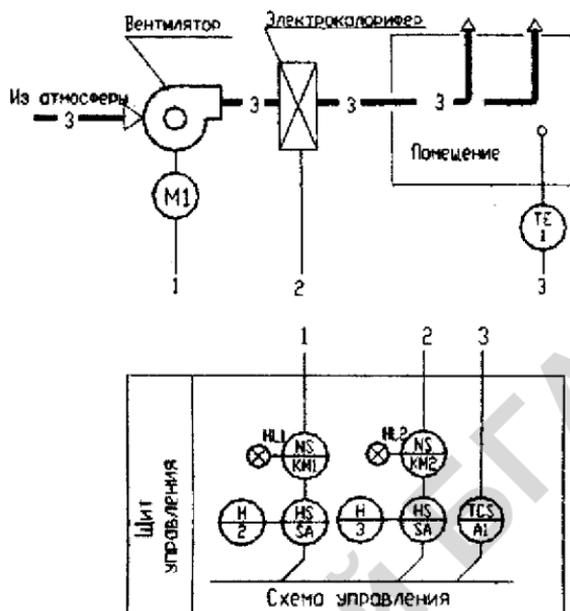


Рис. 3.23 Схема автоматизации температурного режима в помещении

Полная принципиальная электрическая схема регулятора необходима при монтаже и наладке системы управления. В процессе изучения и эксплуатации сложных систем управления целесообразно пользоваться упрощенной принципиальной схемой управления, где показан только контакт исполнительного реле регулирующего прибора (рис. 3.25).

На рис. 3.26 и 3.27 приведены схемы, где используется трехпозиционный регулирующий прибор, который в зависимости от температуры наружного воздуха изменяет воздухообмен в помещении от минимального к максимальному. В трехпозиционных регулирующих приборах используются два исполнительных реле.

В таких случаях, в упрощенных принципиальных схемах управления рядом с обозначением контактов следует указывать, при каких текущих значениях параметра срабатывает контакт (НИЖЕ (Н) или ВЫШЕ (В)).

В регуляторах непрерывного действия, регулирующий прибор сопрягается с однооборотными исполнительными механизмами типа МЭО или др. Регулирующие приборы таких регуляторов на выходе имеют два канала. На одном канале управляющий сигнал появляется при превышении значения параметра от заданного, на другом — при снижении от заданного значения параметра. С помощью этих сигналов производится реверс электропривода исполнительного механизма и соответственно управление регулирующим органом (рис. 3.28).

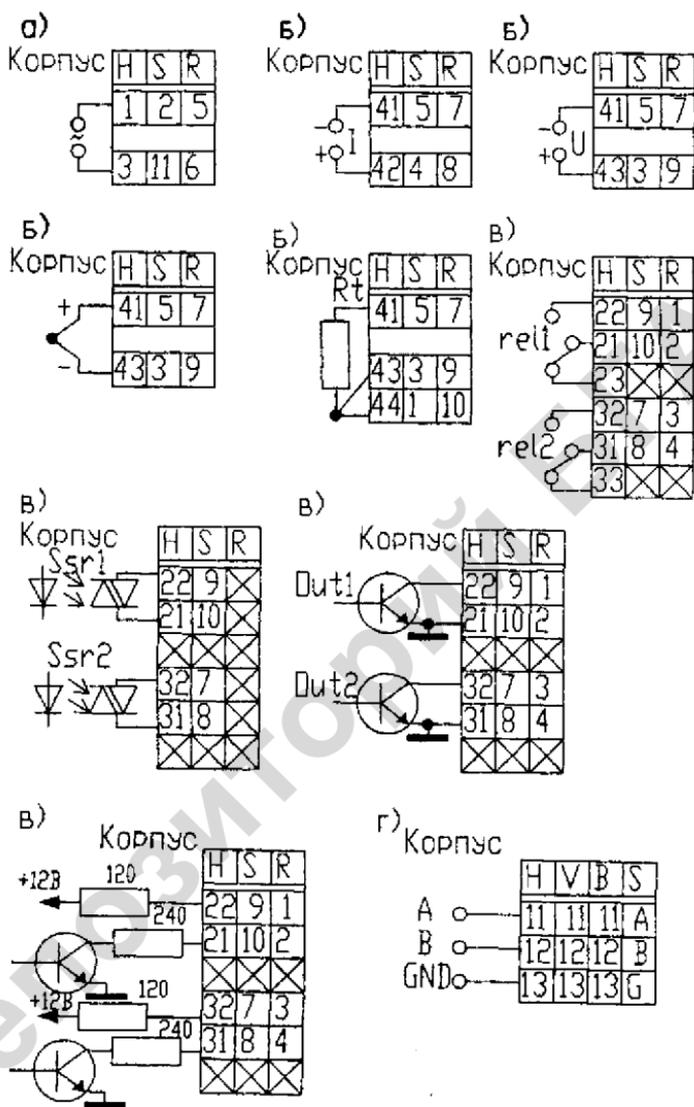


Рис. 3.24 Цели подключения ПИ MT2141: а – питания, б – входного сигнала, в – управления выходов, г – интерфейса RS-485

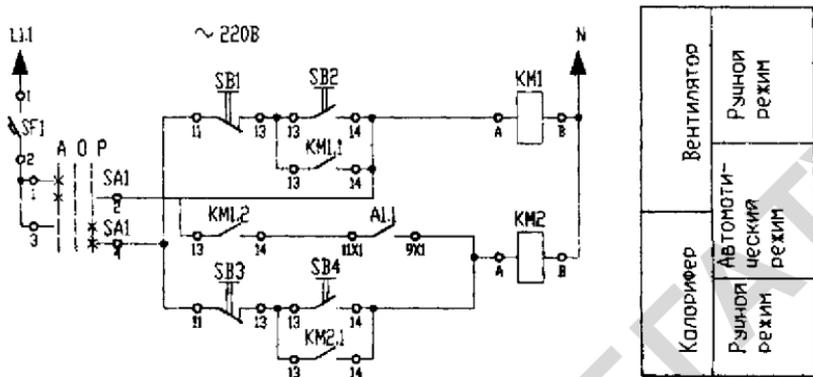


Рис. 3.25 Упрощенная принципиальная электрическая схема регулятора температуры воздуха в помещении

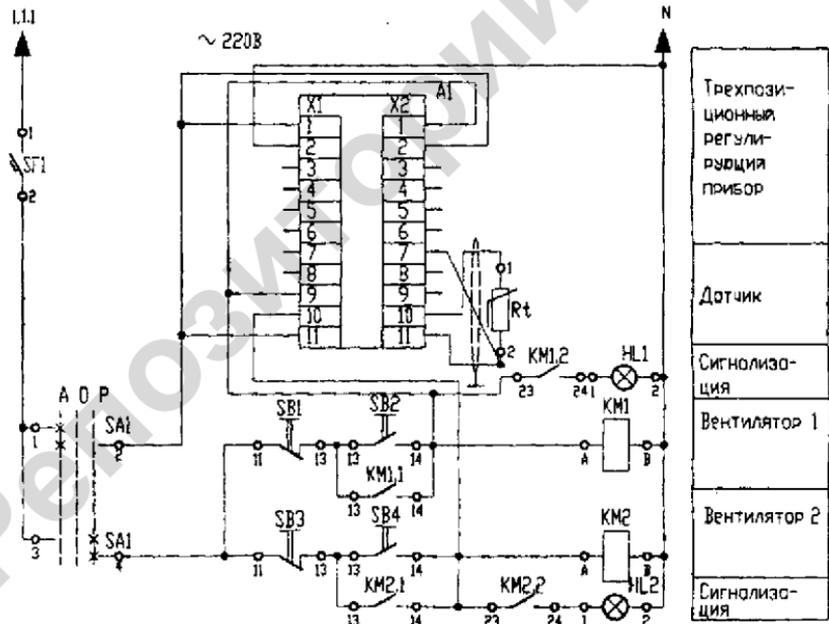


Рис. 3.26 Релейный регулятор воздухообмена по температуре воздуха

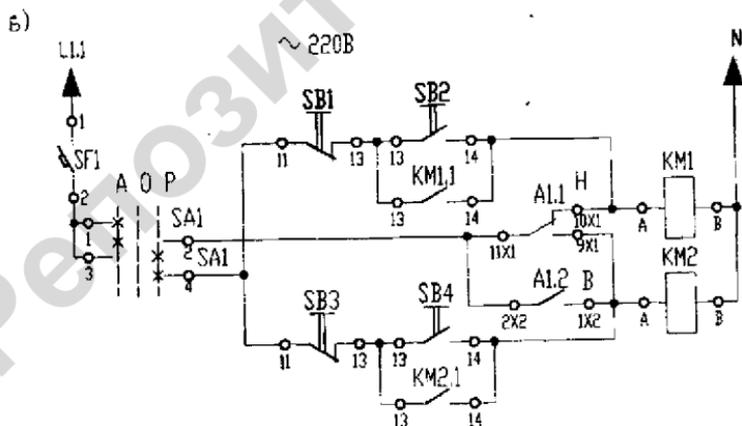
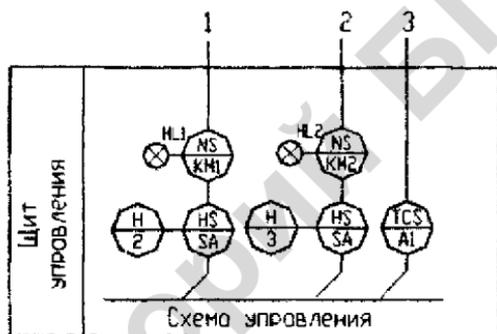
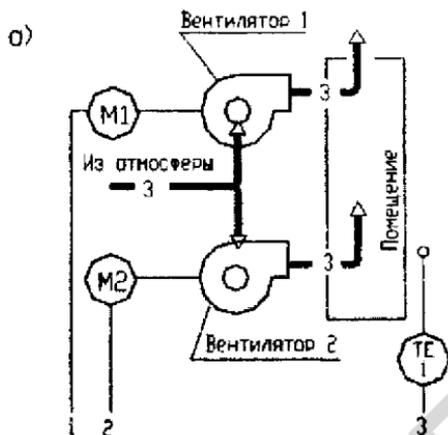


Рис. 3.27 Релейный регулятор воздухообмена по температуре воздуха: а – схема автоматизации; б – упрощенная принципиальная схема управления

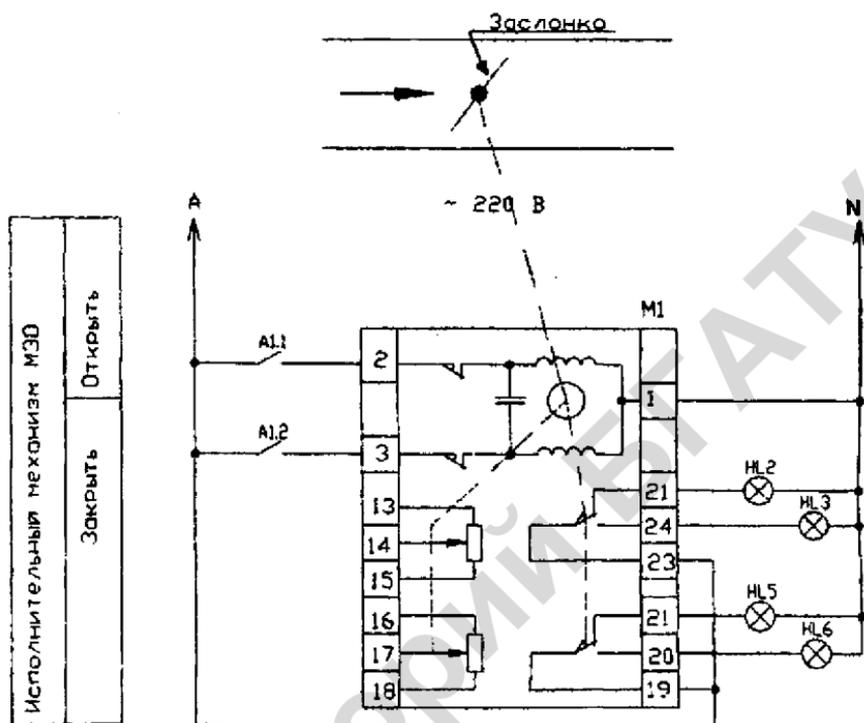


Рис. 3.28 Схема подключения однооборотного исполнительного механизма

На рис. 3.28 изображены цепи сигнализации, управления и механической связи с регулирующим органом однооборотного исполнительного механизма для выяснения его принципа работы.

На принципиальной схеме управления регулятора непрерывного действия (рис. 3.29) эти элементы можно не указывать.

Регуляторы с использованием частотно-регулируемого привода выполнены в одном блоке с преобразователем частоты сети. Схемы подключения регуляторов приводятся в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации прибора, поэтому в методическом пособии не приводятся.

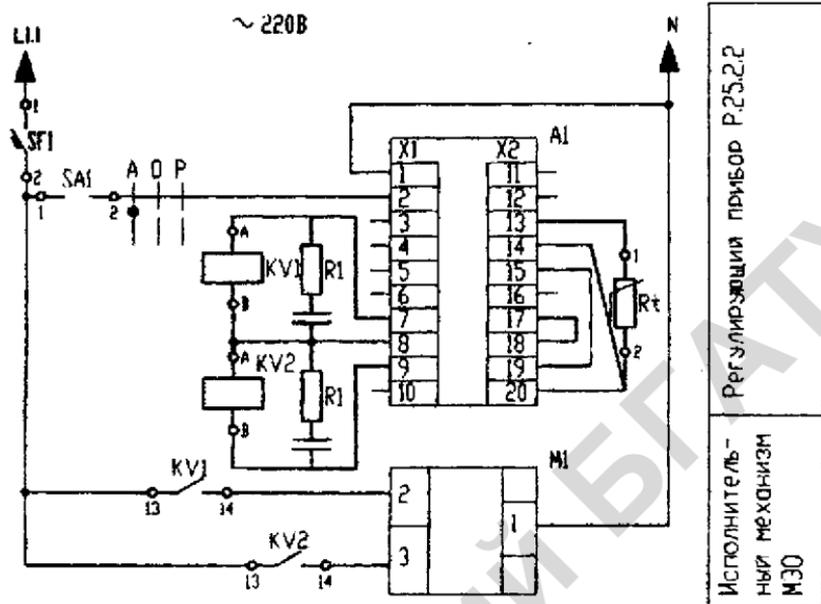


Рис. 3.29 Принципиальная электрическая схема регулятора непрерывного действия

3.5. Основные требования к схемам соединений внешних проводов

Схема соединений внешних проводов — это комбинированная схема, на которой показаны электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводов к приборам и щитам (если это не затруднит чтение схемы).

Схемы соединений выполняют, как правило, отдельно для каждого автоматизируемого блока, монтаж которого осуществляют независимо от других.

Основанием для разработки схем являются:

- схемы автоматизации технологического процесса;
- принципиальные электрические, пневматические, гидравлические схемы;
- таблицы внутренних соединений и подключения проводов щитов и пультов;
- чертежей расположения технологического, сантехнического, энергетического и тому подобного оборудования и трубопроводов с отборными и приемными устройствами.

Схемы соединений и подключения выполняют без соблюдения масштаба на одном или нескольких листах формата не более А1 (594 × 841) по ГОСТ 2.301-68. Действительное пространственное расположение устройств и элементов схем либо не учитывается вообще, либо учитывается приближенно.

Толщина линий, изображающих устройства и элементы схем, в том числе кабели, провода, трубы, должна быть от 0,4 до 1 мм по ГОСТ 2.303–68. На схемах должно быть наименьшее число изломов и пересечений проводок. Расстояние между соседними параллельными линиями проводки, а также между соседними изображениями приборов и средств автоматизации должно быть не менее 3 мм. Маркировку жил кабелей и проводов на схемах соединений и подключения проставляют в соответствии с принципиальными электрическими схемами.

На схеме соединений в общем случае приводят:

1. Первичные приборы и исполнительные механизмы, установленные непосредственно на технологическом оборудовании и коммуникациях.

На схемах соединений сверху поля чертежа (рис. 3.33), а при большой насыщенности схемы приборами сверху и снизу в зеркальном изображении размещают таблицу с поясняющими надписями по периметру согласно ГОСТ 21.408–93. Под таблицей данных (либо под и над таблицей для второго случая) изображают первичные приборы и исполнительные механизмы, ниже — внешние приборы, щиты и другие технические средства.

Разбивку строки таблицы «Наименование параметра и место отбора импульса» на заголовки и подзаголовки выполняют произвольно, группируя приборы либо по параметрам, либо по принадлежности к одному и тому же технологическому оборудованию. В строку «Позиция» вносятся позиции приборов по схеме автоматизации и позиционные обозначения электроаппаратуры, присвоенные ей по принципиальным электрическим схемам. Для элементов систем автоматизации, не имеющих самостоятельной позиции (отборные устройства и т. п.), указывают позицию прибора, к которому они относятся, с предлогом < к >, например: к 1а.

Для приборов, не имеющих номеров электрических внешних выводов (например, преобразователей термоэлектрических, термопреобразователей сопротивления), а также для пневматических исполнительных механизмов применяют графические условные обозначения, принятые для этих приборов на схемах автоматизации по ГОСТ 21.404–85 [43].

Датчики, исполнительные механизмы и другие средства автоматизации с электрическими входами и выходами изображают монтажными символами по заводским инструкциям. При этом внутри символа указывают номера зажимов и подключение к ним жил кабеля или проводов. Маркировку жил наносят вне монтажного символа.

2. Щиты, пульты, комплексы технических средств. Технические средства, для которых на схемах приводят подключения проводок, изображают упрощенно внешними очертаниями или в виде прямоугольников, в которых:

- вводные элементы (гермовводы, сальники) — по контуру прямоугольника показывают условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.702 (рис. 3.30);
- входные и выходные элементы показывают в виде кружков (для круглых штепсельных разъемов) или прямоугольников (например, для сборок и колодок зажимов и др. элементов соответствующей формы).

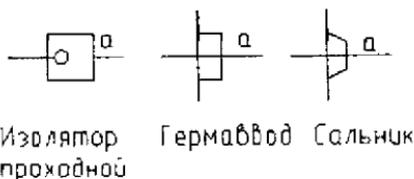


Рис. 3.30 Вводные элементы (а — линия, изображающая провод)

Щиты, пульты, стивы изображают в виде прямоугольников в средней части чертежа (при расположении таблицы с поясняющими надписями сверху и снизу поля чертежа) или в нижней части поля чертежа (при расположении таблицы только сверху). Внутри прямоугольника указывается наименование щита, пульта, стива, а под ним (в скобках) — обозначение таблицы подключения данного пульта, щита, стива.

Размеры прямоугольников, обозначающих щиты, пульты, стивы, следует принимать, исходя из размещаемой в них информации.

Если полный объем внешних проводок для данного щита, пульта не помещается на одном листе или документе, то на данном листе или документе делают обрыв щита, пульта и продолжение их с соответствующими проводками изображают на следующем листе или документе со встречным указанием в месте обрыва листа или документа, на котором изображено продолжение этого щита.

3. Внештитуемые приборы, групповая установка приборов. Внештитуемые приборы (датчики, электроконтактные манометры и т. п.) и групповые установки приборов располагают на поле чертежа между таблицей с поясняющими надписями и прямоугольниками, изображающими щиты, пульты, стивы.

Обозначения (внештитуемых приборов), порядковый номер и тип (соединительных коробок) указывают над полкой линий-выносок, а под полкой — обозначение и номер листа установки (рис. 3.35).

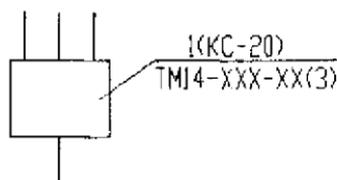


Рис. 3.31 Обозначение внештитуемых приборов

Протяжные коробки (когда не приводят подключения) показывают в виде прямоугольников, внутри которых штриховыми линиями показывают разветвления жгутов проводов (рис. 3.32).

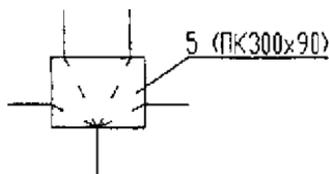


Рис. 3.32 Изображение протяжных коробов

4. Внешние электрические и трубные проводки. Первичные и внешние приборы, групповые установки приборов, щиты, пульты, стивы соединяют между собой электрическими и пневматическими кабелями, проводами и жгутами проводов, а также трубопроводками (импульсными, командными, питающими и др.), которые показывают на схемах отдельными сплошными основными линиями.

Для соединения и разветвления электрических кабелей и пневмокабелей на схемах соединений показывают соответственно электрические соединительные коробки, а при прокладке проводов в защитных трубах — протяжные коробки. Протяжные коробки, необходимые только для протяжки проводов в магистральные защитные трубы, на схемах не показывают. Их выбирают монтажные организации при монтаже. При применении в проекте автоматизации большого числа электрических соединительных коробок рекомендуют разрабатывать для них отдельным документом схему подключения внешних проводок. В этом случае соединительные коробки на схеме соединений показывают упрощенно в виде прямоугольника, без сборок зажимов и без сальников.

Для каждой внешней электрической проводки над изображающей ее линией приводят ее техническую характеристику:

- для проводов — марку, сечение и при необходимости расцветку. При прокладке в одной защитной трубе нескольких проводок перед маркой проставляют их количество, например, 4АПВ 2 × 2,5 м;
- для кабелей — марку, количество и сечение жил и при необходимости количество занятых жил, которые указывают в прямоугольнике, помещаемом справа от обозначения данного кабеля.
- для металлорукава — тип;
- для трубы — диаметр, толщину стенки. Длину указывают под линией проводки. При наличии на схеме нескольких кабелей, труб одной марки, одного сортамента, а также запорной арматуры одного типа и если они расположены рядом, их марку и тип допускается указывать на общей выносной линии.

Контрольным кабелям и защитным трубам, в которых проложены жгуты проводов, присваивают порядковые номера. Коробам, в которых проложены жгуты проводов, присваивают порядковые номера с добавлением буквы К.

Трубным проводкам (импульсным, командным, питающим, дренажным, вспомогательным и т. д., в том числе пневмокабелям) присваивают порядковые номера с добавлением перед ними индекса 0: 01, 02, 03 и т. д.

Номера кабелей, жгутов проводов, трубопроводов проставляют в окружностях, помещаемых в разрывах изображений проволок. Диаметры окружностей следует принимать исходя из размеров записываемых в них номеров. Но эти окружности на одном листе схемы должны быть одного диаметра. Порядковые номера проводкам присваивают на схеме соединений сверху вниз (при расположении щитов, пультов снизу поля чертежа), снизу вверх (при расположении щитов, пультов в средней части чертежа) и слева направо. Нумерация внешних проводов должна быть сквозной в пределах документа.

При выполнении схем на нескольких листах или отдельными документами кабели, провода, жгуты проводов, трубы, которые должны переходить с одного листа на другой, обрывают. В месте обрыва указывают обозначение, присвоенное этой проводке (номер кабеля, провода, трубы), и в скобках — номер листа (при выполнении схемы на нескольких листах) или обозначение документа (при выполнении схем самостоятельными документами). На последующем листе или документе показывают продолжение проводки со ссылкой на предыдущий и (или) последующий листы или документ.

5. Защитное зануление систем автоматизации. Защитное зануление систем автоматизации выполняют в соответствии с требованиями гл. 1.7 ПУЭ-87.

Таблица 3.10

Условные графические обозначения защитного зануления

Наименование	Обозначение
Защитный проводник, присоединенный к корпусу электрооборудования.	
Жила кабеля или провода, используемая в качестве нулевого защитного проводника и присоединяемая к корпусу электрооборудования.	
Защитный проводник электрооборудования, присоединяемый к броне, оболочке кабеля или защитной трубе.	

Жилам кабелей и проводов, используемых в качестве нулевых защитных проводников, присваивают цифровое обозначение с добавлением буквы «N» (например 801N).

6. Технические требования к схеме. Технические требования к схеме в общем случае должны содержать:

- ссылки на схемы автоматизации, на которых указаны позиционные обозначения приборов;
- пояснения по нумерации кабелей, проводов, труб, коробов (при необходимости);
- указания по защитному заземлению и занулению электроустановок.

7. Перечень элементов. В перечень элементов включают:

- запорную арматуру;
- соединительные и протяжные коробки;
- кабели, провода, пневмокабели;
- материалы для защитного заземления и зануления оборудования и проводов.

В необходимых случаях схемы соединений могут содержать дополнительно таблицу нестандартизированных условных обозначений и таблицу применяемости.

В качестве примера рассмотрим схему соединений внешних проводов для варианта управления раздачи корма мобильным кормораздатчиком (рис. 3.37), схема автоматизации которого представлена на рис. 3.7. Принципиальную электрическую схему можно найти на рис. 3.10 и 3.11. Согласно этим документам можно определить список внешитовых приборов и состав щита управления. Данные по аппаратуре возьмем согласно перечню элементов принципиальной электрической схемы (рис. 3.12, 3.13), маркировку проводников, подключаемых к внешитовым приборам и аппаратам, согласно принципиальной электрической схеме. Рассмотрим состав внешитовых приборов и аппаратуры:

- конечные выключатели, ограничивающие положения заслонки и кормораздатчика (обозначение — GS; номер позиции — 1а и 1б, 4а, 4б и 5, подключаемых проводов: у 1а и 5 — два, у 1б — шесть, у 4а — четыре, у 4б — пять; запись в таблице данных — «положение заслонки: открыто и закрыто», «Исходное, конечное положение кормораздатчика» и «Начало кормушек»; данные проводки — провод ПВЗ, проложенный в металлорукаве РЗ-Ц-Х-6 для 1а и 1б и кабель КВВГ);
- датчики уровня и веса (обозначение — LS и WS, номер позиции — 3 и 6, подключаемых проводов — два, запись в таблице данных — соответствует характеристике датчика, данные проводки — провод ПВЗ);
- электродвигатели перемещения заслонки, кормораздатчика и выгрузного шнека (обозначение — M1, M2 и M3, номер позиции — M1, M2, M3, подключаемых проводов — четыре, запись в таблице данных — соответствует назначению двигателя, данные проводки — кабель АВВГ 3 × 1,5+1 × 1,0).

Таким образом, за исключением маркировки проводов мы имеем все данные для формирования схемы соединений внешних проводов.

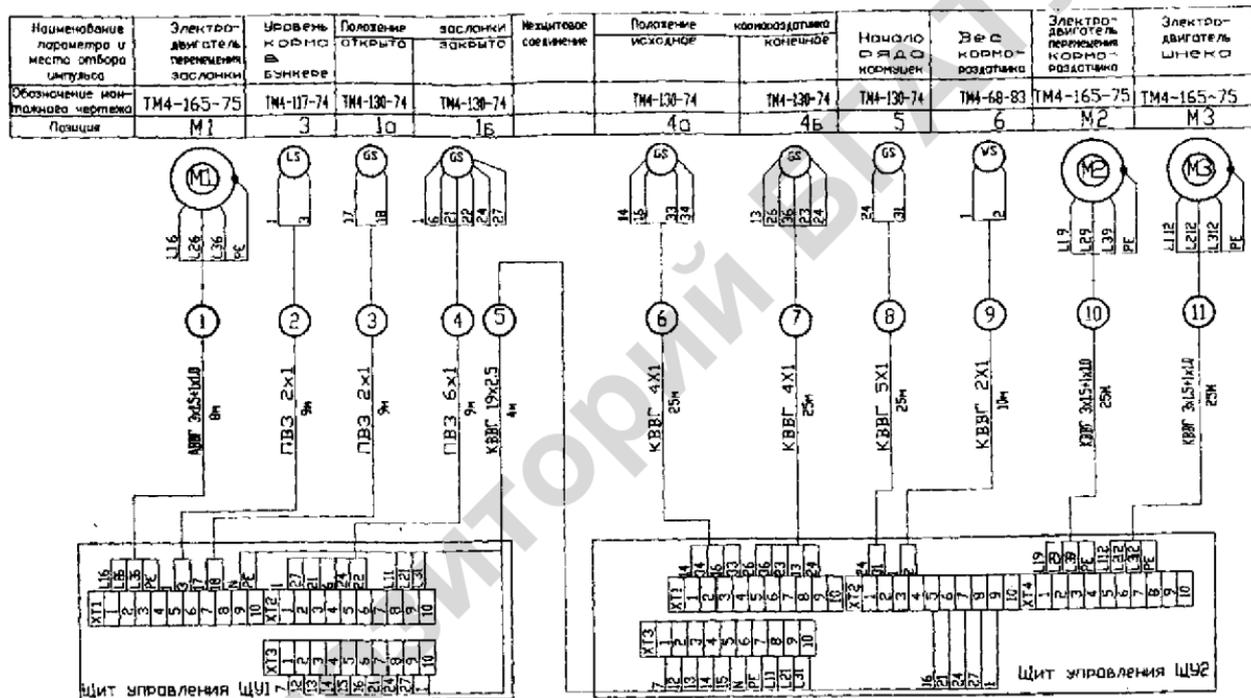


Рис. 3.34 Схема соединений внешних проводов по варианту системы управления кормораздатчиком

3.6 Основные требования к проектной документации на щитовую продукцию систем автоматики

Щиты и пульты систем автоматизации предназначены для размещения в них средств контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Все щитовые изделия, предусмотренные ОСТ 36.13-90, по конструкции и назначению подразделяются на 5 групп:

- щиты и стивы высотой 2 200 и 1 800 мм;
- стивы плоские высотой 2 200 и 1 800 мм;
- щиты шкафные малогабаритные;
- пульта;
- вспомогательные элементы щитов и пультов.

По ОСТ 36.13-90 предусматривается условная запись всех модификаций щитовой продукции по определенной схеме при ее заказе и в проектной документации:

Щит - ПЩ - 3Д - 1 - 22 - 3 - (444 × 444) - УХЛ4 - IP30 ОСТ36.13 - 90,
где «Щит» — наименование изделия;

«ПЩ-3Д» — первые буквы наименования (3Д — проставляют только для одиночных щитов);

1 — количество секций (для одиночного щита не проставляют);

22 — степень открытия боковых сторон щита (О2 — открытый с двух сторон, ОП и ОЛ — соответственно открытый справа и слева);

3 — номер исполнения (I, II);

(444 × 444) — типоразмер (высота на глубину);

«УХЛ4» — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-89;

«IP30» — степень защиты по ГОСТ 74254-80;

«ОСТ36.13-90» — обозначение основного документа.

Основой полногабаритных щитов и стивов является объемный каркас. Стойки, образующие каркас, имеют ряд установочных отверстий диаметром 6,6 мм, расположенных с шагом 25 мм. Установка на каркас 2-х или 3-х фасадных панелей образует панель с каркасом, соответственно, первого или второго исполнений. Установка на панели с каркасом боковых стенок, дверей и крышки образует шкафы.

Шкафы малогабаритные конструктивно представляют собой цельносварной корпус. С помощью петель на каркас с передней стороны установлена дверь с замком. Крышки 6 и 12 съемные, закрепленные при помощи болтовых соединений. Нижняя крышка имеет 12 отверстий для ввода внешних проводок. Монтажное поле в щитах образовано специально предусмотренными для этой цели швеллерами поз. 8, которые, аналогично стойкам каркаса полногабаритных щитов и стивов, имеют ряды отверстий диаметром 6,6 мм, расположенные с шагом 25 мм, для закрепления деталей для монтажа

аппаратуры и проводок. Швеллера крепятся на задней стенке при помощи болтовых соединений.

Шкафы малогабаритные исполнения I предназначены для напольной установки, II — для навесной установки.

При необходимости отдельные аппараты управления и сигнализации могут быть установлены также и на двери.

Исходными материалами для размещения аппаратуры, монтажных изделий, реле приборного типа и т.п. являются следующие чертежи и инструкции:

- а) габариты и конструкции выбранных стандартных пультов и щитов;
- б) принципиальные схемы автоматизации;
- в) принципиальные схемы питания;
- г) монтажно-эксплуатационные инструкции на приборы и средства автоматизации;
- д) чертежи установки приборов и средств автоматизации внутри шкафных щитов и пультов и на панельных щитах;
- е) чертежи металлоконструкций нестандартных щитов и пультов.

При выборе щитов и размещении в них приборов и аппаратов придерживаются следующего порядка:

1) предварительно определив тип щитовой продукции, в соответствии с исходными материалами *б* и *в* определяют перечень приборов и аппаратуры, располагаемой на фасадных панелях щитов, пультов и внутри щитов и стоек.

На фасадной панели щитов размещают самопишущие и регистрирующие приборы, органы управления, показывающие приборы, сигнальную арматуру, мнемосхемы.

Внутри шкафных щитов или на монтажной стороне панельных щитов размещают неоперативную аппаратуру схем автоматизации; выключатели, предохранители, трансформаторы, выпрямители, источники питания, резисторы, реле, фильтры, редукторы и т.п., а также в некоторых случаях реле приборного типа, регулирующие и функциональные блоки и т.п.

При размещении приборов и аппаратуры на щитах и пультах, не допускается:

- а) установка приборов и аппаратуры утопленного монтажа (вторичных приборов, кнопок, ключей, сигнальной арматуры, табло и г.д.) на боковых стенках шкафных щитов, а также на боковых стенках, щитов панельных с каркасом, закрытых слева или справа;
- б) установка приборов и внутрищитовой аппаратуры на дверях шкафных щитов;
- в) установка внутрищитовой аппаратуры на дверях малогабаритных щитов;
- г) на щитах, устанавливаемых в щитовых помещениях, не допускается установка приборов, к которым непосредственно подводятся горючие и взрывоопасные вещества;
- д) в шкафных щитах, устанавливаемых в производственных помещениях, не рекомендуется располагать датчики, к которым подводятся токсичные вещества, а также устанавливать приборы с ртутным заполнением. При необходимости такой установки щиты должны иметь надежную вентиляцию, отвечающую нормам и правилам работ с токсичными веществами;

е) на щитах, на которых смонтированы приборы автоматического регулирования и управления, слаботочные реле и другие чувствительные аппараты и приборы, не допускается установка пускателей третьей и большей величины.

При решении вопроса об установке пускателей второй величины на щитах или на отдельных сборках необходимо учитывать количество пускателей и частоту их включения. Допускается установка ограниченного количества пускателей второй величины при относительно малой частоте включения.

ж) установка аппаратуры (реле, трансформаторов, предохранителей и пр.) в пультах, как правило, не допускается;

з) размещение приборов и аппаратуры на вспомогательных элементах щитов (панелях вспомогательных с дверью и без дверей, панели торцевой декоративной, вставках угловых).

2) руководствуясь ГОСТами, руководящими материалами, производят предварительную компоновку приборов, аппаратов, вспомогательных изделий на фасадных панелях или дверях щитов и внутри щитов.

Компоновка приборов и аппаратуры на фасадных панелях щитов должны выполняться с учетом допустимых полей монтажа (рис. 3.35, 3.36).

Размеры приборов, и аппаратуры, устанавливаемых на фасадных панелях, а также расстояния между ними принимаются согласно РТМ 25.91-90 «Рекомендуемые расстояния между приборами на фасадах щитов и пультов».

Приборы и средства автоматизации рекомендуется размещать на следующих расстояниях по высоте (от основания щита до горизонтальных осей приборов и аппаратов):

а) показывающие приборы и сигнальная арматура — 1000–650 мм, допустимо 800–100 мм;

б) регистрирующие приборы на оперативных щитах без приставных пультов 900–900 мм;

в) регистрирующие приборы на оперативных щитах, с приставными пультами — 1100–700 мм;

г) регистрирующие приборы на неоперативных щитах — 700–2000 мм;

д) оперативная (командная) аппаратура управления (переключатели, ключи и кнопки управления) — 700–1500 мм;

е) мнемосхемы на щитах — 1000–100 мм.

Расстояние от основания щита до нижней кромки прибора должно быть не менее 500 мм.

При размещении приборов и средств автоматизации на фасадах щитов малогабаритного исполнения следует учесть, что щиты крепятся к стене или устанавливаются на стойках таким образом, что расстояние между бетонным основанием и днищем щита равно 800 мм.

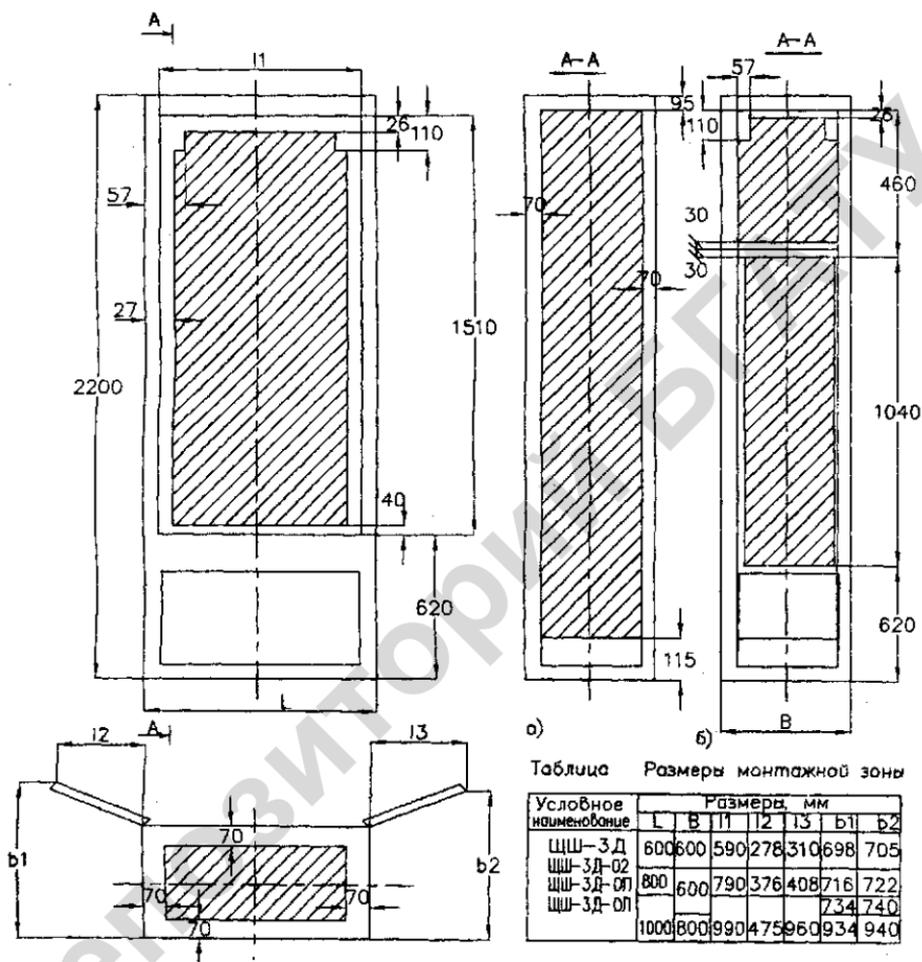


Рис. 3.35 Монтажные зоны шкафов щитов ЩШ-3Д: а – исполнение I; б – исполнение II

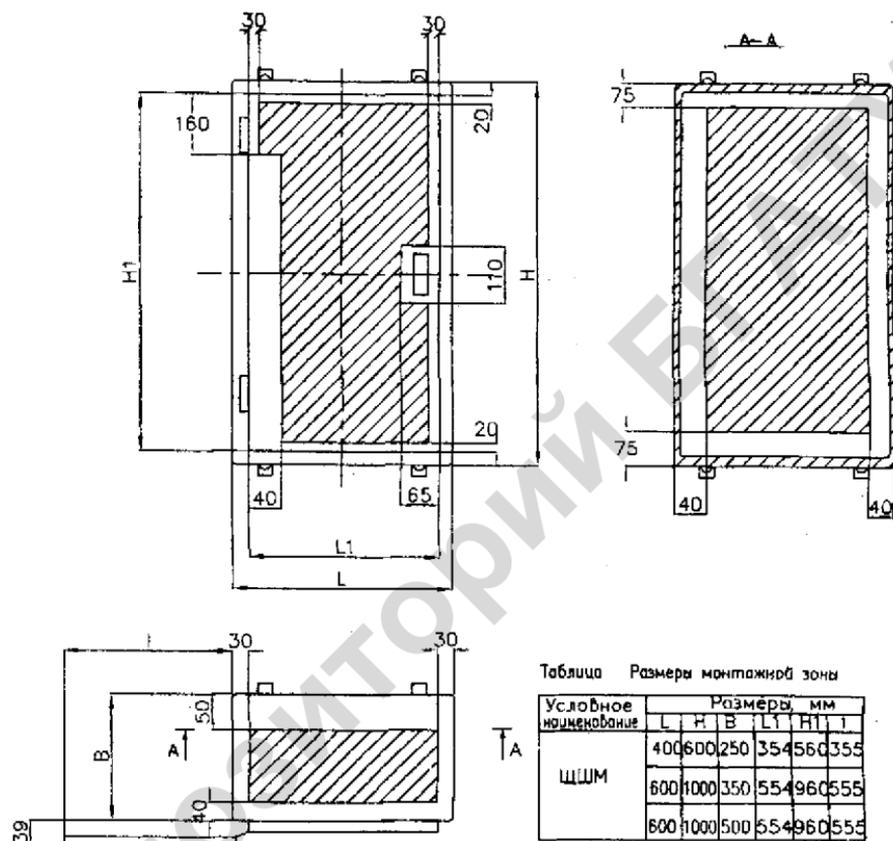


Рис. 3.36 Допустимые поля монтажа малогабаритных щитов

Также необходимо учитывать при использовании щитов шкафных, что поле нижней панели является декоративным и не предназначено для установки аппаратуры. Для исполнения II на поле средней панели располагают крупногабаритные и самопишущие приборы, органы управления. На поле верхней панели — сигнальная арматура, малогабаритные показывающие приборы, компактные мнемосхемы.

При размещении аппаратуры внутри шкафных щитов и на панельных щитах должны учитываться:

- допустимые расстояния между корпусами аппаратов, приборов и монтажных изделий;
- рекомендации по расположению аппаратуры по высоте;
- рекомендации по размещению аппаратуры по тепловым зонам;
- габариты выступающих внутрь шкафных щитов, приборов и аппаратов утопленного монтажа, устанавливаемых на фасаде этих щитов;
- габариты установочных конструкций, устройств разделки вводимых в щит кабелей, устройств для крепления проводов, труб и т.п.;
- обеспечение удобства демонтажа приборов и аппаратов.

Аппаратуру внутри шкафных щитов и на панельных щитах рекомендуется устанавливать на следующих расстояниях по высоте от основания щита до основания приборов:

- трансформаторы и источники питания, как редко обслуживаемые — 1 700–2 000 мм;
- выключатели, предохранители, кнопки — 700–1 700 мм;
- реле — 600–1900 мм;
- воздушные фильтры и редукторы — 500–1 500 мм;
- воздушный коллектор — 250–500 мм;
- сборки зажимов (при горизонтальном расположении) с учетом разделки кабеля — 450–800 мм;
- в случае установки двух и более горизонтальных сборок расстояние между ними должно быть — 200 мм;
- сборки зажимов (при вертикальном расположении) с учетом разделки кабеля снизу и сверху: нижний край сборки — 350 мм, верхний край сборки — 1 900 мм;
- стойки для крепления кабелей — 150 мм.

При размещении аппаратов на боковых стенках малогабаритных щитов глубиной 500 мм дополнительно устанавливается угольник У32 по ТКЗ-262-90, имеющий ряд перфорированных отверстий диаметром 6,6 мм с шагом 25 мм. Сборки контактных зажимов в этих щитах располагаются горизонтально на задней стенке, допускается горизонтальная или вертикальная установка на боковой стенке малогабаритных щитов.

Сборки зажимов и скобы для крепления кабелей рекомендуются устанавливать на боковых стенках пульта либо по ширине пульта на уголках, приваренных к его боковым стенкам. В случае установки двух рядов сборок рас-

стояние между ними должно быть не менее 200 мм. Установка трех рядов сборок в пульте не допускается. Стойки для крепления кабелей рекомендуются устанавливать на расстоянии не менее 70 мм от основания пульта.

В пультах с поднимающейся верхней панелью допускается установка предохранителей, трансформаторов, резисторов и прочей электроаппаратуры, не имеющей подвижных элементов, при условии обеспечения удобства их обслуживании при поднятой верхней и панели пульта.

При размещении аппаратуры на монтажной стороне панели рекомендуется группировать ее по принадлежностям к системам измерения, регулирования, управления и сигнализации, а внутри этих групп компоновать по роду тока и величине напряжения, типам аппаратов и т.д.

В случае установки в щите приборов и устройств, работа которых создает помехи в измерительных цепях (например, феррорезонансные стабилизаторы) рекомендуется размещать их в зонах, наиболее удаленных от измерительных цепей (если это возможно на других панелях щита).

Вводы электрических проводов в щиты и пульты должны выполняться:

- в щиты шкафные, шкафные малогабаритные — снизу;
- в пульты — снизу;
- в щиты панельные с каркасом — снизу и сверху.

Устройства, в которых во включенном состоянии выделяется тепло (лампы, резисторы, трансформаторы и т.п.), следует размещать в верхней части щитов. Аппараты и приборы, характеристики которых существенно зависят от температуры окружающей среды, следует размещать в зонах, удаленных от устройств, выделяющих тепло.

Компоновку аппаратов в щитах рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Определить монтажную зону соответствующей плоскости щита по рисунку;
2. Определить поле монтажа свободное от «теней» приборов и аппаратов, устанавливаемых на смежной плоскости щита. При определении размеров тени необходимо учитывать также площадь, перекрываемую крышкой аппарата при ее снятии;
3. Наметить вариант взаимного расположения (композицию) устанавливаемых аппаратов и места прокладки жгутов проводов (труб);
4. Подобрать способы установки аппаратов и установочные конструкции соответственно намеченной композиции. Если аппараты можно установить на одной и той же установочной конструкции несколькими способами, предпочтение следует отдать наиболее простому (по металлоемкости, количеству узлов крепления, компактности).
5. Найти монтажные зоны аппаратов по таблицам соответствующих типовых чертежей на основе принятых способов установки [6]. Монтажную зону аппарата, отсутствующую в сборнике, находят, как сумму: габарит устанавливаемого аппарата плюс разность размеров монтажной зоны и габарита аппарата — аналога.
6. Проверить правильность намеченной компоновки по большему габариту

фасадной панели или внутренней плоскости щита выбирают ближайший больший стандартный размер щита и затем производят окончательную компоновку приборов и аппаратуры в габаритах выбранного щита.

Но скомпоновать конструктивное устройство недостаточно, необходимо еще и выпустить на него комплект документации. Документация, разрабатываемая на щиты и пульты, должна содержать специфические особенности проектируемой системы автоматизации. Состав, содержание и порядок оформления документации, разрабатываемой в проекте для изготовления щитов, определяются РМ4-107-82 «Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов. Требования к выполнению технической документации, предъявляемой заводу-изготовителю».

Чертеж общего вида единичного щита должен в общем случае содержать:

- перечень составных частей;
- вид спереди (фронтальная плоскость), фрагменты вида (при необходимости);
- вид на внутренние плоскости, фрагменты вида (при необходимости);
- технические требования;
- таблицу надписей на табло и в рамках.

Допускается выполнять другие изображения: виды, разрезы и т.д.

На чертежах общих видов единичные щиты изображают в масштабе 1:10. Масштаб на чертежах в этом случае не указывают. В обоснованных случаях (например, для узлов крепления, вырезов и т.д.) могут применяться другие масштабы по ГОСТ 2.302-68, которые проставляются над изображением узла по ГОСТ 2.316-68.

На чертежах общих видов щиты, приборы, средства автоматизации, аппараты, элементы их крепления и т. п. изображают упрощенно в виде внешних очертаний, сплошными основными линиями по ГОСТ 2.303-68.

Шкафам, панелям, панелям с каркасом, корпусам пультов, вспомогательным элементам, поворотным рамам, а также приборам и средствам автоматизации, аппаратам, линиям и символам мнемосхем, вводам электрических и трубных проводов, монтажным изделиям, элементам крепления внутрищитовой аппаратуры, устанавливаемым на фасадах и внутри щитов, присваивают номера позиций в порядке записи их в перечень составных частей. Номера позиций наносят на полках линий-выносок по правилам ГОСТ 2.109-73.

При простановке позиций с целью сокращения числа линий выносок на чертежах, содержащих большое число однотипных аппаратов (сигнальной арматуры, кнопок управления или реле одного типа, отличающихся набором контактов и вводами), их рекомендуется изображать условными знаками по правилам обозначения одинаковых отверстий по ГОСТ 2.307-68.

Рассмотрим требования к изображению вида спереди. Изображение вида спереди (рис. 3.37) в общем случае выполняют на листе формата А3 по ГОСТ 2.301-68. На фронтальной плоскости единичного щита показывают приборы и средства автоматизации, элементы мнемосхем, изделия для нанесения надписей о назначении того или иного прибора.

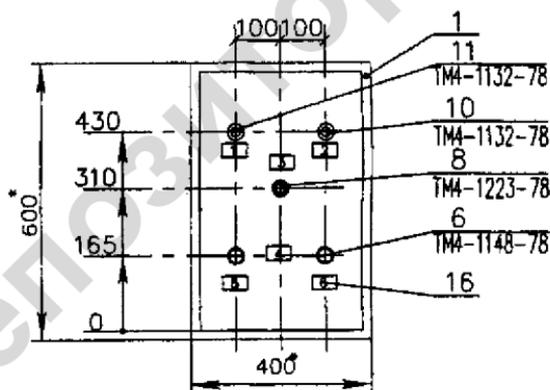
На фронтальной плоскости единичного щита проставляют габариты щита и размеры, координирующие установку всех приборов и средств автоматиза-

ции, монтируемых на ней. Размеры по вертикали проставляют от нижнего края фасадной панели щита, столешницы пульта или двери малогабаритного щита, принимаемого за базу. Размеры по горизонтали от вертикальной оси симметрии фасадной панели щита, столешницы пульта или двери малогабаритного щита.

Всем шкафам, стойкам, корпусам пультов, вспомогательным элементам, рамам, приборам и средствам автоматизации, аппаратуре и монтажным изделиям, устанавливаемым на фасадах и внутри щитов (составным частям щита), присваиваются номера позиций, начиная с цифры 1, в порядке записи, их в перечень составных частей. Перечень элементов на чертеже общего вида щита нумеруется совместно с перечнем элементов на чертеже вида на внутреннюю плоскости. Под полкой линии выноски, на которой проставлен номер позиции, указывают обозначение установочного чертежа. В качестве установочных чертежей должны применяться типовые монтажные чертежи. При отсутствии для какого-либо прибора типового монтажного чертежа в проекте должен быть разработан чертеж установки этого прибора.

На фронтальной плоскости единичного щита показывают также изображение табло и рамок. Каждой рамке присваивают номер, начиная с единицы, и указывают, его внутри контура рамки. Присваивают номера, как правило, слева направо, сверху вниз, сначала надписям на табло, а затем — в рамках.

При вводе проводов в щиты шкафные и шкафные малогабаритные сверху на поле чертежа размещают вид на крышку щита, на котором координируют и указывают вводы для электрических и трубных проводов в соответствии со сборником 72 «Вводы в щиты и пульты по ОСТ 36.13-90».



1*. Размеры для справок

2. Покрытие — вариант 2 ОСТ36.13-90

Рис. 3.37 Пример вида спереди малогабаритного щита, используемого для размещения аппаратуры управления системой управления раздачей корма мобильным кормораздатчиком

Требования к изображению вида на внутренние плоскости щита. Вид на внутренние плоскости (рис. 3.38) щита изображают на листе не более формата А3 по ГОСТ 2.301-68. Над изображением щита помещают заголовок «Вид на внутренние плоскости (развернуто)».

Для щитов и статов на чертеже вида изображают условно развернутыми в плоскости чертежа боковые стенки, поворотные рамы, крышки, находящиеся в разных плоскостях.

Для пультов вид на внутренние плоскости дается по стрелкам.

На внутренних плоскостях щитов (передних и боковых стенках), поворотных рамах, дверях малогабаритных щитов показывают:

- 1) установленные на них приборы, электроаппаратуру и пневмоаппаратуру. Расположение электроаппаратуры должно быть, как правило, систематизировано в зависимости от последовательности буквенно-цифровых позиционных обозначений;
- 2) изделия для монтажа электропроводок: блоки зажимов, рейки с наборными зажимами, колодки маркировочные, упоры и т. п.;
- 3) изделия для монтажа, трубных проводок; трубопроводная арматура (краны, вентили), сборки» понимаются переборочные соединители, устанавливаемые в крышке щита шкафного или шкафного малогабаритного, а также на угольниках;
- 4) элементы для крепления внутрищитовой аппаратуры (рейки, скобы, угольники и тому подобные элементы, которые крепятся непосредственно к стойкам щита), выбираемые по сборникам типовых чертежей. Промежуточные детали для крепления аппаратуры к рейкам и угольникам не изображают.
- 5) дециметровые шкалы стоек щитов, которые наносятся на стойки условно и служат для координации установленной внутри щитов аппаратуры по вертикали.
- 6) жгуты электрических и трубных проводок, кроме вертикальных жгутов, прокладываемых в стойках щитов шкафных, панельных с каркасом и статов по РМЗ-82-90.

При размещении внутри щитов аппаратуры необходимо учитывать ее взаимное расположение на различных плоскостях и поворотных конструкциях относительно друг друга и приборов, установленных на фасаде.

При установке внутри щитов изделий, требующих увеличенного изображения (диодов, зажимов наборных ЗН-П, ЗК-2,5; ЗК-7,5; перемычек П, катушек подгоночных, витков питания и т.п.), следует выполнять выносные фрагменты на поле чертежа вида на внутренние плоскости или на последующих листах.

Аппаратуру координируют по горизонтали от краев стоек и между собой.

Вид на внутренние плоскости (развернуто)

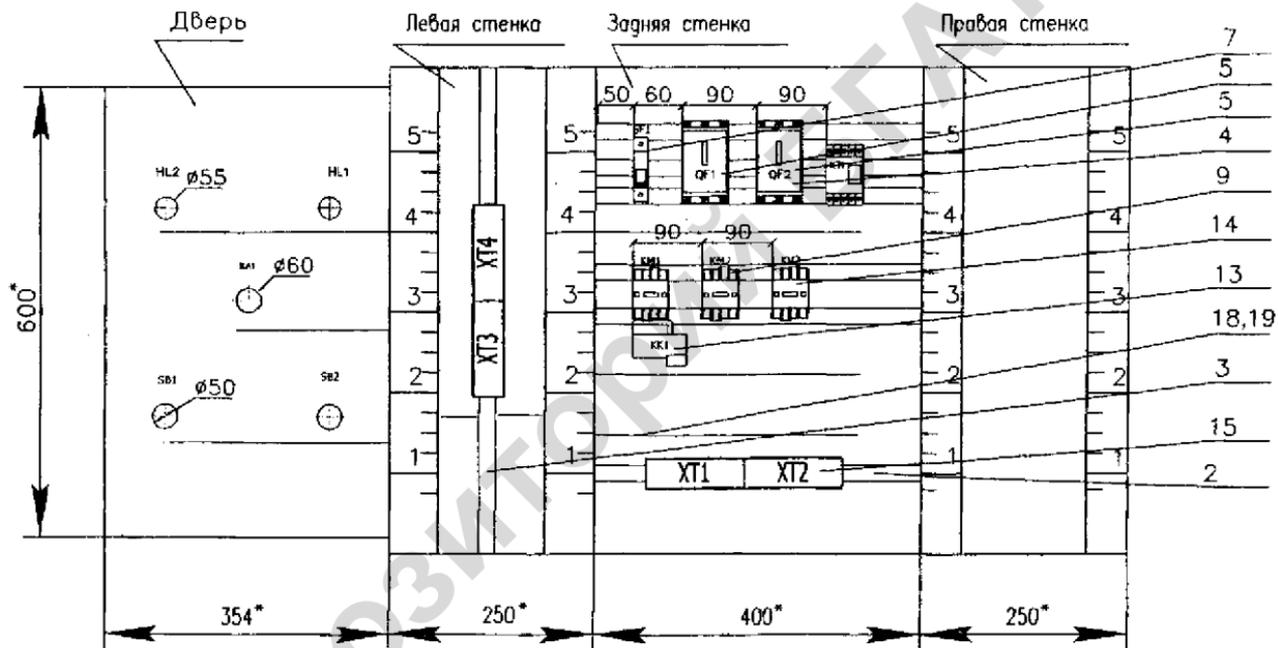


Рис. 3.38 Оформление вида на внутренние плоскости щита автоматики

Для приборов и аппаратуры, а также для труб, устанавливаемых внутри щита, проставляются позиции по перечню составных частей. Допускается не изображать соединители для подключения трубных проводок к приборам и запорной арматуре. Позиции для них проставляются под позициями арматуры.

Для всех приборов, аппаратов, блоков зажимов внутри изображения, над ним или справа от него указывают:

- для приборов — позиции по заказной спецификации;
- для электро- и пневмоаппаратуры — позиционные обозначения по принципиальным электрическим, пневматическим схемам, элементами которых они являются.

К буквенным обозначениям должны добавляться порядковые номера, начиная с единицы в пределах каждой группы изделий, обозначаемых одинаковыми буквами.

Технические требования выполняют согласно ГОСТ 21.105-93 и помещают над основной надписью, как правило, на листе с изображением вида спереди.

Если чертеж общего вида не содержит листа с изображением вида спереди (например, релейный щит или щит зажимов), то технические требования помещают над основной надписью на листе с изображением вида на внутренние плоскости.

Технические требования в общем случае должны содержать следующий текст:

1. Размеры для справок;
2. Покрытие — вариант ... ОСТ36.13-90.

При необходимости могут приводиться и другие конкретные требования, например: «Надпись на щите выполнить шрифтом ПО - 4С и окрасить в черный цвет».

Требования к таблице надписей. Таблицу надписей (рис. 3.39), наносимых на изделиях для надписей (табло, рамках, упорах), выполняют на отдельных листах формата А4 по ГОСТ 2.301-68, по формам *1* и *1а* руководящего материала РМ4-107-82. Форма *1а* таблицы надписей применяется для последующих листов таблицы. Она отличается от формы *1* только тем, что не имеет надписи назначения (например, «Надписи на табло и в рамках»). Вместо этой надписи над обеими частями таблицы указывается «Продолжение».

Каждой надписи на чертеже присваивают номер, начиная с единицы, указывая его внутри контура изделия для надписей. Надписям присваивают номера слева направо и сверху вниз (сначала надписям на табло, а затем — в рамках).

В таблицу сначала включают надписи на табло в порядке возрастания номеров, а затем надписи в рамках, упорах и т.п.

Надписи на табло и в рамках					
№ надписи	Текст надписи	Код	№ надписи	Текст надписи	Код
	Рамка РРМ 6хх2д				
1	Заслонка открыта	1	4	Управление заслонкой	1
2	Заслонка закрыта	1	5	Открыть	1
3	Режим работы	1	6	Закрыть	1
	1 - ручн., II - автом.	1			

Рис. 3.39 Пример оформления надписей на табло и в рамках

При заполнении таблицы надписей в графе «Текст надписи» в виде заголовка указывают наименование и тип изделия для нанесения надписи и подчеркивают. Затем в этой же графе против соответствующих номеров надписей записывают относящийся к ней текст. Надписям, имеющим одинаковый текст, присваивают одинаковые номера. При этом в графе «Код.» указывают общее количество одинаковых надписей. Текст надписей должен быть кратким. При его составлении следует учитывать размеры свободных полей табло и рамок и размеры применяемых шрифтов.

Требования к перечню составных частей щита. Перечень составных частей щита выполняют на отдельных листах формата А4 в таблицах по формам 2 (первый лист) и 2а (последующие листы) руководящего материала РМ4-107-82. Все составные части щита вносят в перечень по разделам. Наименование разделов, порядок записи в них составных частей и заполнение граф перечня выполняют по ГОСТ 2.701-84.

Перечень единичного щита (рис. 3.40, 3.41), как правило, содержит разделы: «Документация», «Детали», «Стандартные изделия», «Прочие изделия», «Материалы».

В раздел «Документация» включают таблицы соединений и подключения.

В раздел «Детали» включают нетиповые детали для установки приборов и аппаратуры внутри щитов (угольники, скобы, рейки), символы мнемосхем.

В раздел «Стандартные изделия» вносят щитовые конструкции, другие стандартные изделия (угольники, скобы, рейки). В раздел не включают стандартные приборы и аппараты. Наименование щитовых конструкций принимают по РМ3-82-90, а других стандартных изделий — по сборнику 44 типовых конструкций.

В раздел «Прочие изделия» включают все приборы, аппараты (в том числе стандартные) и монтажные изделия группами в последовательности:

1. Приборы и средства автоматизации в порядке их расположения на чертеже слева направо, сверху вниз сначала по виду спереди, затем — по виду с внутренней стороны;

2. Электроаппаратура по функциональным признакам:

- пусковая и защитная аппаратура (кнопки, переключатели, выключатели, пускатели, рубильники, предохранители, щитки электропитания);
- сигнальная аппаратура (арматура сигнальных ламп, табло, звонки, сирены);
- преобразователи и источники электропитания (трансформаторы, стабилизаторы, выпрямители, прерыватели);
- реле;
- резисторы, конденсаторы диоды;

3. Трубопроводная арматура (вентили, краны, блоки вентилей запорных);

4. Монтажные изделия:

- Для электромонтажа (блоки зажимов, зажимы наборные, колодки маркировочные, упоры, перемычки);
- Для монтажа трубных проводок (соединители переходные, переборочные, тройниковые и т.п.);
- Для нанесения надписей.

Поз.	Обозначение	Наименование	Код	Примеч.
		<u>Документация</u>		
	02.049.016.02-АТХТС	Таблица соединений	1	
	02.049.016.02-АТХТП	Таблица подключений	1	
		<u>Стандартные изделия</u>		
1		Щит -ЩИМ-ЗЛ-1-600x00x250 УХЛ3.1 ОСТ 36.13-90	1	
2		Увольник У600 ТКЗ-286-90	6	
3		Увольник УР15 ТКЗ-246-90	1	
		<u>Прочие изделия</u>		
4	QF2	Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20Y3-A 380В, 50Гц, 1.6А, 12и ТУ16-522.146-80	1	270Н-13-90
5	QF1	Выключатель АЕ2033ММ-20Н-20Y3-A 380В, 50Гц, 1.6А, 12и ТУ16-522.146-80	1	270Н-13-90
6	SB1, SB2	Выключатель КВ1ВУ3, исп. 1, синяя ТУ16-642.015-84	2	
7	SF1	Выключатель ЗЛФ-102-1/02, 220/380 В, 50 Гц, 2 А, В ГОСТ 50345-92	1	270Н-13-90
8	SA1	Кнопка поворотная NEF30-Реп, I-D-II (stable/stable/stable), синяя XX, XX Poland, Sosnowiec, SN Promet, Elementy sterownicze i sygnalizacyjne, 1999	1	

Рис.3.40 Пример выполнения перечня элементов щита автоматики (лист 1)

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
9	КМ1, КМ2	Реле времени наивысшего ПИР-110004А, 50 Гц, 220 В ТИВ-664.001-83	2	
10	МЛ1	Светодиодная индикаторная лампа СИЛ 11, В-Ж-2-220, желтый ЕИСК433157.011 ТУ	1	
11	МЛ2	Светодиодная индикаторная лампа СИЛ 11, В-Л-2-220, желтый ЕИСК433157.011 ТУ	1	
12	КТ1	Реле времени 8П-73 ИИП, 220 В, 50 Гц, Д199 с ТУ 16-91 МЕН.647642.028 ТУ	1	
13	КК1	Реле тепловое РТТ-111УХЛ, 1,6 А ТИВ-647.024-85	1	
14	КВ2	Лампа прожекторная РПН-1230А, 220 В, 50 Гц ТИВ-523.554-82	1	
15	ХП1 ... ХТ4	Блок зажимной БЗЗ-4П16-В/ВУ-10 ТУ 16-91 ИГОР.687222.035	1	
16		Рамака РПН 66.2Е ТУ36.1136-79	8	
17		Кабельная наконечник с плоской головкой суживающей формуой Н 1/14, желтый Gertony, Faberborn, Waldmüller GmbH & Co., Complete Catalogue 67/88 Cat. No. 046300	118	
Материалы				
18		Пробой ПБ, 1, красный ГОСР6323-79	23,4	
19		Пробой ПБ, 1, черный ГОСР6323-79	12,2	

Рис. 2.41 Продолжение перечня элементов щита автоматики

В раздел «Материалы» включают электрические провода, указанные в таблице соединений, и трубы.

В перечень составных частей не вносят элементы для оконцевания и маркировки проводок (оконцеватели, манжетки, бирки маркировочные и т.п.) и вспомогательные материалы (полоски, пряжки, припой, клей и т.п.). Они выбираются заводом-изготовителем при выполнении монтажа проводок согласно инструкциям на монтаж электрических и трубных проводок.

При заполнении графы «Наименование» соблюдают правила:

1. Для изделий технические условия не указывают;
2. Для приборов и средств автоматизации, кроме поставляемых заводом-изготовителем комплектно со щитами, наименования записывают комплектно со щитами, наименование записывают упрощенно, без указаний технической характеристики (градуировок, пределов измерений и т.п.). Обязательно указывают тип и модификацию прибора;
3. Для приборов и аппаратуры, поставляемых заводом-изготовителем комплектно со щитами, в графе приводят все исчерпывающие характеристики, необходимые заводу для их выбора. Например, для манометров типа МГ указывают пределы показаний, для реле промежуточных — каталожные номера

или номера паспортов, напряжение; для реле времени — напряжение питания, диапазоны выдержек времени и др., для кнопок — цвета надписи на толкателях и т.д.

В графе «Обозначение» для приборов, электроаппаратов и трубопроводной арматуры проставляют присвоенные позиционные обозначения.

В графе «Примечание» указывается:

1. Обозначение условного номера по сборнику 40 и установочного чертежа для всех приборов, электроаппаратуры и трубопроводной арматуры, устанавливаемых внутри щитов.
2. Цвет окраски символов технологического оборудования мнемосхем.

Нумерация позиций составных частей щита должна быть сквозной в пределах всего перечня.

На первом листе перечня составных частей щита (являющегося первым листом чертежа общего вида) в графе 4 основной надписи записывают наименование чертежа, которое выполняют по следующим правилам:

в наименование чертежа включают условный номер единичного щита, присвоенный по чертежу общего вида (например, «Щит1») и наименование документа «Общий вид».

Требования к таблицам соединений. К общим видам конструктивных устройств должны прилагаться таблицы соединений и подключений (рис. 3.42, 3.43, 3.44, 3.45). **Таблица соединений** — это документ, отражающий соединения между аппаратами, приборами и элементами внутри конструктивного устройства и определяющий провода и другие изделия, которыми осуществляют эти соединения. Основанием для разработки таблиц соединений являются принципиальные электрические схемы и схемы соединений внешних проводов. Об этом делают запись на первом листе таблицы соединения под заголовком «Технические требования».

При заполнении таблиц руководствуются одним из следующих правил:

1. Заполняют по возрастанию номеров маркировки цепей в принципиальной электрической схеме.
2. Заполняют по методу непрерывной цепи, при котором, как правило, начало каждого последующего проводника должно быть на том аппарате, где окончился предыдущий проводник, или на аппарате расположенном рядом (порядок возрастания номеров в этом случае во внимание не принимают).

Следует помнить, что проводники от аппаратуры, установленной на поворотной конструкции (двери малогабаритных щитов, поворотные панели и т.д.), должны подключаться, как правило, к сборкам коммутационных зажимов.

Порядок заполнения граф таблицы следующий. В графе «Проводник» указывают маркировку проводки по принципиальной электрической схеме или схеме соединений внешних проводов. В графах «Откуда идет» и «Куда поступает» указывают адреса присоединений проводов. Например, 18в — К2:5 или КМ1:13, где 5 и 13 — номер вывода, К2 — позиционное обозначение колодки прибора, КМ1 — позиционное обозначение аппарата на принципиальной электрической схеме, 18в — позиция прибора по заказной спецификации. В графе «Данные проводника» для проводников указывают марку, сечение и при необ-

ходимости цвет. В графе «Примечание» для проводок, которые требуют отдельной прокладки, выполняют поясняющие надписи; для перемычек, выполняемых на аппарате, заносят условное обозначение «П», а также могут заноситься другие справочные данные (например, тип наконечника).

Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные проводки	Примечание
Таблицы соединений выполнены на основании				
	01.49.006.02	АТХ7		
	01.49.006.02	АТХ8		
L11	QF1: C1	QF2: Л1	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L11	QF2: Л1	SF1: 1	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L11	QF2: Л1	ХТ2: 8	ПВЗ 1 черная, 1 м	Н 1/14
L21	QF1: C2	QF2: Л2	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L21	QF2: Л2	ХТ2: 9	ПВЗ 1 черная, 1 м	Н 1/14
L31	QF1: C3	QF2: Л3	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L31	QF2: Л3	ХТ2: 10	ПВЗ 1 черная, 1 м	Н 1/14
L12	QF1: Л1	ХТ4: 1	ПВЗ 1 черная, 1 м	Н 1/14
L22	QF1: Л2	ХТ4: 2	ПВЗ 1 черная, 1 м	Н 1/14
L32	QF1: Л3	ХТ4: 3	ПВЗ 1 черная, 1 м	Н 1/14
L13	KM1: 1	KM2: 1	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L13	KM1: 1	QF2: C1	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L23	KM1: 3	KM2: 3	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L23	KM2: 3	QF2: C2	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L33	KM1: 5	KM2: 5	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L33	KM2: 5	QF2: C3	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L14	KK1: 5	KM1: 6	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
L14	KM1: 6	KM2: 2	ПВЗ 1 черная, 0,2 м	Н 1/14
01.49.006.02-АТХ9.1				
Система управления кормораздачей				
Щит управления 1			Страниц	Лист
			С	1
			Листов	
			3	
Разработ.	Вячеслав			
Руководитель	Юрий			
Консультант	Юрий			
Таблица соединений внутренних проводок			БАТУ АСУП Группа 43а	

Формат А4

Рис. 3.42 Пример составления таблицы соединений

Провод- ник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Приме- чание
L24	KM1: 4	KM2: 4	ПВЗ 1 черн.0,2 м	Н 1/14
L24	KK1: 3	KM1: 4	ПВЗ 1 черн.0,2 м	Н 1/14
L34	KM1: 6	KM2: 6	ПВЗ 1 черн.0,2 м	Н 1/14
L34	KK1: 5	KM1: 6	ПВЗ 1 черн.0,2 м	Н 1/14
L16	KK1: 2	XT1: 1	ПВЗ 1 черн.1 м	Н 1/14
L26	KK1: 4	XT1: 2	ПВЗ 1 черн.1 м	Н 1/14
L36	KK1: 6	XT1: 3	ПВЗ 1 черн.1 м	Н 1/14
1	KT1: A1	KV2: 31	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
1	KV2: 31	SF1: 2	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
1	SA1: 13	SA1: 23	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
1	SA1: 23	XT3: 10	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
1	SF1: 2	XT3: 10	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
1	XT3: 10	XT2: 1	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
1	XT1: 9	XT2: 1	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
3	KV2: A	XT1: 6	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
4	ШУ1-НЛ1: 1	XT1: 10	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
6	HL2: 1	XT2: 2	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
12	SA1: 14	SB1: 1	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
12	SB1: 1	SB2: 1	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
12	SB2: 1	XT3: 2	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
13	KM1: 13	KT1: 17	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
13	KT1: 17	XT3: 3	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
13	SA1: 24	XT4: 4	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
13	XT3: 3	XT4: 4	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
14	KT1: 16	XT3: 4	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
16	KV2: 13	XT3: 6	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
17	KM1: 14	KV2: 14	ПВЗ 1 красн.0,2 м	Н 1/14
17	KV2: 14	XT1: 7	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
17	SB1: 2	XT4: 6	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
17	XT1: 7	XT4: 6	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
18	KM1: A	XT1: 8	ПВЗ 1 красн.1 м	Н 1/14
				Лист
				2

Формат А4

Рис. 3.43 Продолжение таблицы соединений

Требования к таблицам подключений. Таблица подключений (рис. 3.44 – 3.45) раскрывает подключения проводников к каждому элементу конструктивного устройства. Таблицу следует заполнять в порядке, соответствующем расположению приборов, аппаратов и зажимов в шите, на виде с внутренней стороны слева направо, сверху вниз последовательно по стенкам (левая, передняя, правая) и поворотным конструкциям.

Запись начинают с соответствующих заголовков «Левая стенка» и т. д. В графе «Вид контакта» проставляют:

1. Позицию прибора по спецификации или позиционное обозначение аппарата, блока зажимов, которые подчеркивают.
2. Условные обозначения контактов и катушек аппаратов: З — замыкающий, Р — размыкающий, К — катушка реле. Переключающий контакт записывают двумя строками З и Р. При этом общий вывод *записывается* один раз в строке, где *записывается* размыкающий контакт.

В графе «Вывод» проставляют обозначения выводов аппаратов. Кроме того, для перемычек, выполняемых непосредственно на аппарате, кроме номера вывода приводят сокращенное обозначение «Л». Графы «Вывод» и «Вид контакта» заполняют только для занятых выводов. В графе «Проводник» против соответствующих номеров выводов указывают маркировку проводов, подключаемых к данному выводу.

Проводник	Вывод	Вид	Проводник	Проводник	Вывод	Вид	Проводник
Таблица подключения выводов на прибор				Таблица подключения выводов на прибор			
03.49.006.02-АТХ7				03.49.006.02-АТХ11			
Левый				Правый			
					ХТ4		
				12	1	3	132
				122	2	4	13
				11	5	6	17
						ХТ3	
				7	1	6	16
				12	2	7	21
				13	3	8	24
				14	4	9	27
				11	5	10	1
				Задняя стенка			
						СП1	
				11	1	3	1
						СП1	
				12	11	3	11
				122	12	3	13
				132	13	3	13
03.49.006.02-АТХ9.2							
						Кодовый лист	
						С 1 2	
Таблица подключения внутренних проводов						БАТУ АСУП	
						Группа 53	
						Лист 14	

Рис. 3.44 Пример составления таблицы подключений (первый лист)

3.7 Требования к чертежам расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации технологических процессов

Чертежи расположения оборудования и проводок — это схемы, определяющие составные части изделия, а также жгутов, проводов, кабелей, трубопроводов и т.д.

Чертежи расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации технологических процессов обычно содержат планы и разрезы производственных помещений и наружных установок с размещением и координатной привязкой приборов и средств автоматизации, щитов, пультов и т.п., а также потоки электрических и трубных проводок.

Основанием для разработки чертежей расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации являются:

- архитектурно-строительные чертежи объекта;
- чертежи размещения технологического оборудования и основных технологических трубопроводов;
- схемы автоматизации;
- схемы или таблицы соединений внешних проводок;
- чертежи общих видов пультов, щитов и т.п.

Чертежи расположения в общем случае должны содержать:

- контуры зданий (сооружений) с расположением технологического оборудования и коммуникаций (строительную часть объекта, технологическое оборудование показывают упрощенно сплошной тонкой линией);
- координатные оси здания (сооружения) (в окружностях диаметром 8–12 мм горизонтальные — цифрами — слева направо, вертикальные — русскими буквами — сверху вниз, линии осей — тонкими штрихпунктирными линиями с длинными штрихами);
- технические средства автоматизации;
- отметки чистых полов этажей и площадок, на которых устанавливают технические средства автоматизации;
- классы взрыво- и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей и границы взрывоопасных зон в помещениях и наружных установках в соответствии с требованиями ПУЭ — при наличии на объекте взрыво- и пожароопасных зон [В–1а (IT2 винилацетат)];
- потоки проводок, одиночные электрические и трубные проводки, несущие и опорные конструкции для их прокладки;
- проходы проводок через стены и перекрытия;
- спецификацию к чертежам расположения по форме 7 ГОСТ 21.101.

На чертежах расположения допускается не указывать:

- – приборы (ртутные термометры, манометры и т.д.), расположенные на технологическом оборудовании и трубопроводах и не имеющие подключаемых к ним линий связи;

➤ – защитные заземление и зануление систем автоматизации.

Планы расположения выполняют, как правило, в том же масштабе, что и планы с расположением технологического оборудования и основных трубопроводов. Над изображением планов и разрезов зданий и сооружений наносят надписи с указанием их местонахождения и масштаба («План на отм. 0,000» М 1:100).

Расположение технических средств автоматизации и внешних проводов в помещениях контроля и управления, а также в помещениях датчиков рекомендуется выполнять на отдельных листах. Наименование и обозначение технологического оборудования указывают внутри его контура или на полке линии-выноски. Технические средства, а также потоки электрических и трубных проводов на чертежах расположения привязывают к координационным осям или конструкциям зданий и сооружений. Для потоков электрических и трубных проводов на разрезах указывают отметку низа или верха прокладки потока. Одиночные приборы допускается не привязывать.

Условные графические изображения приборов, электрооборудования и проводов на планах устанавливает ГОСТ 21.614-88. Приведем лишь некоторые обозначения (табл. 3.12, 3.13, 3.14), остальные можно найти в ГОСТ 21.614-88.

Таблица 3.11

Условные графические обозначения приборов и электрооборудования

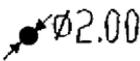
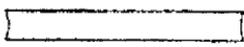
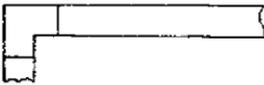
Наименование	Обозначение
Отборные устройства, первичные измерительные преобразователи (датчики), встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы	
Внешние приборы, исполнительные механизмы, электроаппаратура и другое оборудование, устанавливаемое вне щитов	

Таблица 3.12

Условные графические обозначения потоков проводов

Наименование	Обозначение
1	2
Поток на прямых участках	
Поток на поворотах	
Поток при разветвлении	

1	2
Проводки уходят на более высокую отметку или приходят с более низкой	
Проводки уходят на более низкую отметку или приходят с более высокой	
Проводки пересекают отметку сверху вниз или снизу вверх и не имеют горизонтальных участков в пределах плана	
Проводки уходят на более высокую или более низкую отметку, охватываемую планом	
Одиночная проводка, уходящая на более высокую или низкую отметку	

Таблица 3.13

Условные графические обозначения потоков проводок в разрезах

Наименование	Обозначение
Короба при горизонтальной прокладке в стене	
Мосты, лотки при горизонтальной прокладке в стене	
Кабельные конструкции при установке в стене	
Проводка меняет направления на вертикальных и горизонтальных участках	

Рядом с условными графическими обозначениями приборов указывают их позиционные обозначения, принятые по спецификации оборудования.

Конструкциям узлов крепления проводок, а также несущим конструкциям для прокладки внешних проводок присваивают позиции по спецификации к чертежу расположения и указывают их на полках линий-выносок; номера

кабелей, проводов и труб указывают в прямоугольниках под полкой линии-выноски.

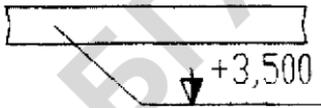
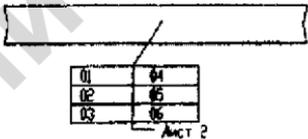
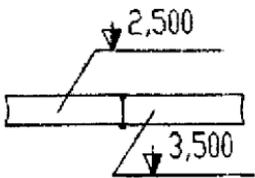
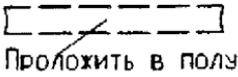
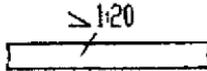
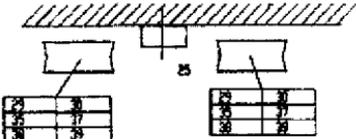
Нумерацию электрических и трубных проводок указывают в следующих местах потока и случаях:

- у средств автоматизации, щитов и пультов, соединительных и протяжных коробок;
- у отвлечения проводки от потока;
- при изменении количества кабелей, проводов и труб в потоке;
- при переходе в смежное помещение или на другой этаж.

Варианты координации потоков проводок приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.14

Координация потоков проводок

Наименование	Обозначение
Координация по высоте прокладки	
Переход потока с одного листа чертежа на другой	
Изменение уровня прокладки в пределах данного плана	
Прокладка в полу	
Прокладка с уклоном	
Прокладка потока с разрывом	

Фрагмент чертежа плана расположения оборудования и внешних проводов приведен на рис. 3.46.

На данных чертежах, кроме того, приводят технические требования, содержание которых определяется следующим:

- ссылки на строительные, технологические и др. чертежи, в которых размещены элементы автоматизации, закладные конструкции, тоннели, каналы, проемы, и т.п., с указанием обозначений этих чертежей и организации-разработчика;

- указания о совместной прокладке электрических проводов;

- ссылки на схемы соединений внешних проводов, на основании которых необходимо вести монтаж систем автоматизации.

К чертежам прилагают спецификацию, в которую включают несущие и опорные конструкции, трубные блоки, конструкции проходов проводов через стены и перекрытия зданий и сооружений, конструкции узлов установки и крепления для прокладки проводов, монтажные изделия и материалы.

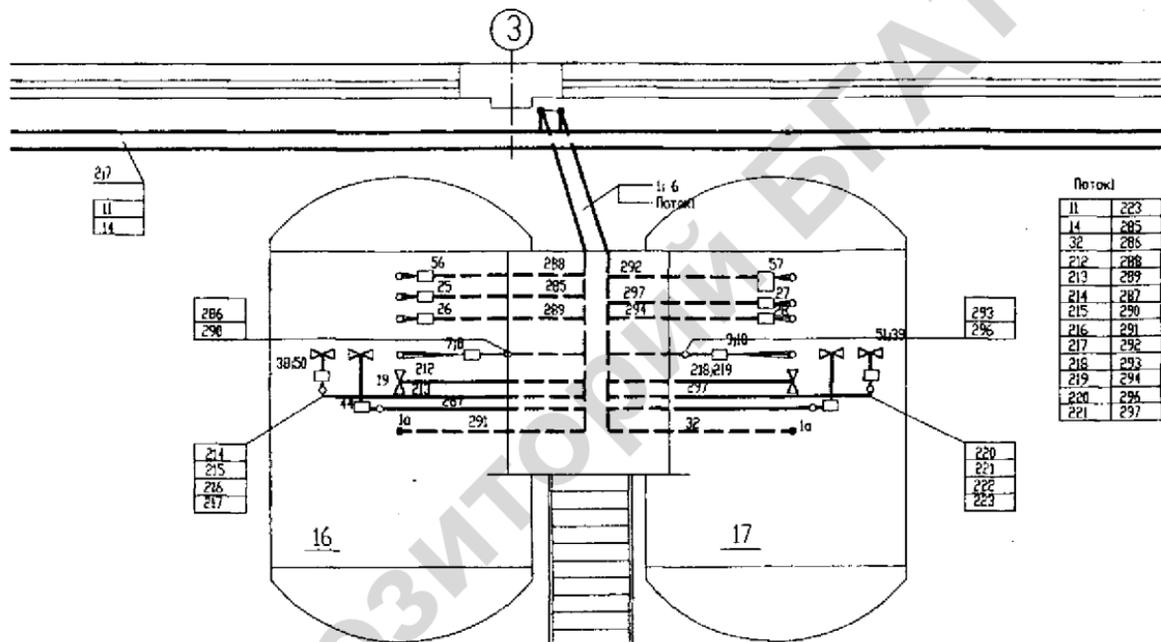


Рис. 3.46 Фрагмент чертежа плана расположения оборудования и внешних проводок

4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

4.1 Автоматизация мобильных процессов сельскохозяйственного производства

4.1.1 Общие сведения

В современном сельскохозяйственном производстве, особенно в такой его важной отрасли, как растениеводство, подавляющее большинство основных технологических процессов (обработка почвы, посадка растений, уборка урожая и т.п.) выполняются мобильными агрегатами: тракторами в сочетании с различными сельскохозяйственными машинами и орудиями, самоходными уборочными комбайнами.

Сокращение трудовых затрат на единицу площади, способствовало дальнейшей механизации сельскохозяйственных работ, однако это было связано с увеличением физиологической и экологической нагрузки на обслуживающий персонал. Как правило, нагрузка, обусловленная физической работой, а также выполнение большого числа неизменных последовательных операций влекут за собой усталость, снижение интенсивности и качества работы, в то время как нагрузка, обусловленная условиями окружающей среды, может, кроме того, отражаться на здоровье.

Нагрузки экологического порядка на месте работы можно значительно уменьшить путем совершенствования проектирования оборудования машин и сиденья водителя.

Нагрузки, обусловленные физическим трудом и монотонностью, можно устранить лишь путем замены физического труда водителя различными управляющими и регулируемыми приспособлениями, т.е. путем автоматизации.

Таким образом, автоматизация представляет собой использование оборудования, спроектированного и разработанного таким образом, чтобы уменьшить необходимость постоянного или регулярного вмешательства оператора в рабочий процесс, в результате чего качество и эффективность работы повышается.

Другая причина внедрения автоматизации, помимо облегчения физического труда, заключается в том, что трудно точно и с минимальными потерями выполнять, в частности, следующие операции:

- придерживаться борозды при вспашке тракторами большой мощности;
- точно следовать по колее при обработке почвы с помощью широкозахватных почвообрабатывающих орудий;
- точно следовать по колее при внесении удобрений и осуществлении работ по защите растений на необработанных полях, избегая дублирования и пробелов;
- использовать всю ширину режущего аппарата (комбайна) при уборке урожая зерновых;
- четко управлять орудиями при уборке урожая культур.

Мобильные сельскохозяйственные машины (МСХМ) представляют собой многофункциональный технологический агрегат, в котором используются механические, гидравлические, пневматические и пневмонные элементы, поэтому нет оснований преуменьшать значения каких либо видов энергии и рабочих агентов — необходимо находить их оптимальное сочетание с учетом имеющихся в МСХМ источников питания. Для эффективности работы МСХМ необходимо обеспечить измерение, учет и контроль их параметров; защиту основных механизмов; регулирование и управление машинами в целом.

При проектировании технических средств автоматизации для мобильных сельскохозяйственных машин (МСХМ) учитывают в первую очередь условия работы этих агрегатов и требования к этим средствам с позиции анализа особенностей МСХМ как объектов контроля и регулирования. МСХМ наряду с общими для технического объекта управления имеют специфические особенности, определяющие соответствующие требования к средствам автоматизации.

Первая особенность МСХМ — состоит в том, что они сами (будучи самоходными) или в агрегате с трактором (навесные, полунавесные или прицепные) представляют собой одновременно энергетическую, транспортную и технологическую машину. В качестве энергетической машины они преобразуют физико-химическую энергию топлива в механическую энергию для собственного движения и привода рабочих органов; в качестве транспортной — перемещают по полю распределяемые материалы (семена, удобрения, ядохимикаты) или собирают и увозят продукцию; в качестве технологической — обрабатывают почву, сеют, ухаживают за растениями, убирают урожай. И хотя технологическое назначение МСХМ — главное, но их универсальность, многофункциональность и комплектность приводят к разнообразию номенклатуры контролируемых параметров на каждом объекте и требуют от автоматической системы соответствующих свойств: умения контролировать одинаковые параметры на разных машинах (универсальность), сигнализировать, регулировать, управлять, считать (многофункциональность), контролировать разные параметры на одной машине (комплексность).

Вторая особенность МСХМ — стремление к максимальной простоте устройства на основе специализации по видам работ (для вспашки — плуг, междурядной обработки — культиватор, междугнездовой обработки — прореживатель, посева — сеялка) и по культурам (для уборки зерновых — зерноуборочный комбайн, уборки свеклы или льна — корне- или льноуборочная машина и т.д.). Приборы и средства автоматизации также должны быть простыми в эксплуатации и специализированными, соответствовать тому материалу, продукции, с которыми они взаимодействуют: топливо или почва, семена или удобрения, лен или зерно, солома или мякина и др. (особенно это относится к чувствительным элементам, первичным преобразователям, датчикам).

Простота приборов и средств автоматизации в эксплуатации определяется, во-первых, ограничением выполняемых ими функций. Например, при создании системы автоматического контроля (САК) работы сеялки можно

сигнализировать об отсутствии семян в бункере, прекращении вращения вала высевающего аппарата, забивании сорняков; но достаточно и зафиксировать прекращение процесса высева в нижней части семяпровода, так как любая техническая или технологическая причина нарушения сказывается на этом показателе.

Простота САК и САР в эксплуатации определяется, во-первых, минимальным числом блоков, элементов, деталей, соединительных проводов, жгутов, кабелей и их типов, что упрощает монтаж, освоение системы, ее обслуживание, поиск неисправностей и ремонт (требования простоты и специализации).

Третья особенность МСХМ — способность к взаимодействию с материалами, находящимися в различных состояниях. Известно более 100 типов почв, подразделяемые на подтипы, роды, виды, разновидности и разряды. Одна и та же почва может быть пересохшей, сухой, влажной, переувлажненной; за растением нужно ухаживать в стадии ростка и в период выхода в трубку, в процессе кущения и в период созревания. В мире насчитывается не менее 1000 видов культурных растений (без лекарственных и декоративных). Все это предъявляет к средствам автоматизации требования гибкости и быстрой перенастройки в соответствии с состоянием объекта контроля. При этом САР (например, направления движения) должна допускать простой и быстрый переход от автоматического управления к ручному и наоборот, быстрое изменение уставок, настроек задатчиков и даже замены первичного преобразователя (требования гибкости и легкости перенастройки).

Четвертая особенность МСХМ — работа при постоянно изменяющихся внешних условиях, динамических воздействиях и нагрузках, связанных с неоднородностью почвы, микро-, мезо- и макрорельефом, влажностью, температурой, давлением, освещенностью, изменяющимися в течении рабочей смены, варьирующими свойствами материалов, приводящими к нестабильности их расхода и поступления. Все это предъявляет к приборам и средствам автоматизации требования самоприспосабливаемости к свойствам объекта контроля и условиям окружающей среды (требования динамичности и адаптационной способности).

Пятая особенность МСХМ — высокая точность выполнения технологических процессов и устойчивость при расчетных (номинальных) возмущающих воздействиях. Автоматические устройства должны улучшать эти качества объектов контроля и управления, расширять диапазон возмущающих воздействий, при которых точность управляемых технологических и энергетических (эксплуатационных) параметров должна поддерживаться в пределах, определяемых условиями технологии, чтобы получить определенный критерий качества или эффективности процесса, и при этом обеспечить устойчивость системы управления в переходном режиме и установившемся состоянии в случае отклонения управляющих и возмущающих воздействий в допустимых пределах.

Шестая особенность МСХМ — постоянно изменяющиеся внутренние параметры объекта, взаимно влияющие один на другой и на работу всей ма-

щины, удаленность от ремонтной базы, запыленность, наличие паров бензина и масла, вибрации, удары. Все это предъявляет к средствам автоматизации требования повышенной технологической и эксплуатационной надежности, при которых в течение требуемого промежутка времени сохраняются в заданных пределах: производительность, расход топлива, экономичность, качество технологического процесса и получаемой продукции. Приборы и средства автоматизации не должны подвергаться техническому обслуживанию и ремонту в пределах межремонтных сроков МСХМ, на которые они установлены, а служить в течение всего срока эксплуатации машины вплоть до ее списания (требование надежности).

Седьмая особенность МСХМ — высокий коэффициент готовности

$$K_r = \frac{T}{(T + T_B)}; \quad (4.1)$$

где T — наработка на отказ;

T_B — среднее время восстановления.

Для современных МСХМ — $K_r \approx 0,95-0,99$. Таким значением коэффициента K_r учитывается приспособленность самих машин к диагностированию и ремонту, подготовленность механизаторов, механиков-диагностов и мастеров-наладчиков, снабжение запасными частями. Однако все перечисленное пока в весьма малой степени касается средств автоматизации МСХМ, поэтому тем более приборы должны быть максимально приближены к условиям эксплуатации (требования приспособленности к техническому обслуживанию и ремонту).

Восьмая особенность МСХМ — их массовость. Ни одна отрасль машиностроения (за исключением автомобильной, да и то большое число автомобилей используют в полевых сельскохозяйственных условиях, не имеет такого разнообразия типов, типоразмеров и марок машин, выпускаемые ежедневно десятками и даже сотнями тысяч, что, естественно, распространяется и на средства автоматизации (требование серийной способности).

Девятая особенность МСХМ — низкая стоимость при высокой эффективности. Требование низкой стоимости сельскохозяйственной продукции влияет на цену сельскохозяйственных машин. Высокая цена самолета, корабля, электровоза дает некоторую свободу в выборе приборов и средств автоматизации, большие расходы на которые выглядят несущественным. В сельскохозяйственном производстве такой возможности не имеется. МСХМ не только дешевы, они заменяют труд многих рабочих, поэтому требования эффективности приборов и средств автоматизации, установленных на МСХМ, особенно жесткие (требования малой стоимости и высокой эффективности).

Десятая особенность МСХМ — высокий уровень эргономичности, безопасности и гигиены труда. Механизатор на несколько часов остается один на один с многомашинным агрегатом, далеко от пунктов медицинской помощи. Приборы и средства автоматизации должны повышать безопасность и удобство работы на МСХМ (требование безопасности и эргономичности).

Итак, специфика МСХМ как объектов автоматизации предопределяет такие требования к приборам и автоматическим системам: универсальность,

многофункциональность и комплексность; простота и специализация; гибкость и легкость перенастройки; динамичность и адаптационная способность; точность и устойчивость; надежность; приспособленность к обслуживанию и ремонту; серийноспособность; малая стоимость и высокая эффективность; безопасность и эргономичность. Эти требования предопределены свойствами самих объектов автоматизации МСХМ.

Уровень автоматизации мобильных процессов отстает от уровня автоматизации стационарных процессов из-за сложности создания систем автоматике в соответствии с требованиями.

Несмотря на это, на тракторах и сельскохозяйственных мобильных машинах широко используются средства автоматике.

Поскольку в одной части раздела невозможно раскрыть и охватить все вопросы, связанные с автоматизацией мобильных сельскохозяйственных машин, авторы поставили своей целью рассмотреть более подробно устройство и систему автоматического вождения, которая не только помогает улучшить качество технологических процессов благодаря выдерживанию прямолинейности движения и эквидистантности траекторий смежных проходов, но и позволяет освободить механизаторов от процесса управления агрегатом, а также сделать обзор систем автоматического регулирования технологических процессов на мобильных сельскохозяйственных агрегатах.

4.1.2 Автоматическое управление тракторами и самоходными машинами

Принятые до сих пор меры с целью облегчения рулевого управления ограничивались в основном оптимальным расположением различных элементов (рулевое колесо, рычаг переключения передач) и легкостью управления (автоматическое переключение передач, управление с усилителем, управление с гидростатическим усилителем).

Однако рулевое управление по-прежнему является наиболее дорогостоящим элементом процесса управления транспортным средством в целом, и многочисленные попытки автоматизировать его, вполне понятны.

Автоматизация в основном направлена на то, чтобы воспроизвести те же операции, которые водитель выполняет при рулении. Для обеспечения управления самоходной машиной на плоской поверхности и по определенной трассе необходимо решить следующие проблемы:

- определение фактического положения машины;
- сопоставление фактического положения с желаемым (идеальным или контрольным положением);
- определение корректировочной величины на основании предыдущего сопоставления;
- корректирование, например, установление угла поворота в зависимости от ранее определенной корректировочной величины (управление по разомкнутой цепи).

Автоматический контроль рулевого управления можно обеспечить при помощи целого ряда различных систем:

1. Косвенное управление самоходным средством (осуществляемое оператором);
2. Управление самоходным средством по директрисам;
3. Управление водителем с частично автоматизированным рулевым управлением (полуавтоматическое рулевое управление).

Мы не будем подробно рассматривать возможности косвенного управления самоходным средством оператором (как тракторов, так и самоходных сельскохозяйственных машин). В связи с тем, что эти две системы (направляющие устройства и радиотелеуправление) не могут рассматриваться как подлинные автоматические процессы. Управляемое самоходное средство должно находиться по крайней мере в пределах прямой видимости обслуживающего персонала.

Были проведены многочисленные испытания по управлению самоходными средствами по директрисам (рис. 4.1 и рис. 4.2), поскольку такое управление является относительно легко осуществимым. Управление тракторами и сельскохозяйственными машинами по директрисе, проложенной во время первой операции, заключается в сканировании этой директрисы путем использования механического, электрического, оптического или чувствительного акустического элемента (датчика). Что касается тракторов, то кронштейн 1, на котором закрепляется сканирующий элемент 8, устанавливается на раме впереди по продольной оси трактора (рис. 4.3). Этот датчик сканирует механическим способом директрису, которой может являться предыдущая борозда или колея, проложенная в почве.

Если агрегат отклоняется от заданной траектории, то через кронштейн 1 сигнал рассогласования передается на золотник 4 гидроусилителя 5, а тот через шток 6 поршня на тягу рулевого управления 7, в результате чего ошибка ликвидируется и тракторный агрегат выводится на заданную траекторию. Редукционный клапан 3 ограничивает верхний предел высокого давления гидросистемы, развиваемого шестеренчатым насосом 2. Это автоматическое управляющее устройство может обеспечивать качественную работу на скорости до 14 км/ч.

Было отмечено, что при механическом сканировании заданной директрисы, которая во время каждого захода вновь определяется для нового захода, небольшие неровности усиливаются. Поэтому автоматическое управление возможно только при осуществлении определенного числа заходов, после чего оператор должен вновь принимать необходимые меры. Кроме того, требуемая величина может быть неправильно зарегистрирована, если борозда частично заполнена. Камни и комья земли могут также препятствовать точности сканирования датчиком фактической величины.

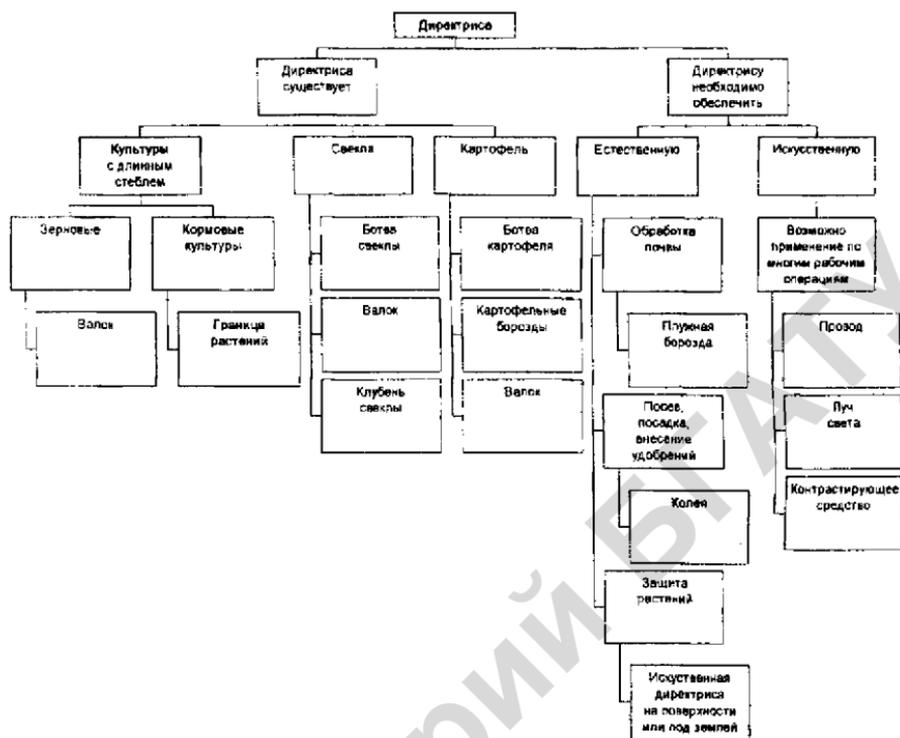


Рис. 4.1 Возможные директрисы для автоматического управления тракторами и сельскохозяйственными машинами



Рис. 4.2 Возможные директрисы для автоматического управления тракторами и сельскохозяйственными машинами

Так называемый гироскопический курсопрокладчик, используемый в автоматической навигации и аэронавигации, позволяет точнее записывать требуемую величину директрисы. Эта система основана на физическом принципе, согласно которому угловой момент свободно подвешенного и с большой скоростью вращающегося тела имеет особую ориентацию, которая принимается за требуемую величину. Меняющийся угол курса (угол между направлением углового момента и положительной осью самоходного средства) нагружает гироскоп инерционными силами, которые замеряются и передаются в замкнутую цепь управления в качестве фактической величины.

Таким образом, если удастся объединить механическое сканирование директрисы с этой гироскопической системой, то можно будет постоянно корректировать невращающуюся ось средства. Конечно, такая система является весьма дорогостоящей, особенно если предъявляются высокие требования к подвеске. Она вряд ли представляет практический интерес в сельском хозяйстве.

Помимо естественных директрис существуют искусственные директрисы, которые также можно использовать для автоматического рулевого управления. Среди них следует отметить проложенные под землей ведущие кабели, по которым проходит переменный ток и которые известны так же, как индуктивные провода. Самоходное средство может управляться как непосредственно вдоль такого кабеля, так и на некотором расстоянии от него. Обе эти системы функционируют примерно одинаково. Переменный ток с частотой от 1 до 10 кГц создает магнитное поле. Напряженность магнитного поля регистрируется первичным элементом (датчиком), состоящим из двух катушек. Индуцированный ток в обеих катушках одинаков, если провод проходит точно между катушками, т.е. если самоходное средство движется точно по проводу. Если же первичный элемент отклоняется в сторону, то в катушках индуцируется ток разного напряжения и соответствующие данные передаются цепи управления. Максимальный угол поворота определяется в зависимости от разницы потенциалов.

В системе, основанной на использовании двух направляющих кабелей, проложенных на довольно большом расстоянии друг от друга, интенсивность намагничивания определяется записывающей головкой из трех катушек. Расстояние между направляющими кабелями может составлять 100 метров. Регистрирующая головка отмечает интенсивность и компоненты магнитного поля, и в зависимости от выбираемого соотношения тока и частоты, самоходное средство может передвигаться по различным направлениям параллельным направляющим кабелям. Прокладка кабеля в этой системе связана с существенными дополнительными расходами. Кроме того, кабели должны прокладываться таким образом, чтобы не препятствовать рабочему процессу.

До сих пор о примерах практического использования самоходных средств, управляемых по индукционному способу, в широких масштабах сообщали лишь промышленные предприятия. По этому способу осуществляется управление тележками на заводах или складах. Направляющий провод, проложенный на глубине 10 мм, по которому проходит переменный ток с частотой 10 кГц создает электромагнитное поле. В катушках сканирующей головки — тележки индуцируется потенциал, который после усиления приводит в действие управляющий механизм. Перед отправлением тележки в ее микрокомпьютер могут вводиться в виде программ данные о маршруте, работе рычагов и остановках тележки.

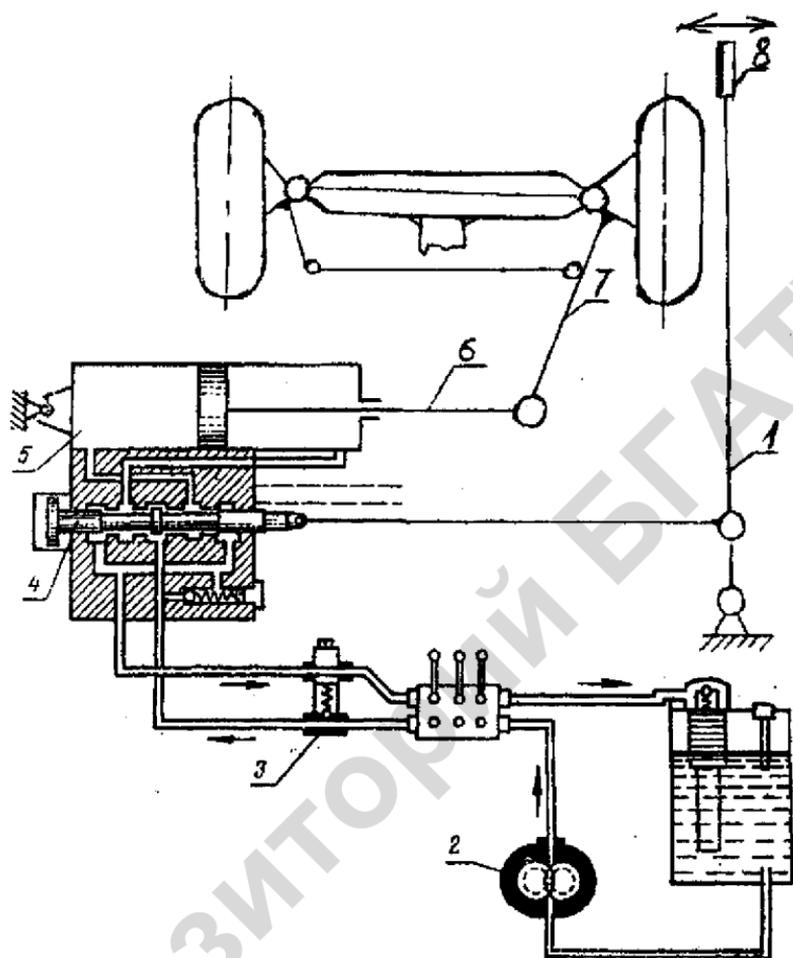


Рис. 4.3 Принципиальная схема автоматического управления мобильным агрегатом: 1 – кронштейн; 2 – насос; 3 – клапан; 4 – золотник; 6 – шток поршня; 7 – тяга рулевого управления; 8 – сканирующий элемент

4.1.3 Системы автоматического регулирования технологических процессов в мобильных сельскохозяйственных машинах

В тракторных агрегатах, помимо автоматического рулевого управления, элементом автоматизации является механизм подъема навесного плуга. Помимо управления механизмом подъема — регулирование постоянной тяги, регулирование глубины обработки, регулирование сочетания двух вышеупомянутых параметров, регулирование вращающегося момента двигателя. Следует упомянуть об автоматическом регулировании глубины пахоты у боль-

ших плугов. В данном случае регулирование может производиться не только с помощью механогидравлических, но и электрогидравлических систем. Последние имеют то преимущество, что их различные компоненты можно группировать на большом расстоянии друг от друга и что импульсы, посылаемые регистрирующим устройством с переменной емкостью в цепь регулирования, передаются в виде электрического тока. Эта цепь подает команды элементам гидравлического управления. Современные плуги, с большой шириной захвата, могут допускать чрезмерные колебания заглупления. Такие колебания отмечаются у навесных тракторных плугов — в основном в их задней части, — у которых механизм подъема регулируется обычным способом, и у полунавесных плугов — в передней части плуга. Выравнивание можно обеспечить посредством «двойного» регулирования, т.е. регулирования глубины на обоих концах плуга.

Комбайны. Управление комбайнами можно автоматизировать с целью повышения рабочих характеристик и качества работы. В частности, существуют возможности в области автоматического регулирования:

- скорости движения, в зависимости от: пропускной способности, потерь, от нагрузки на двигатель;
- скорости молотилки в зависимости от пропускной способности;
- высоты среза;
- сочетание ряда систем.

Поскольку непосредственное определение плотности культур перед режущим аппаратом не представляется возможным, косвенно регулируемыми величинами служат прогибы и крутящие моменты в различных рабочих узлах. Такие рабочие узлы существуют на всех комбайнах серийного выпуска.

При регулировании скорости в зависимости от пропускной способности измеряются прогибы цепи наклонного конвейера и ролика наклонного конвейера, а также крутящий момент на валу режущего аппарата, наклонного конвейера и молотильного барабана. Испытания показали, что механический привод не позволяет точно регулировать скорость в зависимости от пропускной способности, поскольку инерция V-образного ременного регулятора препятствует реакции на быстрые колебания пропускной способности. Разработана комплексная система регулирования скорости вождения и вращения барабана в зависимости от пропускной способности. Пропускная способность измеряется на подающем шнеке и переднем ролике конвейера.

Комплексное регулирование скорости вращения и вращения молотильного барабана позволяет повысить скорость вождения на 20-40% без какого-либо изменения уровня потерь. Система регулирования скорости вождения в зависимости от потерь (клавишные соломотрясы и решета) вряд ли найдет применение в условиях уборки урожая, поскольку до сих пор потери не могут быть точно определены. Однако в США такие системы применяются уже в течение некоторого времени. Устройства, регистрирующие потери, получили широкое распространение, но проблемы возникают в тех случаях, когда они устанавливаются на машине. Всегда регистрируются только абсолютный показатель потерь в кг на единицу времени, в то время как характер района и

производство на единицу площади не учитывается. Невозможно также автоматически корректировать эту систему в зависимости от изменения условий сбора урожая (содержание влаги, вид зерновых, степень созревания).

Высота среза может регулироваться с помощью различных способов. Если датчики установлены под жаткой, то регулируемая переменная регистрируется сзади режущего аппарата. В качестве индикаторного элемента можно использовать также колосоподъемники.

Автоматическая корректировка мотовила связана с целым рядом проблем, объясняющихся большим числом условий корректирования и зависимостью от других условий корректирования, как, например, высота среза и скорость вождения. Проблема всех измерительных элементов состоит, в конечном счете, в правильном монтаже, обеспечивающем возможность своевременной регистрации положения, подлежащего регулированию.

Защита растений. Весьма высокая эффективность веществ, предназначенных для защиты растений, требует использования сложной технологии при их применении. При опрыскивании площади полевыми опрыскивателями могут наблюдаться колебания в скорости вождения при неизменном расходе раствора за единицу времени, что приводит к неравномерному опрыскиванию, т.е. недостаточной или чрезмерной дозировке.

Как правило, используемый при опрыскивании раствор, представляет собой эффективное вещество, содержащееся в определенной концентрации в резервуаре транспортного средства. Изменять дозировку опрыскиваемой смеси можно в основном с помощью изменения давления и поперечного сечения наконечника разбрызгивателя.

Регулирование количества жидкости и/или эффективного вещества в зависимости от скорости вождения может осуществляться при помощи сигналов, сила которых пропорциональна скорости вождения, например, с учетом оборотов вала отбора мощности на двигателе или передаточном механизме. Однако следует учитывать выбранную скорость и колебания, обусловленные возможным проскальзыванием. Поэтому скорость следует по возможности регистрировать с помощью исключаяющего проскальзывание прицепного сканирующего колеса.

Однако французская фирма разработала интересное решение, заключающееся в создании зависящего от скорости давления выпуска, которое приводит в действие дроссельную заслонку в обратном потоке рабочего цилиндра. Другая фирма использует зависящий от скорости вождения напор гидростатического насоса.

Более точная, хотя и с технической точки зрения более сложная система регулирования, заключается в постоянном измерении количества разбрызгиваемой жидкости и сопоставлении его с количеством, пропорциональным скорости вождения. Таким образом, в зависимости от результатов такого сопоставления, выход корректируется в соответствии со справочной переменной.

Практическое применение систем регулирования в области защиты растений связано с большими технологическими затратами.

Силосоуборочные комбайны с жаткой ручьевого типа. В частности, речь идет о свеклоуборочных и картофелеуборочных комбайнах. Как в случае прицепного свеклоуборочного, так и самоходного свеклоуборочного комбайна предметом автоматизации является точное управление машиной и подъемными механизмами. Вопрос заключается в том, чтобы обеспечить возможность управления одним оператором. Отклонения от ряда свеклы, зарегистрированные сканирующим устройством, передаются электрогидравлическим способом и приводят в действие рабочий цилиндр, установленный на сцепном устройстве и/или ведущей оси. Работа подъемных механизмов дополнительно регулируется посредством точной корректировки в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В большинстве случаев это достигается с помощью сканирующего колеса. Для того, чтобы избежать повреждения свеклы сканирующим колесом, на некоторых машинах обеспечивается регулирование выноса сканирующего колеса с помощью гидростатической передачи. Самоходные машины обычно оборудуются гидростатической передачей или рулевым управлением с гидростатическим усилителем.

Разработаны системы автоматической сортировки и для отделения картофеля от камней и комьев, с помощью рентгеновского излучения. Сепаратор, работающий по методу рентгеновского излучения, является относительно дорогостоящим и имеет невысокие рабочие характеристики. Более перспективными являются мероприятия, направленные на подготовку семенного ложа, таким образом, чтобы удовлетворялись требования, предъявляемые машинами, улучшались условия обработки почвы и сокращалось количество ботвы и сорняков, а также повышалась эффективность работы копательных и сортировальных орудий.

Косилки-измельчители. Автоматическое регулирование работы косилок-измельчителей связано с измельчающим аппаратом и автоматическим управлением. Относительно высокие скорости вождения затрудняют процесс точного управления самоходным средством, движущимися вдоль ряда.

Устройства для сканирования ряда, установленные в колпаках, приспособления для уборки кукурузы, слегка ударяют по стеблям кукурузы. Если сила удара, приходящаяся на оба сканирующих элемента, одинакова, то это значит, что ряд проходит точно между двумя колпаками. Если же эта сила неодинакова, то устройство, сканирующее ряд и имеющее дугообразную форму, отклоняется в сторону в результате неравномерного распределения силы удара. Сигналы об отклонении от ряда передаются на электронный контур регулирования, который приводит в действие передатчик угла поворота на мосту с управляемыми колесами. Как только рулевое колесо приводится в действие (например, при повороте на краю поля), система автоматического регулирования рулевого управления выключается.

Следует ожидать дальнейшего развития автоматизированного управления косилками-измельчителями с целью обеспечения регулирования скорости вождения в зависимости от пропускной способности, аналогичного регулированию, применяемому на комбайнах.

Погрузчики сельскохозяйственных продуктов. Погрузчики сельскохозяйственных продуктов, которые работают рядом с уборочной машиной (например, комбайн, силосоуборочный комбайн с жаткой ручьевого типа, косилка-измельчитель), между тем как убираемый урожай постоянно перегружается, могут быть оборудованы автоматическим контрольным синхронным прибором, с тем, чтобы поперечное расстояние между уборочной машиной и погрузчиком и скорость движения оставались постоянными, во избежание возможных столкновений и потери урожая и для облегчения работы оператора погрузчика. Потребностями автоматического контрольного синхронного прибора являются автоматическое управление, как уборочной машиной, так и погрузчиком.

Оборудование для дренажных машин. Автоматическое управление дренажными машинами заключается, главным образом, в автоматическом управлении при движении вперед, а также в регулировании глубины с целью обеспечения равномерных уклонов. Управление машиной осуществляется по лучу света.

4.2 Автоматизация послеуборочной обработки зерна

4.2.1 Технологические основы послеуборочной обработки зерна

На рис. 4.4 представлена обобщенная технологическая схема послеуборочной обработки зерна, согласно которой зерновые культуры после уборки могут поступать на элеватор, или на пункт послеуборочной обработки хозяйства, где оно проходит обработку на зерноочистительно-сушильном комплексе, после чего поступает в зернохранилище. Последняя партия обработанного зерна может храниться в бункерах активного вентилирования. Необходимость в послеуборочной обработке зерна (очистке, сортировке и сушке) вызвана тем, что поступающий из-под комбайнов зерновой ворох наряду с зерном содержит до 20–30% сорных и до 5% соломистых примесей, а влажность зерна в зависимости от климатических условий значительно отличается от допустимой (14%) и достигает 30% и более.

Основным пунктом обработки зерна являются зерноочистительно-сушильные комплексы (КЗР-5, КЗС-10, КЗС-20П, КЗС-40П, КЗС-10Б, КЗС-20Б), используемые в увлажненных зонах, в которых влажность зерна при уборке превышает 18%.

В комплексах КЗС с индексом Ш устанавливаются шахтные зерносушилки типа СЗШ-8 и СЗШ-16 производительностью соответственно 8 и 16 т/ч или с индексом Б — барабанные зерносушилки типа СЗПБ производительностью 2,4 и 8 т/ч на сушке продовольственного зерна.

Бункера активного вентилирования (БВ-12.5, БВ-25, БВ-50) являются эффективным средством предотвращения порчи зерна при временном и длительном хранении. Временно хранится зерновая масса до обработки в поточных линиях во всех случаях, когда поступление зерна превышает производительность очистительно-сушильного комплекса.

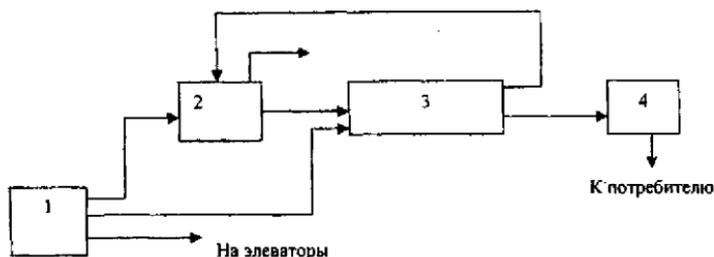


Рис. 4.4 Технологическая схема послеуборочной обработки зерна на зернопунктах колхозов и совхозов: 1 – транспортные средства хозяйства; 2 – бункера активного вентилирования; 3 – зерноочистительно-сушильный комплекс; 4 – зернохранилище

Наибольшее распространение в хозяйствах республики получили зерноочистительно-сушильные комплексы КЗС, техническая схема которого приведена на рис. 4.5. Комплекс состоит из зерноочистительного и сушильного отделений. Зерноочистительно-сушильное отделение включает завальную яму 17, автомобилеподъемник 16, загрузочную двухпоточную норрию 5, машину предварительной первичной очистки 6, сушилку СЗШ-16 с двумя шахтами 10, 12, пять норрий 7, 9, 11, 13, 15, охладительные колонки 8, 14, воздушно-решетные машины 4, триерные блоки 1, централизованную аспирационную систему 3, передаточные транспортеры 2, транспортер отходов 19, комплект зернопроводов и блок бункеров: очищенного зерна 22, отходов 21, фуража 20 и резервные бункера 18. Все машина и пульта управления смонтированы на блоке бункеров, которые одновременно являются их несущей конструкцией и емкостями для промежуточного хранения обрабатываемого зерна. Очистительное и сушильное отделение технологически связаны между собой зернопроводами.

Зерно из кузова автомобиля с помощью автомобилеподъемника выгружают в завальную яму, отсюда загрузочной норрией оно транспортируется в машину предварительной очистки, а затем норриями в шахты сушилки. Из сушилки высушенное зерно подается с помощью норрии в охладительные колонки для охлаждения наружным воздухом, а затем норрией направляются на ветрорешетные машины для дальнейшей очистки и транспортерами на триерные блоки для сортирования.

Очищенные семена и отходы поступают в соответствующие секции блока бункеров.

Зерносушилка СЗШ-16 имеет две шахты. При влажности зерна до 20% поток зерна разделяется и одновременно проходит обе шахты. При влажности свыше 20% весь поток проходит обе шахты последовательно. При параллельной работе шахт зерно норриями равномерно распределяется по двум шахтам. Высушенное и охлажденное зерно норрией подается в резервный бункер, отсюда самотеком поступает на вторую ветвь загрузочной норрии.

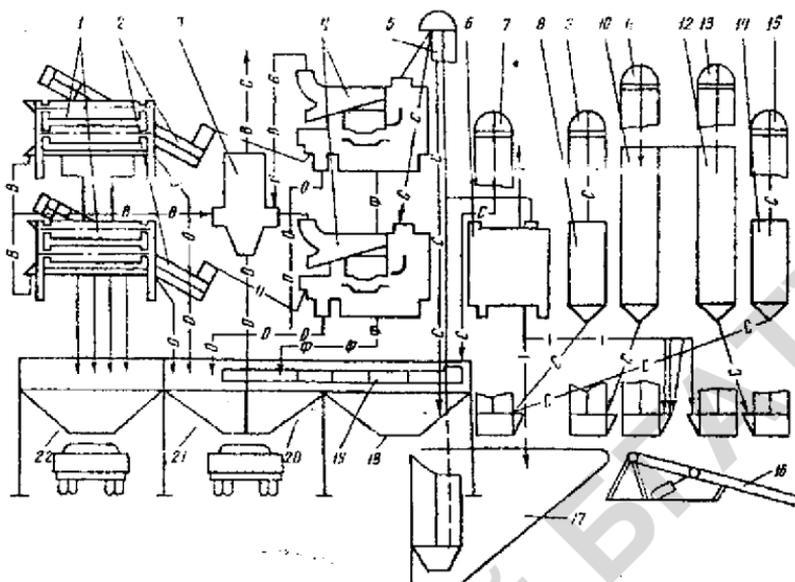


Рис. 4.5 Технологическая схема комплекса КЗС-20Ш: — — чистое зерно; - - - зерно после вторичной очистки; · · · зерно после первичной очистки; · · · · · необработанное зерно; -ф- фураж; -в- воздух; -о- отходы; -с- сухое зерно; 1 — триерные блоки; 2 — передаточные транспортеры; 3 — централизованная аспирационная система; 4 — воздушно-решетные машины; 5 — загрузочная двухлоточная нория; 6 — машина предварительной первичной очистки; 7, 9, 11, 13, 15 — нории; 8, 14 — охладительные колонки; 10, 12 — сушилку СЗШ-16; 17 — завальная яма; 18 — резервный бункер; 19 — транспортер отходов; 20, 21, 22 — блок бункеров: очищенного зерна, отходов и фуража

При последовательной работе шахт зерно из машины предварительной первичной очистки норией направляется в первую шахту. Просушенное зерно разгрузочной кареткой выгружается в норию и перемещается в охлажденную колонку. Охлажденное зерно шлюзовым затвором выгружается из колонки и направляется норией во вторую шахту сушилки. После сушки во второй шахте зерно норией подается в охладительную колонку, откуда через шлюзовой затвор порционно выгружается норией в резервный бункер, а затем загрузочной норией подается на очистку.

В воздушных каналах от зерна отделяются легкие примеси по системе воздухопроводов, выносятся в осадочную камеру централизованной аспирационной системы, где примеси выводятся в секцию отходов, а очищенный воздух вентилятором выбрасывается наружу.

В ветро-решетных машинах зерновая смесь делится на три фракции: очищенные семена, фуражное зерно, отходы. Очищенные семена передаточными транспортерами подаются на триерные блоки, где они дополнительно очищаются от длинных и коротких примесей, не отделившихся в ветро-решетных машинах.

В зависимости от назначения и степени засоренности зерна триерные блоки настраивают на параллельную или последовательную работу цилиндров. Чистые семена и фракции очистки системой зернопроводов направляют в соответствующие бункера.

4.2.2 Автоматизация процесса активного вентилирования зерна

Влажное зерно очень быстро портится при хранении. Из-за увеличенной интенсивности дыхания при повышенной влажности и температуре зерно самосогревается, поражается плесневыми грибами, микроорганизмами и быстро теряет семенные и продовольственные качества. Активное вентилирование — продувание массы зерна холодным или подогретым воздухом — наиболее эффективный прием временного хранения (консервирования) влажного зерна. Активное вентилирование, кроме консервации, предупреждает самосогревание, охлаждает и подсушивает зерновые насыпи.

Круглосуточное вентилирование необходимо, если влажность зерна выше 20%, а относительная влажность воздуха не превышает 90%. В дождливую погоду проводят периодическое вентилирование зерна подогретым воздухом в течение 1,5 часа через 4–5 часов.

Вентилируемый бункер имеет цилиндрическую форму и выполнен из штампованных перфорированных секций. Внутри бункера находится воздухораспределительная труба. Несколько бункеров объединяют в группы. Зерно засыпают между внутренним и внешним цилиндрами.

В основе сушки вентилированием лежит зависимость так называемой равновесной влажности зерна ω от относительной влажности воздуха (рис. 4.6).

Из-за гигроскопических свойств зерно увлажняется при относительной влажности воздуха выше равновесной и подсушивается при влажности воздуха ниже равновесной. Для уменьшения относительной влажности воздуха его подгревают, на каждый 1° нагрева воздуха его относительная влажность снижается примерно на 5%. Обычно воздух при сушке подгревают на $10\text{--}12^\circ$.

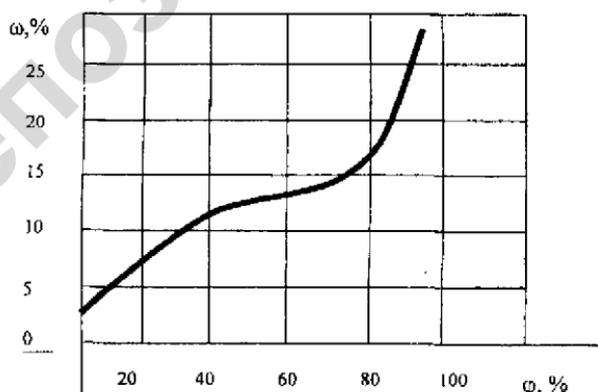


Рис. 4.6 Зависимость равновесной влажности зерна от относительной влажности воздуха

Автоматизация бункеров активного вентилирования зерна предусматривает автоматическое управление загрузкой бункеров, воздухораспределение в бункере, температурой и влажностью зерна и продуваемого воздуха (рис. 4.7).

Нория загружает зерно в бункер, в котором происходит вертикальное и радиальное воздухораспределение

В центре бункера установлена перфорированная воздухораспределительная труба, а внутри нее лебедкой перемещается поршень-заглушка. Разгружается бункер самотеком через люк.

В автоматическом режиме система воздухораспределения работает следующим образом. При включении привода М1 нории контактом КМ1.2 подается напряжение на катушку магнитного пускателя КМ2 (рис. 4.8). Включается привод М2 лебедки на подъем заглушки. Заглушка передвигается вверх, пока не разомкнутся контакты конечного выключателя SQ1 датчика уровня. Окончание загрузки и отключение нории вызывает замыкание контакта КМ1.3 в цепи катушки магнитного пускателя КМ3 реверсивного пускателя привода лебедки и тот опускает заглушку вниз пока датчик положения не коснется зерна и, разомкнув свои контакты SQ2, не отключит катушку магнитного пускателя КМ3. При помощи кнопок SB3 и SB4 можно дистанционно управлять электроприводом М2 вручную, при этом тумблер SA должен быть разомкнут.

Схема управления температурой и влажностью показана на рис. 4.8. Переключатели SA1 и SA2 могут быть установлены в два положения: С — сушка и К — консервация при ручном Р и автоматическом А управлении. Датчики уровня SL1 и SL2 своими контактами контролируют верхний и нижний уровень зерна в бункере. Когда уровень зерна в бункере достигает максимального значения, размыкается контакт SL1, из цепи тока выводится пускатель КМ1, который своими блок-контактами КМ1.4 включает реле времени КТ1 и через замкнутый контакт КТ1 магнитный пускатель КМ4 электропривода вентилятора (переключатели SA1 и SA2 находятся в положениях соответственно С и А).

Влажность воздуха на входе в слой зерна и выходе из него контролируют влагомерами с контактными датчиками SM1 и SM2, которые замыкаются при повышенной относительной влажности воздуха соответственно на входе и выходе бункера. Если влажность зерна повышенная, то выносимая воздухом влага замыкает контакты SM1, в результате чего срабатывает реле KV1, и замыкаются контакты KV1.

Через некоторое время, необходимое для продувания слоя зерна, контакты реле времени КТ размыкаются. Процесс сушки продолжается до тех пор, пока до установленного значения не снизится вынос влаги из зерна. Тогда размыкаются контакты SM1, отключается KV1, и лишается питания пускатель КМ4 электропривода вентилятора. Одновременно размыкающие контакты КМ4.2 включают звонок HA, сигнализирующий об окончании процесса сушки.

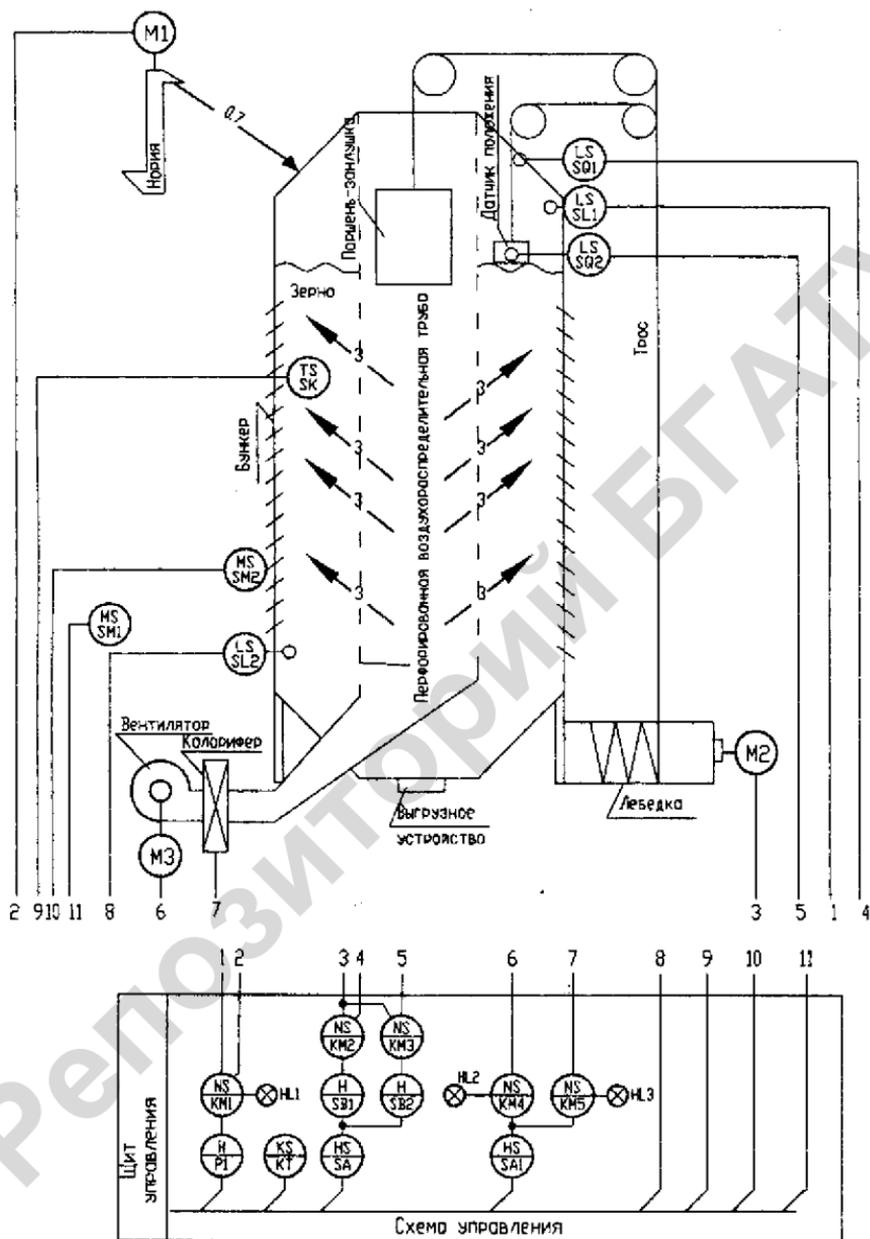


Рис. 4.7 Схема автоматизации активного вентилирования зерна

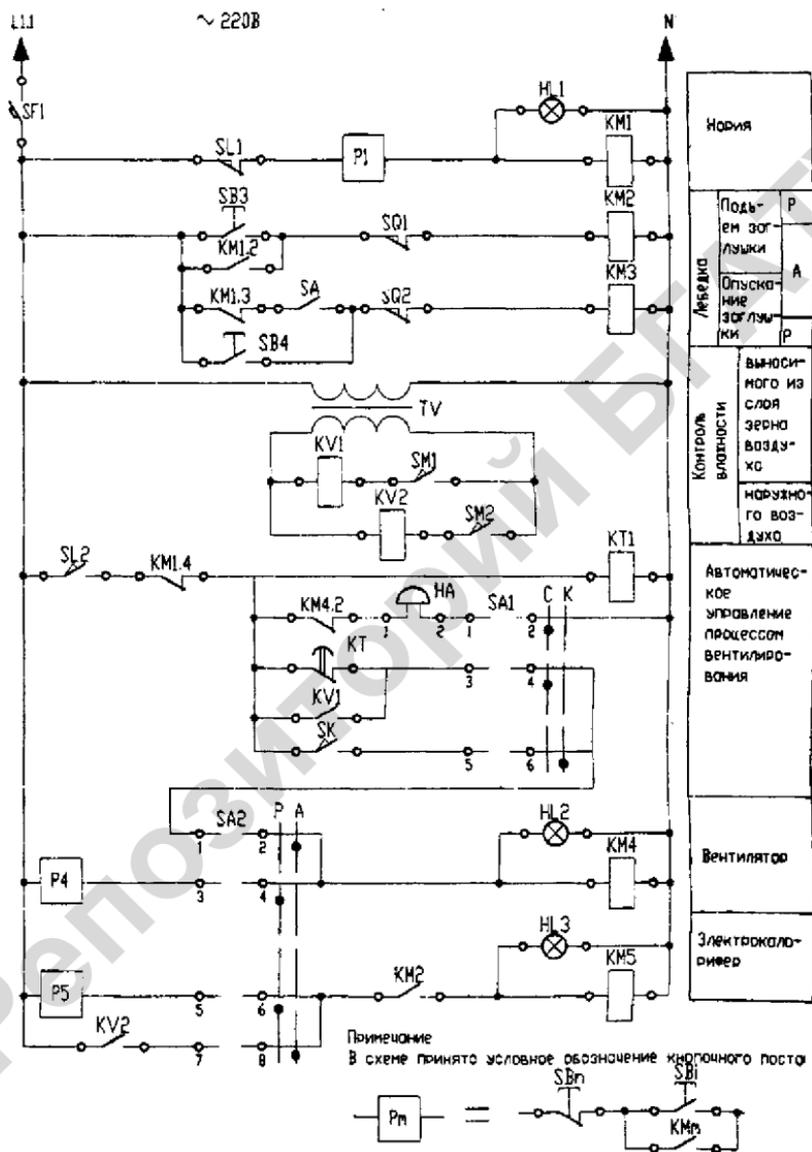


Рис. 4.8 Принципиальная электрическая схема САУ активного вентилирования зерна

Если при включении вентилятора влажность воздуха на выходе ниже равновесной, то выноса влаги не будет. В этом случае вентилятор отключается контактами реле времени КТ1.

Электронагревательные элементы калорифера включаются только при работающем вентиляторе, когда высокая влажность воздуха на входе в зерно. В этом случае замыкаются контакты SM2 влагомера и реле KV2 включает магнитный пускатель KM5 калорифера. Отключается калорифер автоматически в результате размыкания контактов SM2 при снижении влажности окружающего воздуха.

Чтобы задать режим консервации (хранения) зерна, переключатель SA1 ставят в положение *К*. В этом случае управление ведется по температуре зерна, которая контролируется датчиком температуры SK, и магнитный пускатель KM4 включает вентилятор. При этом, чтобы снизить (до 65%) относительную влажность воздуха, его пропускают через электрокалорифер. Вручную оборудованием бункера управляют кнопками, предварительно установив в положение *Р* переключатель SA2.

4.2.3 Автоматизация процессов сушки

Объекты автоматизации процессов сушки. Процессы сушки широко используются при обработке зерна, травы, семян и др.

Сушка — это, с одной стороны, сложный процесс одновременно тепло- и массообмена, а с другой — технологический физико-химический процесс, при проведении которого должны быть не только сохранены исходные свойства материалов, но в ряде случаев даже улучшены. Управление процессом сушки должно осуществляться так, чтобы, по крайней мере, сохранялись питательные свойства и не приводило к ухудшению качества, особенно семенного зерна.

Основным элементом в автоматической системе регулирования (управления) процессом сушки — собственно объектом регулирования является сушилка. Поэтому первым требованием к автоматизированному агрегату является пригодность самого объекта к автоматизации, т.е. возможность эффективного воздействия на процесс сушки изменением параметров режима. Для построения системы регулирования автоматизируемого объекта и выбора ее параметров нужно знать поведение объекта в статике и динамике. Это позволяет решить вопрос о наиболее целесообразном изменении статических и динамических характеристик или синтезе корректирующих элементов для достижения наилучших результатов работы системы автоматизации агрегата.

Экспериментальные методы исследования сушильных установок не отличаются от методов, используемых для исследования других объектов. Аналитические методы исследования связаны со спецификой процесса сушки и на них следует остановиться подробнее.

Существует несколько форм связи влаги с материалом в твердом теле, в соответствии с чем различают поверхностную, сорбционную и кристаллизационную влагу. В процессе сушки высушиваемый материал освобождается

от поверхностной части сорбционной (или только поверхностной) влаги; процесс удаления кристаллизационной влаги — **дегидратацию** — обычно рассматривают отдельно. Процесс сушки в соответствии с двумя формами связи влаги, удаляемой из материала, включает два периода. При удалении поверхностной влаги (первый период) скорость сушки лимитируется фактически только подводом к материалу энергии от внешних источников. На этой стадии порционное давление паров жидкости можно считать равным давлению ее насыщенных паров и перемещение влаги внутри материала практически не сказывается на интенсивности процесса испарения, в результате чего сушка происходит с постоянной скоростью.

Первый период продолжается до того момента, пока влагосодержание на поверхности тела не станет меньше максимального гигроскопического влагосодержания $\omega_{\text{гигр.}}$, т.е. влагосодержания, характеризующего тело, помещенное в среду с относительной влажностью 100%. Величина $\omega_{\text{гигр.}}$ определяется молекулярной структурой материала и его температурой и достигается при некотором среднем, или критическом, влагосодержании $\omega_{\text{кр.}}$. Величина $\omega_{\text{кр.}}$ обусловлена размером и формой тела, интенсивностью сушки и коэффициентом потенциалопроводности.

Удаление сорбционной влаги (второй период) происходит с уменьшающейся скоростью, так как процесс сушки здесь в основном характеризуется перемещением влаги внутри тела. Другими словами на интенсивность сушки в первую очередь влияет скорость поступления влаги из глубины тела к поверхности испарения. В этот период давление паров жидкости над поверхностью тела непрерывно уменьшается. На рис. 4.9 приведены кривые сушки семян подсолнечника при различной начальной влажности.

К настоящему времени сушилки недостаточно изучены как объекты автоматического управления вследствие сложности процессов тепло- и массообмена, происходящих в них; переменности и неизученности законов изменения коэффициентов потенциал- и температуропроводности, изменения формы, размеров и структуры частиц (или их конгломератов) высушиваемого материала; недостаточности экспериментальных данных о кинетике сушки и аэродинамике аппаратов (особенно при сушке в кипящем слое); сложности конструкции некоторых типов сушилок.

Состав и свойства атмосферного воздуха. При конвективном способе сушка зерна осуществляется смесью воздуха с топочными газами или нагретым воздухом (агентом сушки). Агент сушки (в шахтных и камерных зерносушилках) проходит по межзерновому пространству массы зерна. При этом происходит нагрев зерна, поглощение влаги и вынос ее из зерновой массы.

Интенсивность сушки зерна зависит от температуры, относительной влажности и скорости агента сушки (от удельной подачи агента сушки в зерновую массу).

В природе воздух представляет смесь сухих частей воздуха с водяными парами. Абсолютно сухого воздуха в природных условиях не бывает. Состав атмосферного воздуха и содержание в нем водяных паров изменяются, что особенно важно учитывать при его использовании в сушилке. Это

связано с поглощением воздухом влаги из зерна, снижением его температуры и изменением других параметров.

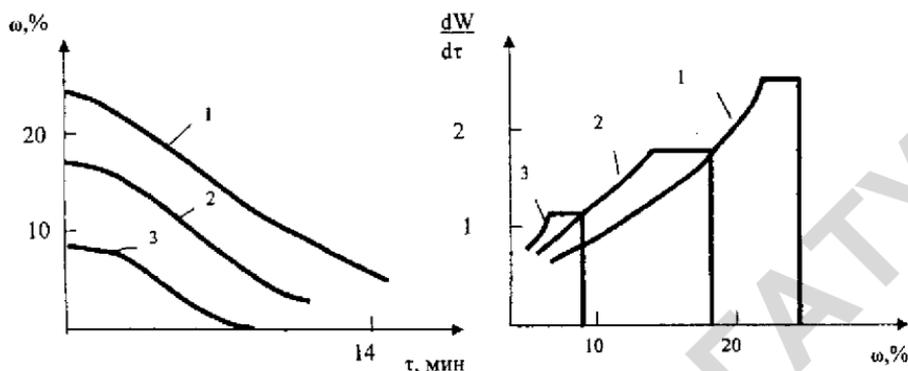


Рис. 4.9. Кривые сушки семян подсолнечника: а – изменения влагосодержания; б – скорости сушки при различной начальной влажности семян: 1 – 25,2%; 2 – 15,4%; 3 – 8,85%

К влажному воздуху или смеси топочных газов с воздухом применимы законы физики или идеальных газов. Основные параметры, характеризующие влажный воздух, следующие: масса, удельный объем, плотность, температура, давление, относительная влажность, влагосодержание и энтальпия (теплосодержание). Состояние влажного воздуха зависит от отношения содержащихся в нем сухой части воздуха и водяных паров.

Общее *давление влажного воздуха* B (Па) можно представить в виде парциальных давлений сухого воздуха и водяного пара, которую выражают формулой Дальтона

$$B = p_{с.в} + p_{п}, \quad (4.2)$$

где $p_{с.в}$ — парциальное давление сухого воздуха, Па;

$p_{п}$ — парциальное давление водяного пара, Па.

Удельный объем влажного V ($\text{м}^3/\text{кг}$) *воздуха* представляет собой отношение объема влажного воздуха к суммарной массе сухого воздуха и пара, входящих в данный объем, его выражают формулой:

$$V = \frac{V_{в}}{m_{с.в} + m_{п}}, \quad (4.3)$$

где $V_{в}$ — объем влажного воздуха, м^3 ;

$m_{с.в}$ — масса сухого воздуха, кг;

$m_{п}$ — масса пара в данном объеме влажного воздуха, кг.

Для расчета удельного объема влажного воздуха к массе сухого воздуха V_0 ($\text{м}^3/\text{кг}$) используют отношение объема влажного воздуха V_B (м^3) к массе сухого воздуха $m_{с.в}$ (кг), т.е.

$$V_0 = V_B / m_{с.в} \quad (4.4)$$

Удельный объем влажного воздуха определяют по справочной таблице [22].

Влажность воздуха ограничена и зависит от его температуры и давления. Воздух насыщен парами, если количество водяного пара доведено до предела. Содержание водяного пара в воздухе оценивают как относительной, так и абсолютной влажностью.

Абсолютную влажность воздуха ($\text{г}/\text{м}^3$) определяют так:

$$\gamma_{п} = G_{п} / V, \quad (4.5)$$

где $G_{п}$ — масса пара, г;

V — объем влажного воздуха, м^3 .

Относительной влажностью воздуха φ (%) называют отношение фактической абсолютной влажности к максимально возможному значению абсолютной влажности при тех же значениях температуры и общего давления влажного воздуха и выражают зависимостью:

$$\varphi = \gamma_{п} / \gamma_{н} \quad (4.6)$$

где φ — относительная влажность воздуха, %;

$\gamma_{п}$ — абсолютная влажность воздуха, $\text{г}/\text{м}^3$;

$\gamma_{н}$ — абсолютная влажность воздуха при полном насыщении, $\text{г}/\text{м}^3$.

Относительная влажность воздуха характеризует способность воздуха насыщаться влагой, **чем ниже φ , тем выше поглотительная способность воздуха.**

С увеличением температуры воздуха относительная влажность воздуха уменьшается, а влагопоглотительная способность увеличивается. Поэтому повышение температуры воздуха (агента сушки), применяемого для сушки, позволяет интенсифицировать процесс сушки зерна.

Влагосодержание d ($\text{г}/\text{кг}$ с. вец.) — это количественное отношение массы пара (г) в данном объеме влажного воздуха к массе сухого воздуха в том же объеме (кг), которое можно представить следующей формулой:

$$d = (G_{п} / G_{с.в}) 1000, \quad (4.7)$$

где $G_{п}$ — количество пара, г;

$G_{с.в}$ — количество сухого воздуха, кг.

Влагосодержание показывает, сколько граммов влаги приходится на 1 кг сухой части воздуха в данном объеме влажного воздуха. **Влагосодержание не зависит от температуры воздуха.**

Количество теплоты, содержащейся в воздухе при данном давлении и температуре, называют **энтальпией** или **теплосодержанием влажного воздуха**. Энтальпию влажного воздуха I (кДж/кг с.в) относят к массе сухой его части и представляют в виде суммы энтальпии сухого воздуха и энтальпии водяного пара.

Приведенные формулы позволяют определить полную характеристику влажного воздуха, если известны температура и его относительная влажность, а для более точных расчетов пользуются $I-d$ — диаграммой. Она дает возможность графически учитывать балансы теплоты и влаги в процессах, изображать соотношение между расходами теплоты и влаги, а также определять параметры и характеристики влажного воздуха в процессе сушки зерна.

Физическую сущность процесса испарения воды со свободной поверхности можно представить так: частицы в виде пара, расположенные на поверхности воды, обладая большей энергией, чем частицы, расположенные внутри, при определенной температуре отрываются от поверхности и проникают через пограничный слой воздуха в окружающую среду. Чем выше температура воды, тем подвижнее частицы и тем быстрее происходит процесс перемещения этих частиц в окружающую среду.

Это видно из формулы:

$$\frac{W}{F} = C(p_n - p_n) \frac{B}{B_1}, \quad (4.8)$$

где W — количество испаренной влаги, кг/с;

F — поверхность испарения, м²;

p_n, p_n — соответственно парциальное давление водяных паров в окружающей среде и давление насыщенных паров над поверхностью жидкости (Па) при данных значениях температуры воды и барометрического давления;

B_1 — барометрическое давление (Па);

B — постоянное барометрическое давление (Па) $B = 760$ Па.

Коэффициент C [кг/(м² · с · Па)] определяют по формуле:

$$C = 22,9 + 17,4 V \text{ или } C = 26,3 + 21,7 V \gamma$$

где V — скорость воздуха у поверхности воды, м/с;

γ — удельная масса воздуха, кг/м³.

При повышении температуры воды возрастают величины p_n и разность $(p_n - p_n)$.

При увеличении давления паров в окружающей среде (при увеличении относительной влажности) процесс испарения замедляется. Скорость воздуха

также увеличивает процесс испарения воды (до определенных значений скоростей).

При $V = 11$ м/с происходит максимальное испарение влаги с поверхности и дальнейшее увеличение скорости воздуха не приводит к положительным результатам.

Для испарения заданного количества влаги W потребность в тепле Q (кДж/ч) определяют по формуле:

$$Q = WZ \quad (4.9)$$

где Z — скрытая теплота преобразования (испарения) при соответствующей температуре воды, кДж/кг (ккал/кг).

Подставив значение W из формулы (4.8) в формулу (4.9), получим:

$$Q = C(p_s - p_a) \frac{760}{B} FZ$$

Количество тепла Q (кДж/ч), передаваемое воде от движущего воздуха в единицу времени, определяют по формуле

$$Q = k(t_0 - t_w) F,$$

где t_0 — температура воздуха, °С;

t_w — температура воды, °С;

F — поверхность испарения воды, м²;

k — коэффициент теплоотдачи, кДж/(ч · м² · К).

Если в формуле теплопередачи от воздуха к испаряющейся жидкости принять F и K постоянными величинами, то интенсивность теплопередачи и, следовательно, испарения будет прямо пропорционально разности температур окружающего воздуха и влаги на поверхности материала ($t_0 - t_w$). Эта разность носит название потенциала сушки, который равен наибольшей величине в начале процесса и достигает нуля в конце процесса, когда $t_0 = t_w$.

Перемещение влаги в зерне происходит с мест с большим влагосодержанием в места с меньшим влагосодержанием и зависит от величины перепада влагосодержания ($\Delta U = U_{ц} - U_{п}$) и коэффициента диффузии.

Коэффициент диффузии (a_m) влаги в материале и поток влаги

$$g_m = a_m \gamma \nabla U$$

$$\Delta n = n_1 - n_2 (\text{М});$$

$$\Delta U = U_{ц} - U_{п} (\text{кг вл. м/кг сух. вещ.})$$

где a_m — коэффициент диффузии, м/с²;

γ — масса сухого вещества в единице объема влажного материала, кг/м³;

∇U — градиент влагосодержания ($\Delta U/\Delta n = \nabla U$), кг. вл. м/кг сух. вещ.;

$U_{ц}$ — влагосодержание в центре зерна, кг. вл. м/кг сух. вещ.;

$U_{п}$ — влагосодержание на поверхности зерна, кг вл. м/кг сух. вещ.

Перемещение влаги внутри зерна также зависит от разности температур на его поверхности и в центре, причем влага перемещается из мест с большей температурой в места с меньшей температурой.

Математические модели сушилок. Для получения динамических характеристик конвективных сушилок можно использовать структурные схемы связи между отдельными параметрами сушилок, причем уравнения звеньев этих схем определяют исходя из уравнений теплового и материального балансов и ряда статических соотношений.

На рис. 4.10 приведена структурная схема исходя из которой можно определить статические и динамические характеристики конвективной сушилки по каналам, связывающим изменения параметров материала и сушильного агента (воздуха) с изменением притока теплоты.

Звено 1 характеризует инерционность процесса теплообмена в сушилке. Его передаточная функция находится из уравнения теплового баланса сушилки:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (4.10)$$

где Q — тепловой поток;

Q_1 — расход тепла на испарение влаги;

Q_2 — испарение тепла на нагревание воздуха;

Q_3 — расход тепла на нагревание материала;

Q_4 — расход тепла на нагревание транспортных приспособлений;

Q_5 — потери тепла в окружающую среду.

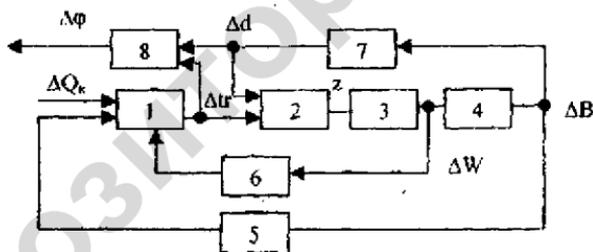


Рис. 4.10 Структурная схема системы управления процессом сушки: 1-8 — звенья

Поскольку влияние Q_3 и Q_4 в тепловом балансе сушилки незначительно, эти величины можно опустить. Тогда определяя Q_1 , Q_2 и Q_5 через параметры материала, сушильного агента и наружного воздуха, записывая уравнения динамики в приращениях, вычитая соответствующее ему уравнение статики и линейризуя полученное выражение, для первого звена окончательно получим:

$$a_2 \frac{d\Delta t_r}{dt} + a_1 \Delta t_r = x_1 \quad (4.11)$$

При этом

$$x_1 = \Delta Q - g\Delta\omega - b\Delta B;$$

$$a_1 = LC_r + 0,47B_0 + \sum_{i=1}^n F_i k_i;$$

$$a_2 = G(C_m + \omega_0 C_b) + P_c C_{ст} + V\gamma_r C_r;$$

$$g = \frac{\Delta t_H}{\Delta\omega_H} m B_0 + G \frac{d\Delta r}{dt};$$

$$b = 595 + 0,47t_r - C_b t_m + \frac{\Delta t_H}{\Delta\omega_H} m (C_m + C_b \omega_0),$$

где P_c — масса корпуса сушилки;

$B = G \frac{d\omega}{dt}$ — массовый расход испаряемой из материала влаги;

$\Delta t_H = t_1 - t_n$ — перепад температур в пограничном слое из поверхности материала;

t_m, t_r — температура соответственно материала и воздуха (газа) в начале процесса;

t_n — температура поверхности материала;

$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_{равн}$ — разность влагосодержаний;

n — число зон, на которые разделяется сушилка при определении ее динамических характеристик;

k_i — коэффициент теплоотдачи в i -й зоне;

L — расход воздуха;

V — объем сушилки;

G — масса материала в сушилке;

γ_r — плотность теплоносителя;

m — масса материала;

$C_m; C_b; C_r; C_{ст}$ — удельные теплоемкости соответственно материала, воды, воздуха, стенки;

F_i — площадь поверхности теплообмена i -й зоны.

Для сушилок непрерывного действия при малых ΔQ коэффициенты a_1 и a_2 в уравнении (4.11) можно считать постоянными, так как $B_0 = idem$ и $\omega_0 = idem$, поэтому передаточная функция звена 1

$$W_{1(p)} = \frac{k_1}{T_1 p + 1}, \quad (4.12)$$

где $k_1 = 1/a_1, T_1 = a_2/a_1$.

Постоянная времени T_1 характеризует инерционность сушилки как теплового объекта. Вследствие изменений во времени величин B_0 и ω_0 , свойственных сушилкам периодического действия, коэффициенты a_1 и a_2 также являются функциями времени. Поэтому для таких сушилок передаточную функцию $W_{1(p)}$ можно рассматривать лишь как первое приближение. Однако в большинстве случаев данная передаточная функция достаточно точно описывает динамические свойства сушилок периодического действия.

Звено 2 является безынерционным.

При малых величинах отклонений от нормального хода процесса связь между изменением условий сушки материала, характеризуемым сигналом Z , и отклонениями параметров воздуха — температурой в начале процесса Δt_2 и влажосодержанием Δd — может быть задана уравнением

$$Z = -h_1 \Delta t_2 + h_2 \Delta d. \quad (4.13)$$

В сушилках непрерывного действия коэффициенты h_1 и h_2 — постоянные, а в сушилках периодического действия они являются функциями времени.

Звено 3 характеризует инерционность процесса влагообмена и описывается дифференциальным уравнением:

$$T_c \frac{d\Delta \omega}{dt} + \Delta \omega = Z, \quad (4.14)$$

где $T_c = 1/A$.

Постоянная времени T_c характеризует инерционность процесса сушки.

В сушилках непрерывного действия величина $T_c = idem$ и, следовательно, передаточная функция звена 3

$$W_{3(p)} = \frac{1}{T_c P + 1}. \quad (4.15)$$

В сушилках периодического действия постоянная времени T_c изменяется в процессе сушки, т.е. в этом случае передаточную функцию $W_{3(p)}$ можно рассматривать лишь как первое приближение. В литературе приводится выражение передаточной функции $W_{3(p)}$ с учетом зависимости T_c от времени.

Звено 4 связывает изменение интенсивности выделения влаги ΔB из материала с изменением среднего влажосодержания и описывается уравнением:

$$\Delta B = -G \frac{d\Delta w}{dt}. \quad (4.16)$$

Его передаточная функция:

$$W_{4(p)} = -GP.$$

Звено 5 определяет изменение расхода тепла, вызванное изменением влажосодержания материала, и имеет передаточную функцию:

$$W_{5(p)} = b$$

Звено 6 характеризует изменение расхода тепла, вызванное изменением влагосодержания материала, и имеет передаточную функцию:

$$W_6(p) = g.$$

Для сушилок периодического действия

$$g = G \frac{d\Delta t_r}{dt} + \frac{\Delta t_r}{\Delta \omega_n} mB.$$

Для сушилок непрерывного действия:

$$g = G \frac{d\Delta t_r}{dt}.$$

Принимая, что $\Delta t_r = (\Delta t_r)_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_0}\right) \right]$,

определим суммарный сигнал обратных связей $X_{o.c}$ через звенья 5 и 6

$$X_{o.c} = -(g \Delta \omega + b \Delta B) \quad (4.17)$$

Подставив в выражение (4.17) значения $\Delta \omega$, g и ΔB и получим

$$X_{o.c} = -Gh_1 (\Delta t_r)_0 \frac{1}{\tau_0} \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_0}\right) (b - \Delta t_r) = -\Delta B (b - \Delta t_r)$$

Из полученного выражения следует, что влияние обратной связи через звено 6 (по $\Delta \omega$) может быть учтено небольшим уменьшением коэффициента усиления в звене 5.

Звено 7 связывает изменение влагосодержания воздуха Δd с отклонением интенсивности выделения влаги ΔB из материала и описывается дифференциальным уравнением

$$Td \frac{d\Delta d}{dt} + \Delta d = k_7 \Delta B, \quad (4.18)$$

где $Td = V/N$ и $k_7 = 1000/L$;

N — подача вытяжных вентиляторов.

Постоянная времени Td характеризует инерционность системы процесса смешения воздуха в сушильном пространстве.

Звено 8 связывает изменение относительной влажности $\Delta \phi$ с отклонением температуры Δt_r и влагосодержания Δd воздуха. При малых отклонениях параметров уравнение звена имеет вид:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 \left(\frac{\Delta d}{d_0} - 2 \frac{\Delta t_r}{(t_r)_0} \right)$$

Исходя из структурной схемы, представленной на рис. 4.10, и уравнений звеньев, получим следующие выражения для передаточных функций

1. По каналу «изменение подачи теплоты — изменение температуры воздуха»:

$$W_{t(P)} = k_1 \frac{1 + T_c^* P}{(1 + T_a P)(1 + T_b P)}, \quad (4.19)$$

$$\text{где } T_{a,b} = \frac{T_1 + T_c^* + K_{0,c,i}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_1 + T_c^* + K_{0,c,i}}{2} \right)^2 - T_1 T_c^*},$$

здесь T_a соответствует знаку «+», а T_b — знаку «-» перед корнем;

$$K_{0,c,i} = k_1 h_1 G b.$$

2. По каналу «изменение подачи теплоты — изменение относительной влажности воздуха»:

$$W_{\varphi(P)} = \frac{\Delta\varphi(P)}{\Delta Q(P)} = - \frac{2\varphi_0 k_1 (1 + T_c^{**} P)}{(t_r)_0 (1 + T_a P)(1 + T_b P)}, \quad (4.20)$$

$$\text{где } T_c^{**} = T_c^* - \frac{(t_r)_0}{2d_0} h_1 k_1 G.$$

3. По каналу «изменение подачи теплоты — изменение влагосодержания материала»:

$$W_w(P) = \frac{h_1 k_1}{(T_a P + 1)(T_b P + 1)}.$$

Уравнения отдельных звеньев в структурных схемах сушилок могут быть получены и экспериментальным путем, но при этом, естественно, теряется общность, и полученная математическая модель действительна только для того типа сушилок, на которые можно распространить результаты эксперимента.

Так как сушка представляет собой процесс тепло- и массообмена, то при математическом описании сушильных установок необходимо составить уравнение теплового баланса и материального баланса по влаге. При этом в ряде случаев сушилку можно разделить на несколько зон, исходя из конструктив-

ных или технологических соображений, и каждую элементарную зону рассматривать как объект с сосредоточенными параметрами.

Аналогичным образом может быть получено математическое описание шахтной зерносушилки непрерывного действия.

Математическая модель процесса сушки зерна в одной зоне описывается пятью уравнениями: теплового баланса для зоны; материального баланса (по влаге); теплообмена между зерном и влажным воздухом; сушки зерна; движения теплоносителя вблизи поверхности материала (алгебраическое).

С помощью системы уравнений, состоящей из четырех обыкновенных дифференциальных уравнений и одного алгебраического, могут быть получены динамические характеристики сушилки по каналам, связывающим влажность и температуру материала на выходе из зоны со следующими четырьмя входными параметрами: давление воздуха в зоне; температура воздуха в зоне; влажность материала на входе в зону; температура материала на входе в зону.

При математическом описании ряда конвективных сушилок их следует рассматривать как объекты с сосредоточенными параметрами.

Если сушилка имеет очень большую длину и существенно различные параметры теплоносителя и высушиваемого материала по длине сушилки, то ее необходимо рассматривать как объект с распределенными по оси аппарата параметрами. По мере высушивания пищевых продуктов условия сушки (параметры теплоносителя) необходимо изменять, чтобы не допустить ухудшения качества продукта. Для удобства управления (изменения параметров теплоносителя по ходу движения материала) часто применяются сушилки с поперечной подачей теплоносителя, что позволяет также интенсифицировать процесс сушки.

При исследовании динамики сушилки с поперечной подачей сушильного агента рассматривают ее как объект регулирования влагосодержания материала на выходе из аппарата. Кроме того, в качестве выходных величин можно выбрать изменения температур материала и сушильного агента (воздуха) и влагосодержания (абсолютного и относительного) сушильного агента (воздуха) на выходе из сушилки. Если выходное влагосодержание материала измерить нельзя, эти параметры иногда могут быть приняты в качестве регулируемых величин. В качестве возмущающих воздействий (входных величин) принимают изменение расхода, температуры и влагосодержания материала и воздуха на входе в сушилку.

При составлении математической модели конвективной сушилки принимаются следующие допущения:

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и транспортирующего устройства и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и транспортирующему устройству постоянны по длине и площади поперечного сечения сушилки, а также по времени.

Кроме того, они не зависят от температур, а коэффициенты теплоотдачи и от расхода воздуха вследствие относительно небольших номинальных значений отклонений температур и расхода.

2. Температура и влагосодержание материала распределены по длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача).

3. Поперечное сечение слоя материала значительно меньше длины сушилки, а скорость воздуха намного больше скорости перемещения материала вдоль сушилки. Относительное изменение параметров воздуха в сушилке, как правило, меньше относительного изменения параметров материала. Учитывая сказанное, принимаем, что температура и влагосодержание воздуха одинаковы по длине и в поперечном сечении слоя материала и равны температуре и влагосодержанию на выходе.

4. Температура транспортирующего устройства в статике равна температуре воздуха на выходе из сушилки.

5. Передачей тепла от воздуха к материалу путем лучеиспускания пренебрегаем.

6. Движение материала по всей площади поперечного сечения аппарата происходит равномерно, без турбулентного смешения.

7. При составлении уравнений сохранения энергии для воздуха и материала учитывают лишь теплоту, затраченную на нагрев «сухого» материала, поскольку теплота, переданная воздухом материалу и затраченная на испарение из него влаги, возвращается обратно воздуху вместе с испаренной влагой. Будем считать, что процесс сушки происходит в периоде уменьшающейся скорости. Для периода постоянной скорости сушки все последующие математические выкладки принципиально не изменятся, а несколько упростятся.

При аналитическом исследовании сушильных процессов необходимо знать конкретные зависимости коэффициентов, входящих в уравнение кривой сушки для данного процесса, от параметров сушильного агента и высушиваемого материала. Режим воздушно-конвективной сушки характеризуется тремя параметрами воздуха: температурой t_r , влажностью d и расходом L . Влияние параметров воздуха на скорость сушки вызвано изменением коэффициента сушки K и равновесного влагосодержания $w_{\text{равн}}$, так как

$$K = K(t_r, d, L) \quad (4.21)$$

и
$$w_{\text{равн}} = w_{\text{равн}}(t_r, d). \quad (4.22)$$

Для выбранной математической модели аппарата с учетом приведенных допущений составляют следующие дифференциальные уравнения:

1. Уравнение сохранения энергии для воздуха:

$$LI_1 - LI_2 - \alpha_{\text{ст}} F_M \left(t_{2r} - \frac{t_{1м} - t_{2м}}{2} \right) - \alpha_{\text{ст}} F_r (t_{2r} - t_r) = M_r \frac{dI_2}{dt} \quad (4.23)$$

2. Уравнение сохранения массы для влаги в воздухе:

$$G(w_1 - w_2) + (d_1 - d_2) = M_r \frac{dd_2}{dt} \quad (4.24)$$

3. Уравнение сохранения энергии для материала:

$$C_m G \frac{d t_m}{d \bar{y}} + C_m t_m \frac{d G}{d \bar{y}} - \alpha_{\text{гк}} F_m (t_{2r} - t_m) + \frac{d}{d t} (C_m M_m t_m) = 0. \quad (4.25)$$

4. Уравнение сохранения массы для сухого материала:

$$\frac{dG}{d\bar{y}} + \frac{dM_m}{dt} = 0. \quad (4.26)$$

5. Уравнение сохранения массы для влаги в материале

$$G \frac{d w}{d \bar{y}} + \omega \frac{d G}{d \bar{y}} + k F_m (w - w_{\text{равн}}) + \frac{d}{d t} (M_m w) = 0. \quad (4.27)$$

6. Уравнение сохранения энергии для транспортирующего устройства:

$$\alpha_{\text{рт}} F_r (t_{2r} - t_r) = C_r M_r \frac{d t_r}{d t}. \quad (4.28)$$

где $y = y/l$;

l — длина аппарата;

y — текущая координата;

I — энтальпия воздуха;

F — площадь поверхности;

M — масса;

G — расход материала;

L — расход воздуха;

α — коэффициент теплообмена;

C — удельная теплоемкость.

Индексы: 1 — вход; 2 — выход; М — материал; Г — воздух; Т — транспортирующее устройство.

Зерно как объект сушки. Для того, чтобы раскрыть процесс сушки и влияние его на качество зерна, необходимо рассмотреть строение, а также химический состав зерна и его составных частей.

Прежде всего нужно обратить внимание на влагу в зерне, которая содержится не только на его поверхности и в капиллярах, но и внутри клеток различных составных частей зерна.

Зерно — живой организм, по своему строению представляет коллоидное капиллярно-пористое тело. Зерно содержит большое количество микропор, микро- и макрокапилляров, по которым влага циркулирует из внутренних частей к поверхности, и наоборот. Влага имеет исключительно важное значение для жизнедеятельности зерна. Избыток влаги приводит к самосогреванию и порче.

Зерно пшеницы и ржи состоит из зародыша, эндосперма и оболочек.

Зерна ячменя, риса, овса, кроме того, покрыты сильно одревесневшими цветковыми оболочками, которые в значительной степени затрудняют

перемещение влаги, как в одном, так и в другом направлении. Плодовые (верхние) оболочки пшеницы и ржи состоят из нескольких слоев плотных одревеневших клеточных стенок с большим количеством капилляров и микропор, через которые пары влаги могут легко проникать из атмосферы в зерно и обратно. Плодовые оболочки не служат препятствием для удаления влаги из зерна в процессе сушки.

Прилегающие к плодовым семенам оболочки состоят из геалинового и алейронового слоев. Они отличаются от плодовых оболочек относительно слабой проницаемостью для паров влаги. Именно эта группа оболочек препятствует быстрому проникновению влаги внутрь зерна и ухудшает процесс сушки при перемещении влаги из внутренних частей на поверхность зерновки.

Зародыш представляет собой главную часть семени, при прорастании которого образуется новое растение. Все ткани зародыша состоят из живых клеток, чувствительных к температурному воздействию. Эндосперм, заполняющий всю внутреннюю часть зерна, состоит из тонкостенных клеток, наполненных сухой протоплазмой и крахмальными зернами. Эндотерм не содержит живых клеток, он служит хранилищем запасных питательных веществ для зародыша.

Влажность зерна зависит от района произрастания растения, способа и времени уборки, хранения и т.д. В зависимости от содержания влаги зерна отдельных культур, подразделяют на сухие (14%), средней сухости (от 14 до 16%), влажные (от 16 до 18%), сырые (свыше 18%). Для различных культур эти величины несколько изменяются.

Способность зерна или зерновой массы поглощать и отдавать влагу называют гигроскопичностью зерна.

Это свойство зависит от характера строения и химического состава зерна. Гигроскопичность отдельных частей зерна неодинакова. Наибольшей гигроскопичностью обладает зародыш.

Скорость сушки в большей степени зависит от влажности зерна и формы связи влаги с зерном. Всю влагу зерна можно условно разделить на свободную влагу и гигроскопическую, при наличии которой давление паров над поверхностью зерна ниже, чем давление паров над поверхностью воды. Часть гигроскопической влаги, трудноподдающейся или совсем неподдающейся испарению, называют химически связанной влагой. Химически связанная влага отличается от свободной влаги физическими и химическими свойствами. При температуре 0 °С она не замерзает, находится в переохлажденном виде, плохой растворитель.

В свободном состоянии вода испаряется полностью, если окружающий воздух имеет относительную влажность менее 100%. Установившаяся влажность, при которой наступает определенное равновесие и прекращается перемещение влаги из зерна в окружающий воздух и обратно, носит название *равновесной влажности зерна*. Величина равновесной влажности зависит от температуры и относительной влажности воздуха. Для различных зерновых культур равновесная влажность зерна различна, так как зависит от химического состава зерна.

При увеличении температуры воздуха одной и той же относительной влажности его равновесная влажность снижается, а при одной и той же температуре воздуха с увеличением относительной влажности равновесная влажность воздуха значительно увеличивается. Так, например, равновесная влажность пшеницы при ее температуре 20 °С возрастает с увеличением относительной влажности соответственно:

$$\begin{aligned} \varphi = 20\% - w_p &= 7,8\%; \quad \varphi = 30\% - w_p = 9,24\%; \quad \varphi = 40\% - w_p = 10,68\%; \\ \varphi = 50\% - w_p &= 11,84\%; \quad \varphi = 60\% - w_p = 13,1\%; \quad \varphi = 70\% - w_p = 14,3\%; \\ \varphi = 80\% - w_p &= 16,02\%; \quad \varphi = 90\% - w_p = 19,95\%. \end{aligned}$$

Как видно из приведенного примера, равновесная влажность значительно изменяется с изменением относительной влажности воздуха. Это связано с увеличением влагосодержания воздуха, т.е. с увеличением количества влаги, содержащейся в 1 кг сухого воздуха. Оптимальная равновесная влажность зерна, обеспечивающая длительное хранение — 14,3%, что соответствует относительной влажности воздуха, равной 70%.

Важное значение для процесса сушки имеет удельная поверхность зерна, которой называют отношение поверхности всех зерен, содержащейся в 1 кг, ко всему объему, занимаемому этим зерном. Процесс сушки протекает быстрее при увеличении поверхности зерна того же объема. Величина удельной поверхности связана с формой и размерами зерна. Чем зерно больше, тем удельная поверхность его меньше.

Объем зерновки можно определить аналитически, опытным путем — с помощью валкуметра или пикнометра.

Большое значение для конструирования и эксплуатации имеет критическая скорость воздуха или скорость витания зерновки, соответствующая условиям равновесия зерна в потоке. Скорость витания — сходный параметр для выбора предельных скоростей агента сушки в зерносушилках (на входе и выходе из коробов, на входе в подогреватели). Скорость витания для пшеницы, ржи, ячменя, овса, риса колеблется от 8,0 до 11,5 м/с; для кукурузы и гороха от 10 до 17 м/с; для семян подсолнечника от 4 до 14 м/с; для гречихи и проса от 2,5 до 9,5 м/с.

По своему химическому составу семена состоят из белка, углеводов, жира, золы, воды, минеральных веществ, витаминов и ферментов. Для сушки зерна большое значение имеет распределение отдельных веществ в различных его частях.

Учитывая то, что зерно живой организм для проведения процесса сушки, важно знать его *термоустойчивость*, т.е. *способность к сохранению в процессе сушки семенных и продовольственных свойств, при той или иной температуре зерна*.

Контроль за правильным процессом сушки продовольственного зерна пшеницы осуществляют по количеству и качеству клейковины и по хлебопекарным достоинствам. Количество остальных зерновых культур продоволь-

ственного назначения до и после сушки проверяют по цвету, запаху, вкусу и трещиноватости.

Контроль за правильным процессом сушки семенного зерна осуществляют по его всхожести.

Сушку зерна осуществляют конвективным способом при непосредственном контакте агента сушки с зерном, что возможно при наличии скважин в зерновой массе. *Скважность* — это отношение объема межзернового пространства ко всему объему зерновой массы. Скважность зависит от формы, размера, шероховатости поверхности зерна и плотности зерновой массы. Скважность для различных зерновых культур колеблется в пределах 37–68%. Для пшеницы скважность составляет до 55%, для овса до 78%, а для клевера, мака, льна — до 40%.

Объемной массой, или натурой зерна называют плотность укладки зерна или массу зерна (кг), содержащегося в 1 м³ объема. Эта величина для зерна различных культур неодинакова и зависит от культуры, влажности и его выполненности.

Воздушное (гидравлическое) сопротивление зернового слоя зависит от толщины продуваемого слоя, скорости воздуха, скважности зерновой массы и состояния поверхности зерен, что можно выразить формулой:

$$\Delta p = 9,81 \times AhW^n, \quad (4.29)$$

где Δp — падение давления, Па;

h — толщина слоя зерна, мм;

W — скорость фильтрации воздуха (скорость воздуха, отнесенная к полному сечению слоя), м/с;

A и n — коэффициенты, зависящие от размеров зерна (соответственно равны для пшеницы, ржи, овса, ячменя, гречихи 1,41–1,76 и 1,41–1,43; для кукурузы и гороха 0,67–0,82 и 1,51–1,55; для проса 2,34–1,38).

По мере увеличения скорости воздуха подъемная сила потока воздуха возрастает и зерновой слой начинает разрыхляться. Чем меньше скважность, тем большее сопротивление оказывает зерно при продувании его воздухом и тем труднее оно сушится.

К теплофизическим свойствам зерна, относящимся к сушильному процессу, принадлежат следующие: теплоемкость, теплопроводность, теплоупроводность. Теплоемкость (удельная теплоемкость) отдельного зерна и зерновой массы практически одинакова, так как масса воздуха в межзерновом пространстве очень мала по сравнению с массой зерна. Теплоемкость зерна зависит от его влажности и температуры. Теплоемкость сухого вещества зерна C_c равна

$$C_c = 1,55 \text{ кДж/(кг·К)} [0,37 \text{ ккал/(кг·К)}]$$

За теплоемкость влажного зерна C_B принимают теплоемкость механической смеси сухого вещества зерна и воды, которую определяют по формуле:

$$C_B = \frac{w}{100} + \frac{100 - w}{100} C_c, \quad (4.30)$$

где w — влажность зерна, %.

Зерновая масса обладает низкой теплопроводностью. Для отдельного зерна теплопроводность принимают равной теплопроводности дерева $\lambda = 0,419-1,676$ кДж/(М[°]С·ч). Температуропроводность зерновой массы незначительно зависит от влажности и температуры зерна.

С повышением влажности в зерновом слое температуропроводность снижается, при влажности 14% будет равна для пшеницы 88×10^{-9} м²/с, ячменя — 84×10^{-9} м²/с. Теплопроводность и температуропроводность единичного зерна выше, чем зернового слоя.

Технологические требования сушки зерна различных культур. Сушка зерна различных культур зависит от строения, консистенции ядра и оболочек, их химического состава. При сушке зерна прежде всего необходим контроль предельно допустимой температуры нагрева зерна. Величину максимальной температуры выбирают в зависимости от биохимических изменений, происходящих в белковом комплексе зародыша и эндосперма и характеризующих степень денатурации белка. Денатурация белков зависит от температуры нагрева, продолжительности сушки и влажности зерна. Скорость денатурации пропорциональна влажности зерна и температуры нагрева.

Основной фактор сохранения качества зерна — правильный выбор режимов сушки. Он связан с экономическими показателями процесса (производительностью, удельным расходом топлива и электроэнергии). Основные параметры, характеризующие режим работы зерносушилок — температура агента сушки, температура нагрева зерна и продолжительность сушки.

При выборе режима сушки следует учитывать скорость агента сушки в зерновой массе, которая определяет количество подаваемого агента сушки (количество подаваемой теплоты в зерновую массу, необходимой для испарения влаги). Процесс сушки характеризуется производительностью зерносушилки при снижении влажности с 20 до 14% (плановая производительность — пл. т/ч); температурой агента сушки (°С); влажностью зерна до и после сушки (%); температурой зерна после сушильной и охладительной шахты (°С).

Зависимость между физической производительностью зерносушилки G (т/ч), массой зерна M (т) и продолжительностью сушки t (ч) выражают формулой:

$$G = M/t.$$

С увеличением экспозиции сушки уменьшается физическая производительность зерносушилки и, наоборот, с уменьшением продолжительности производительность увеличивается.

Плановая производительность G (пл. т/ч) зависит от физической производительности зерносушилки, от начальной и конечной влажности, которая исчисляется по формуле:

$$G_{\text{пл}} = G \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{к}}$$

где $K_{\text{в}}$ — переводной коэффициент, учитывающий количество удаленной влаги в процессе сушки зерна (приводится в справочных таблицах).

Кроме того, коэффициент сушки зерна зависит от культуры и назначения (продовольственное, семенное). Для продовольственного зерна коэффициент сушки, зависящий от культуры ($K_{\text{к}}$), для пшеницы, овса и ячменя равен 1, для пшеницы ценных сортов и сильной, а также для проса — 0,8; для ржи — 1,1; для ячменя пивоваренного — 0,6; гороха — 0,5; гречихи — 1,25; кукурузы — 0,65; зерна риса — 0,4. Для семенного зерна коэффициент сушки, зависящий от культуры, в 2 раза меньше, чем для продовольственного зерна. При сушке высокомасличных семян подсолнечника коэффициент сушки ($K_{\text{к}}$), учитывающий культуру, для влажности семян более 18% равен 1, а для влажности семян менее 18% — 0,5.

При сушке зерна влажностью более 20% в шахтных зерносушилках зерно пропускают два раза, а в рециркуляционных — один. При сушке пшеницы учитывают качество ее клейковины (крепкая, хорошая, слабая) и в зависимости от этого выбирают температурный режим. При сушке зерна в шахтных зерносушилках во второй зоне сушки применяют температуру агента сушки на 10–30 °С выше, чем в первой зоне.

Температуру агента сушки снижают при сушке пшеницы сильных, твердых и ценных сортов для того, чтобы сохранить качество зерна. Зерно, поступающее непосредственно от комбайнов в первые дни уборки, высокой влажности и незрелое необходимо сушить при семенных режимах. Сушку зерна риса проводят при сьеме влаги за один проход не более 3%, а для остальных культур — до 6%, а в рециркуляционных зерносушилках сьем влаги составляет до 10–12%.

В шахтных зерносушилках режимы сушки семенного зерна пшеницы, ржи, ячменя, овса, подсолнечника и других культур влажность 14% могут составлять максимальный нагрев до 45 °С, температура агента сушки — 70 °С. При сушке зерна риса, гороха, фасоли, люпина, вики, чечевицы предельные температуры нагрева — до 35 °С, а температура агента сушки — 60 °С.

На выходе из охладительных шахт температура просушенного зерна не должна превышать температуру наружного воздуха более, чем на 10 °С. При сушке семенного зерна контролируют энергию прорастания, всхожесть и т. д.

Режимы сушки зерновых культур, апробированные в производственных условиях, приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Сушка зерна может быть также использована в борьбе с зараженностью его микроорганизмами и вредителями хлебных запасов, при сочетании температуры нагрева и продолжительности сушки. Режимы термического обеззараживания зерна даны в инструкции по сушке продовольственного, кормового зерна и семян масличных культур.

Таблица 4.1

Высшие пределы температуры агента сушки и нагрева продовольственного и кормового назначения в шахтных зерносушилках

Культура	Начальная влажность зерна, %	Предельная температура зерна °С	Предельная температура агента сушки, °С. в зерносушилках							
			работающих на одноступенчатом режиме	работающих на двухступенчатом режиме		ДСП 32-ОТх2 при последовательной сушке				
				I зона	II зона	первая сушилка			вторая сушилка	
						I зона	II зона	охлаждающая шахта	I зона	II зона
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пшеница: с нормальной клейковинной от 40 до 80 ед	До 17	50	120	110	120	-	-	-	-	-
	От 17 до 20		100	100	120	-	-	-	-	-
	От 20 до 25		100	90	100	90	100	Атм. воз.	110	120
со слабой клейковинной более 80 ед. ИДК	Свыше 25	55	90	80	90	-	-	-	-	-
	До 17 От 17 до 20 От 20 до 25		-	-	-	130	150	150	150	Атм. воз.
твердых, сильных и ценных сортов пшеницы	Свыше 25	50	-	100	110	90	100	Атм. воз.	100	110
	До 20		-	-	-	90	100		100	110
Рожь, ячмень продовольственный	Независимо от первоначальной влажности	60	160	130	160	-	-	-	-	-
Ячмень пивоваренный	До 19	40	80	70	80	-	-	-	-	-
Высокомасличные сорта семян подсолнечника	От 15 до 20 От 20 до 25 Свыше 25	55	-	-	-	-	-	-	-	-
Кукуруза на переработку	независимо от первоначальной влажности	50	150	180	160	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кукуруза на длительное хранение	независимо от первоначальной влажности	50	100	100	130	-	-	-	-	-
Овес	Независимо от влажности	50	140	130	160	-	-	-	-	-
Просо	То же	40	80	80	100	-	-	-	-	-
Гречиха	То же	40	90	90	110	-	-	-	-	-
Рис	Снижение влажности зерна на 3%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Горох и другие бобовые	До 18	40	80	80	100	-	-	-	-	-
	Свыше 18	30	70	70	90	-	-	-	-	-
Соя	До 18	25	60	60	80	-	-	-	-	-
	Свыше 18	25	50	50	70	-	-	-	-	-
Конопляное семя	До 18	45	140	140	160	-	-	-	-	-
	Свыше 18	45	115	115	130	-	-	-	-	-

Таблица 4.2

Режимы сушки зерна в барабанной сушилке СЗСБ-8

Культура	Первоначальная влажность зерна	Предельная температура нагрева	Культура	Первоначальная влажность зерна	Предельная температура нагрева
Режимы сушки продовольственного и кормового зерна			Режимы сушки семенного зерна		
Пшеница	До 18	55	Пшеница	До 18	48
	От 18 до 22	52	Рожь	До 21	45
	Свыше 22	50	Овес	До 27	45
			Свыше 27	43	
Рожь	До 18	65	Гречиха	До 18	40
Ячмень	От 18 до 22	62	Просо	До 18	40
	Свыше 22	60		До 21	38
				До 27	38
		Свыше 27		34	
Овес	До 18	60	Горох, вики, чечевица	До 18	45
	От 18 до 22	55		До 18	45
	Свыше 22	52		До 18	45
Просо	До 18	42	Фасоль, люпин	До 21	45
	От 18 до 22	40		До 27	43
	Свыше 22	38			

Технология сушки зерна. Сушку зерна производят наиболее распространенным конвективным способом, при котором теплота передается к зерну от смеси поточных газов с воздухом или от чистого нагретого (в калориферах) воздуха. Необходимо отметить, что в наиболее распространенных конвективных шахтных зерносушилках наряду с конвективным способом происходит кондуктивный способ сушки (от нагретых подводящих коробов) и контактный (сорбционный), т.е. зерно — зерно, в непродуваемых зонах шахты.

При конвективной сушке зерно (в зависимости от типа зерносушилки) может находиться в неподвижном слое (камерные зерносушилки), малоподвижном слое (шахтные зерносушилки) и падающем слое (рециркуляционные зерносушилки). В зерносушилках для сушки зерна крупяного назначения применяют кондуктивный способ передачи теплоты зерну от нагретых паровых труб, а для удаления влаги из зерновой массы используют конвективный способ.

Скорость кондуктивной сушки зависит от температуры греющей поверхности и толщины зернового слоя. Кондуктивную сушку осуществляют на крупяных и мукомольных заводах для подогрева и сушки зерна.

Наиболее перспективен комбинированный способ сушки, сочетающий конвективный и контактный способ при обработке зерна агентом сушки в плотном подвижном и падающем слоях. Этот способ применяют на хлебopриемных предприятиях.

Конвективная сушка в плотном неподвижном слое получила широкое распространение для сушки сортовых семян кукурузы в початках и другого зерна семенного назначения в камерных зерносушилках с толщиной продуваемого слоя от 1,5 до 3,5 м с расходом агента сушки от 500–1000 м³/ (ч·т) при его скорости 0,2–0,3 м/с.

При необходимости для сушки зерна (с влажностью до 18%) и его охлаждения применяют активное вентилирование зерна, которое используют в складах, элеваторах и на площадках.

В плотном неподвижном слое контакт зерен и поверхность, продуваемая агентом сушки, постоянны. Сушка в неподвижном слое зависит от внешнего тепловлагообмена между зерном и агентом сушки, и в первую очередь от температуры и количества подаваемого агента сушки.

При сушке зерна в плотном неподвижном слое применяют низкие температуры агента сушки, которые близки к допустимой температуре нагрева зерна. Продолжительность сушки в плотном неподвижном слое достигает 100 ч для сушки кукурузы в початках и до 10–20 ч для сушки кукурузы в зерне.

Сушка зерна в малоподвижном гравитационном плотном слое получила наибольшее распространение в технике зерносушения — это *шахтные зерносушилки* с подводными и отводящими коробами, расположенными в шахматном порядке. В шахтных зерносушилках зерно движется сверху вниз, проходя последовательно много чередующихся подводных и отводящих коробов, образующих прямоточное или перекрестное продувание движущегося потока зерна агентом сушки (рис. 4.11). Агент сушки поступает с одной стороны шахты в подводные короба, проходит слой зерна и выходит с противоположной стороны шахты через отводящие короба. Короб представляет собой канал с открытой нижней стороной, через которую агент сушки входит в зерновой слой или выходит из него. Под нижней открытой стороной короба зерно располагается под углом естественного откоса. Для более интенсивного продувания зернового слоя, стенки коробов иногда делают жалюзийными.

Одна из торцевых сторон каждого короба открыта, другая — заглушена. Подводящие короба открыты со стороны входа агента сушки и заглушены со стороны его выхода из шахты. Отводящие короба, наоборот, закрыты со стороны входа и открыты со стороны выхода агента сушки из шахты. Короба изготавливают из листовой стали толщиной 1,5–2 мм. Стенки отходящих коробов с внутренней стороны покрывают антикоррозийным лаком, так как на них может конденсироваться водяной пар отработавшего агента сушки.

Стенки шахт изготавливают из стали, а также из монолитного или сборного железобетона. В сушилках с сетчатыми или жалюзийными стенками толщину продуваемого зернового слоя определяют расстоянием между стенками, обычно оно 200–500 мм. При заполнении шахты, зерно располагается слоями между коробами. Толщина каждого слоя равна расстоянию между подводящими и отводящими коробами. В современных зерносушилках это расстояние принимают 100–200 мм.

При продувании агентом сушки зерна образуются зоны его воздействия на зерно. Это зоны, расположенные возле подводящих коробов, на которые агент сушки действует с максимальной температурой, и зоны затухающего воздействия — это зоны, расположенные возле отводящих коробов, на которые агент сушки действует с минимальной температурой примерно равной температуре зерна. Благодаря расположению подводящих и отводящих коробов в шахматном порядке эти зоны сглаживаются в результате перемещения зерна. Максимально зерно нагревается в зоне подводящих коробов. Разность между температурами в зонах отводящих и подводящих коробов достигает 20 °С.

Сушку в малоподвижном гравитационном, плотном слое осуществляют агентом сушки — чистым нагретым воздухом и смесью воздуха с топочными газами. Агент сушки выполняет роль, как теплоносителя, так и влагоносителя. Температура агента сушки не должна падать ниже определенных пределов, так как с понижением температуры его относительная влажность увеличивается, а влагоемкость — уменьшается.

После сушки в сушильной шахте зерно охлаждается в охладительной шахте, конструкция которой не отличается от сушильной шахты.

Перегрузка зерна из сушильной шахты в охладительную колонку осуществляется с помощью транспортеров.

В охладительной зоне зерно продувается атмосферным воздухом. При прохождении воздуха через слой зерна возрастают его температура и влагоемкость, кроме охлаждения зерна происходит дополнительное испарение из него влаги.

При сушке зерна конвективным способом можно ускорить процесс послеуборочного дозревания.

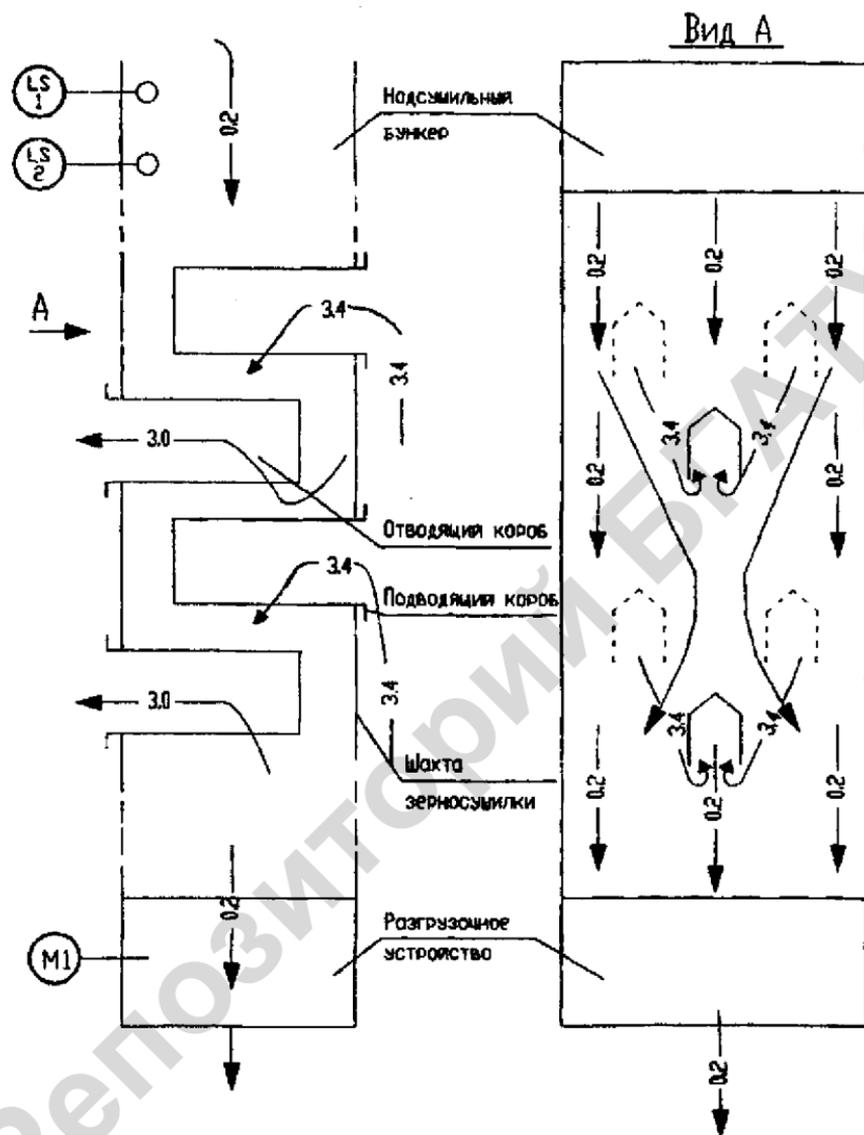


Рис. 4.11 Технологическая схема сушки зерна в шахтной зерносушилке: 0.2 – зерно; 3.4 – теплоноситель; 3.0 – отработанный теплоноситель

Зерносушилки М-819, ВТИ-5, ДСП-32 имеют одну шахту состоящую по высоте из зон: сушильной, промежуточной и охлаждающей. Сушильная и охлаждающая зоны оборудованы коробами.

В верхней части сушильной камеры от верхнего ряда коробов стенки шахты сплошные. Находящийся в этой части шахты слой зерна предохраняет

от утечек агента сушки через верх шахты. При работе сушилки не допускается снижение уровня зерна в шахте над верхним рядом коробов ниже 500 мм. В шахту в специально оставленные в стенах пазы вставлены два затвора, один из которых расположен между сушильной и охладительной камерами, а второй — под охладительной камерой. За каждое открытие затвора из шахты выпускается 300–500 кг зерна, слой зерна при этом опускается на 100–200 мм в шахте. На период запуска сушилки в работу, когда просушивают первую порцию зерна, промежуточный затвор закрывают. Зерно находится в это время только в сушильной камере в неподвижном состоянии. После того, как первая порция зерна будет просушена, затвор открывают, зерно поступит в охладительную камеру, заполняет ее и в дальнейшем промежуточный затвор остается открытым.

Промежуточная зона (не продуваемая ни воздухом, ни агентом сушки) оснащена задвижкой с ручным приводом и датчиками для контроля температуры нагрева зерна, здесь образуется зона его отлежки.

Выгрузка зерна и регулирование производительности осуществляется выпускным устройством, расположенным под шахтой. Шахтные зерносушилки наиболее удобны, просты и нашли широкое распространение для сушки зерна. Производительность шахтных зерносушилок колеблется от 1 до 50 т/ч.

Шахтные прямоточные зерносушилки по режиму работы — непрерывного действия, и применяют их для сушки пшеницы, ржи, ячменя, кукурузы, семян подсолнечника и других культур продовольственного и семенного назначения. В сушильной шахте под действием силы тяжести зерно движется сверху вниз и пронизывается агентом сушки. Зерно движется в шахте сплошной массой со скоростью, определяемой работой выпускного механизма периодического или непрерывного действия.

Необходимый уровень зерна в сушилке контролируется датчиками минимального LS2 и максимального LS1 уровней, которые установлены в надсушильных бункерах (рис. 4.11). Датчики уровня управляют работой порционного разгрузочного устройства: при достижении минимального уровня останавливается электродвигатель разгрузочных кареток М, при достижении максимального уровня и *наличия управляющего сигнала* электродвигатель разгрузочных кареток включается снова.

Исполнительный механизм шлюзового затвора охладительной колонки управляется аналогично.

Поскольку температура нагрева θ и влажности ω зерна на выходе из зерносушилки зависят от температуры θ_0 , расхода L , относительной влажности ϕ подаваемого в сушилку теплоносителя, начальной температуры $\theta_{то}$, исходной влажности ω_0 зерна, скорости V движения и времени t пребывания зерна в сушильной камере, а также конструктивных параметров K сушилки

$$\theta, \omega = f(\theta_0, L, \phi, \theta_{то}, \omega_0, V, t, K), \quad (4.31)$$

то для определения взаимодействия между ними необходимо исследовать математическую модель сушильной камеры.

Аналитически определить взаимосвязь между указанными величинами по модели весьма трудно из-за нелинейности зависимостей между параметрами, рассредоточенности и разных их значений по всему объему сушильной камеры, а также из-за разных физико-химических свойств и форм связи влаги зерна. Остается единственный путь — экспериментальное определение передаточных функций сушилки.

В шахтных зерносушилках выходными управляемыми параметрами являются температура θ и влажность ω зерна на выходе, а входными управляющими параметрами — температура $\theta_{т0}$ теплоносителя и скорость движения V зерна через шахту. Начальные температура θ_0 и влажность ω_0 зерна на входе в сушилку с точки зрения автоматического управления являются мешающими воздействиями. Между остальными параметрами (4.31) связь слабая — с коэффициентом взаимной корреляции менее 0,4, поэтому они в модели рис. 4.12 не показаны, то есть ими пренебрегают.

Все передаточные функции для шахтных зерносушилок равны выражению:

$$W(P) = \frac{k(TP + 1)e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}.$$

Для всех функций шахтной зерносушилки СЗШ-16А $T_1 = 176$ с, $T_2 = 86$ с. Для функций: $W_{11}(P) — k = 0,31$, $\tau = 60$ с, $T = 88$ с; $W_{12}(P) — k = 0,6$, $\tau \approx 1380$ с, $T = 0$; $W_{13}(P) — k = -0,2$, $\tau = 1680$ с, $T = 0$; $W_{14}(P) — k = 13,3$, $\tau = 60$ с, $T = 84$ с; $W_{21}(P) — k = 0,063$, $\tau = 300$ с, $T = 0$; $W_{22}(P) — k = 0,11$, $\tau = 1800$ с, $T = 80$ с; $W_{23}(P) — k = 0,67$, $\tau = 1500$ с, $T = 80$ с; $W_{24}(P) — k = 8,1$, $\tau = 300$ с, $T = 60$ с.

Для других конструктивных решений шахтных сушилок коэффициенты передаточных функций необходимо определять.

Комбинированный способ сушки включает конвективный (при малоподвижном плотном слое и падающем слое) и контактный при обеспечении рециркуляции между сырым холодным зерном и нагретым сухим зерном.

При сушке в падающем слое зерно движется сверху вниз, а агент сушки снизу вверх или перпендикулярно к падающему зерну — в зерносушилках. Падающее зерно находится в подогревателе незначительный промежуток времени (1,5–5 с), в связи с чем используют агент сушки с невысокой температурой 250–350 °С — для зерносушилок типа «Целинная», РД-2×25-70 и У2-УЗБ-50 и 60–200 °С — для зерносушилок А1-УЗМ и А1-УСШ. Нагрев зерна за один подход к камере нагрева составляет 9–22 °С, а снижение влажности зерна 0,3–0,5%.

Небольшой объем влаги при сушке в падающем слое не позволяет использовать данный способ как самостоятельный при создании сушильных агрегатов. Для обеспечения большого съема влаги применяют комбинированный способ сушки — конвективно-сорбционный с использованием (в качестве сорбента) сухого зерна, циркулирующего вместе с сырым зерном в

сушилке по замкнутому контуру. Теплота в комбинированном способе передается зерну конвективным путем, но в дальнейшем происходит ее перераспределение контактным способом при взаимодействии нагретого рециркулирующего и холодного сырого зерна.

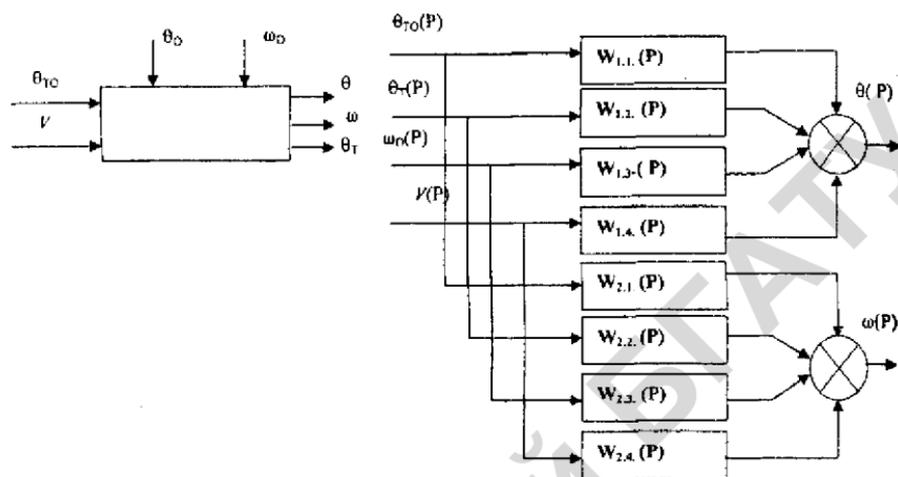


Рис. 4.12 Математическая модель шахтной зерносушилки как объекта управления температурой и влажностью

Рассмотрим три основных варианта рециркуляционной сушки зерна.

Первый вариант: 1) кратковременный нагрев и поверхностное испарение влаги из смеси сырого рециркулирующего зерна при воздействии на него высокотемпературного агента сушки; 2) контактный теплообмен и контактный (сорбционный) влагообмен между сырым и рециркулирующим предварительно нагретым зерном. Смесь зерна поступает в нагревательное устройство, где происходит испарение влаги с поверхности зерна и нагрев зерна до допустимой температуры. После нагревательного устройства зерно поступает в теплооблагодобменник, где влага между сырым и сухим зерном частично перераспределяется, выравнивается температура зерна. В теплооблагодобменнике происходит перераспределение влаги и температуры в отдельных зерновиках. Основная влажность зерна из теплооблагодобменника поступает в зону промежуточного (частичного) охлаждения, где зерно продувается наружным атмосферным воздухом. В зоне промежуточного охлаждения происходит самоиспарение влаги за счет теплоты зерна. Из зоны промежуточного охлаждения зерно возвращается на рециркуляцию. Часть просушенного зерна с заданной конечной влажностью направляют в зону охлаждения, после чего его выпускают из зерносушилки и направляют на хранение.

Процесс сушки в рециркуляционных зерносушилках состоит из циклов, которые включают следующее: кратковременный нагрев с частичной поверхностной сушкой, контактный теплооблагодобмен между сырым и рецирку-

лирующим зерном и частичное охлаждение зерна. Однако его охлаждение приводит к снижению скорости сушки и увеличению расхода топлива, поэтому снижение температуры зерна должно быть небольшим.

Второй вариант: сначала происходит предварительный нагрев сырого зерна до предельно допустимой температуры с частичной сушкой, контактный влагообмен между сухим рециркулирующим и сырым зерном, затем зерно поступает в зону сушки с воздействием на него агента сушки с температурой ниже, чем предусмотрено в инструкции по сушке для прямоточных шахтных зерносушилок.

Процесс сушки включает несколько циклов. Однако за один цикл удаляется значительно больше влаги, чем в первом варианте, и в связи с этим сокращается число циклов.

При втором варианте рециркуляционной сушки зерно не подвергается промежуточному охлаждению, что исключает непроизводительные потери теплоты. Сушка в рециркуляционной шахте происходит интенсивно с использованием теплоты нагретого зерна. В дальнейшем, по мере удаления зоны испарения от поверхности зерновки, скорость сушки замедляется, а температура зерна начинает возрастать и достигает предельно допустимой. Равенство температур в начале и в конце процесса сушки позволяет условно назвать этот режим изотермическим.

Третий вариант. Процесс сушки по этому варианту (зерносушилки А1-УЗМ) отличается тем, что сырое зерно нагревается контактным способом нагретым до предельно допустимой температуры зерном. Дополнительный нагрев зерна в подогревателе происходит при его перекрестном пронизывании агентом сушки. Теплообменник расположен между первой и второй зонами сушки, теплообмен регулируется частичным охлаждением зерна, дополнительный нагрев зерна осуществляется при более низких температурах агента сушки (140–200 °С), чем в первом и втором вариантах (250–350 °С) и при числе рециркуляции от 2 до 5.

Изотермический режим сушки обеспечивает максимальную производительность зерносушилки при высоких технико-экономических показателях. При изотермическом режиме проводят нагрев зерна до предельно допустимой температуры уже на первой стадии сушки, на следующих стадиях поддерживают температуру зерна постоянной, что обеспечивает максимальную скорость испарения влаги из зерна. Такой способ называют рециркуляционно-изотермическим.

При рециркуляционно-изотермическом режиме сырое зерно направляют в камеру предварительного нагрева, где его нагревают в падающем слое при восходящем потоке агента сушки, имеющего температуру около 100 °С и прошедшего камеру основного нагрева, в которую он поступает с температурой 300–350 °С. Затем зерно подается в камеру основного нагрева, где происходит его дальнейший нагрев и смешивание с рециркулирующим зерном. После теплообменника часть зерна поступает в шахту окончательного охлаждения, а остальное зерно — в шахту изотермической сушки, где оно сушится при температуре 100–120 °С.

Барабанные зерносушилки. Барабанные зерносушилки получили широкое распространение для сушки зерна злаковых культур, подсолнечника и др. В системе хлебопродуктов и в сельском хозяйстве применяют сушилки барабанного типа как стационарные, так и передвижные. К стационарным, барабанным сушилкам относят зерносушилки СЗСБ-8 и СЗСБ-8М, к передвижным барабанным сушилкам — СЗПБ-2,5.

Основным элементом барабанных сушилок является горизонтальный или чуть наклоненный вращающийся со скоростью 2–6 об/мин цилиндрический барабан, внутри которого перемещается по длине и сушится зерно. Внутри барабана в зависимости от высушиваемого продукта устанавливают различного типа насадки и продольные лопасти, способствующие интенсификации процесса сушки. Основная характеристика барабанных сушилок — влагонапряжение объема барабана, т.е. количество испаренной влаги с 1 м³ объема барабана. Величина влагонапряжения зависит от типа, степени заполнения и частоты вращения барабана, теплофизических свойств и размеров зерна, а также от температуры; влажности и скорости агента сушки внутри барабана, она колеблется от 6,0 до 44,0 кг исп. вл/(м³ ч). Расход теплоты составляет от 5 230 до 12 500 кДж исп. вл., (от 1 250 до 3 000 ккал/кг исп. вл., а расход электроэнергии от 0,1 до 0,2 кВт·ч/кг исп. вл.

Зерносушилка СЗСБ-8 состоит из топки, загрузочной камеры, сушильного барабана, разгрузочной камеры, охладительной колонки, разгрузочной норин, вентилятора охладительной колонки, вентилятора сушильного барабана, загрузочной норин и приводного механизма.

Топка зерносушилки металлическая цилиндрической формы, работающая на жидком топливе. Она состоит из камеры сгорания, топливной системы питания, вентилятора распыливания топлива, станины, дымовой трубы и блокировочного устройства.

Загрузочная камера установлена рядом с передним торцом сушильного барабана и служит для подачи агента сушки и сырого зерна в барабан сушилки. На верхней стенке камеры установлен патрубок, соединяющий камеру с трубопроводом подачи агента сушки. Дно камеры конусное и заканчивается клапаном-мигалкой, через который излишек сырого зерна можно удалять из камеры.

На передней стенке камеры имеется отверстие для термометра, предназначенного для замера температуры агента сушки.

Разгрузочная камера служит для отвода отработавшего агента сушки и вывода высушенного зерна. Вывод зерна из камеры производится непрерывно при помощи шлюзового затвора, установленного в конце конусного днища камеры. Привод шлюзового затвора осуществляется от электродвигателя через редуктор. Отработавший агент сушки удаляется вентилятором, расположенным над камерой.

Охладительная колонка — вертикальная, образована из двух цилиндров, основная часть которых (нижняя) перфорированная, а верхняя часть — из сплошного листа. Кольцевое пространство между цилиндрами служит емкостью для зерна, в которой происходит его охлаждение благодаря просасыванию воз-

духа через слой зерна. Подача воздуха для охлаждения осуществляется через отверстия наружного цилиндра.

К верхней части внутреннего цилиндра присоединен всасывающий патрубок вентилятора, который отводит отработавший воздух. Дно колонки конусное и заканчивается шлюзовым затвором с приводом от электродвигателя. Работает он периодически. Включение осуществляется датчиком верхнего уровня зерна, когда зерно достигает максимального уровня. Выключение затвора осуществляется датчиком нижнего уровня, который расположен в верхней части охлаждающей колонки. Она установлена на станине, в которую вмонтирован бункер для накопления зерна.

В выхлопном патрубке вентилятора установлен дроссель для регулирования общего расхода воздуха, поступающего для охлаждения зерна.

Зерно поступает через загрузочную камеру в сушильный барабан зерносушилки СЗСБ-8, где лопатки барабана и крестовины подхватывают зерно и поднимают его вверх, затем оно ссыпается вниз и далее перемещается вдоль барабана.

Агент сушки, проходя через барабан, омывает ссыпавшееся с полок зерно и высушивает его. Зерносушилка работает под разрежением во избежание утечки агента сушки через неплотности. Сочленение вращающегося барабана с загрузочной и разгрузочной камерами осуществляется через лабиринтовые уплотнения.

Подпор зерна на выходе из сушильного барабана, создаваемый колодцем с люками, служит для создания необходимого заполнения барабана. Люки открывают только по окончании сушки партии зерна для полного освобождения барабана. Заполнение барабана сырым зерном должно быть максимальным, что соответствует примерно 20–25% его вместимости. При недостаточном заполнении понижается производительность сушилки, и зерно в сушильном барабане начинает перегреваться.

Отработавший агент сушки удаляется вентилятором, расположенным под разгрузочной камерой сушилки. Высушенное зерно непрерывно через шлюзовой затвор отводится из разгрузочной камеры норией в охлаждающую колонку. Здесь зерно перемещается сверху вниз, по пути продувается атмосферным воздухом и охлаждается. Воздух для охлаждения поступает снаружи по всей высоте перфорированной части колонки, проходит через слой зерна во внутренний цилиндр и выбрасывается вентилятором в атмосферу.

В барабанных зерносушилках скорость передвижения зерна по барабану весьма неравномерна, вследствие этого за входные параметры приняты производительность сушилок q и время t пребывания зерна в сушилке. За выходной параметр влажности удобнее, оказалось, взять влагосъем в сушилке за один проход: $\Delta S \omega = \omega_0 - \omega$, где ω_0 и ω — влажность зерна на входе и выходе сушилки (рис. 4.13, а).

Между указанными на моделях параметрами есть прямые связи (связь температуры на выходе и входе, влажности зерна на выходе и входе сушилки) и перекрестные.

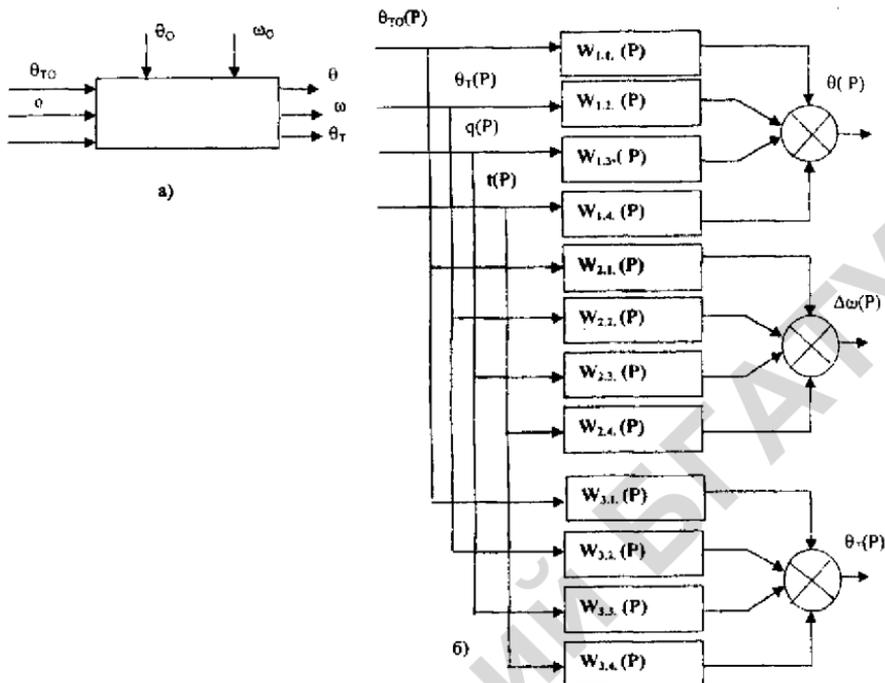


Рис. 4.13 Математическая модель для барабанных зерносушилок как объектов управления температурой и влажностью: а – модель; б – структурная схема

Все передаточные функции для барабанных зерносушилок равны выражению:

$$W(P) = \frac{ke^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$$

Численные значения постоянных необходимо определять экспериментально для каждого конструктивного исполнения барабанной зерносушилки отдельно. Для сушилки СЗСБ-4 коэффициенты приведены в [4].

Коэффициенты приводятся как средние для всей сушильной камеры, а для отдельных зон камеры они могут меняться в широких пределах из-за изменения коэффициента теплообмена по высоте сушильной камеры: коэффициент усиления — в 2-5 раз, постоянная времени — в 1,3-2 раза.

На основании установленных связей для математической модели в общем виде и определения передаточных функций можно синтезировать комбинированную многосвязную систему автоматического управления процессом сушки в шахтных и барабанных зерносушилках. Другими словами, система автоматического управления, должна оптимизировать процесс сушки систем по двум-трем управляемым параметрам: θ , $\omega(\Delta\omega)$, θ_T — при помощи изменения входных величин (температуры теплоносителя θ_T , скорости U или

производительности q и времени t прохождения зерна через сушилку) по отклонению управляемых параметров и с учетом возмущающих воздействий θ_n и ω_0 .

Такая система автоматического управления отечественной электронной промышленностью еще не разработана и управление процессом сушки зерна производится как поточной технологической линией с ручной настройкой отдельных параметров системы.

Схема автоматизации и принципиальная электрическая схема управления зерносушилкой СЗБ-8 приведены соответственно на рис. 4.14 и 4.15.

4.2.4 Автоматизация управления процессом очистки и сортировки зерновой массы

Технологические основы очистки и сортировки зерновой массы. Очистку и сортировку зерновой массы в потоке осуществляют в процессе предварительного и окончательного сепарирования на воздушно-решетной машине (рис. 4.16, а).

Зерновая масса из приемного бункера питателем подается в воздушный канал 1-й аспирации, где воздушным потоком отделяются и выводятся из машины легкие примеси. Затем зерновая масса поступает на решетный сепаратор из четырех колеблющихся решет, расположенных попарно одно над другим и под некоторым углом к горизонту. Верхние решета сортировальные — проходные, т.е. зерно основной культуры через них просеивается, а крупные примеси скатываются (идут сходом) и удаляются из машины. Нижние решета (подвесные) выделяют из потока мелкие примеси, также удаляемые из машины, а зерно основной культуры идет сходом, проходит через воздушный канал 2-й аспирации, освобождается от оставшихся мелких примесей и очищенное зерно покидает машину.

Очистительно-сортировальные машины как объект автоматизации. Работами ВИМа установлено, что существующая система автоматического контроля и дистанционного управления машинами не полностью удовлетворяет требованиям послеуборочной обработки зерна на агрегатах и комплексах и имеет существенные резервы. Оптимизация систем автоматического управления всеми технологическими процессами позволяет повысить производительность машин на 20–25%, снизить простои машин в 4–5 раз, в 2–3 раза уменьшить затраты труда и обеспечить заданное количество обработанного зерна. Этого можно достичь лишь при применении совокупности автоматических устройств, объединенных в оптимальную систему автоматического управления технологическими процессами всего послеуборочного комплекса.

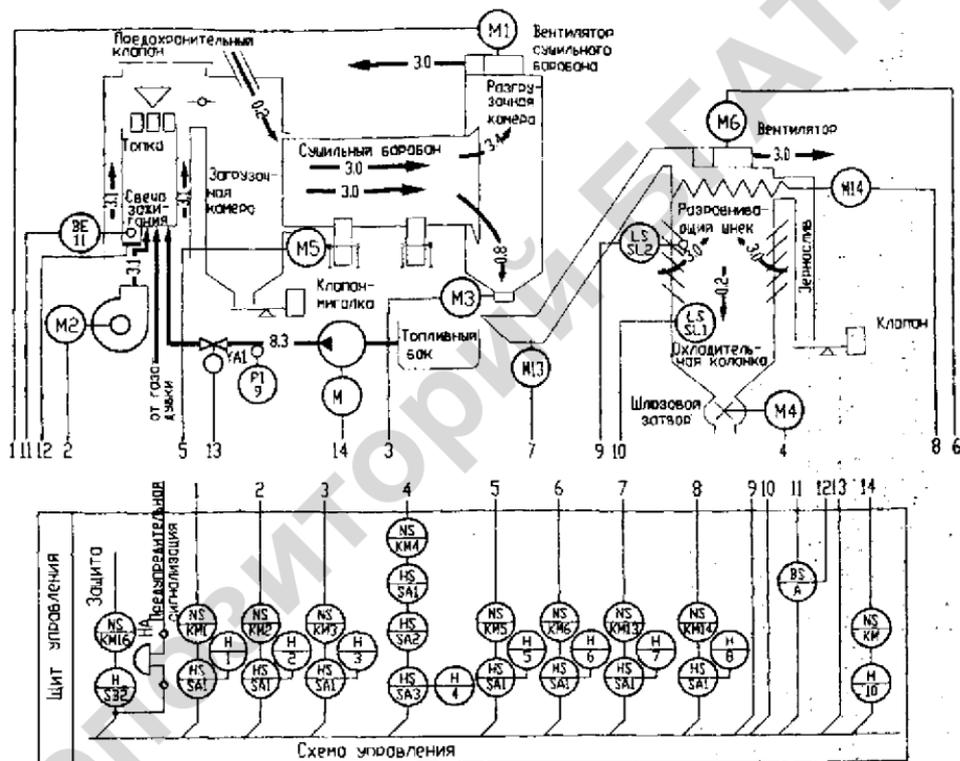


Рис. 4.14 Схема автоматизации САУ оборудования барабанной зерносушилки СЗБ-8

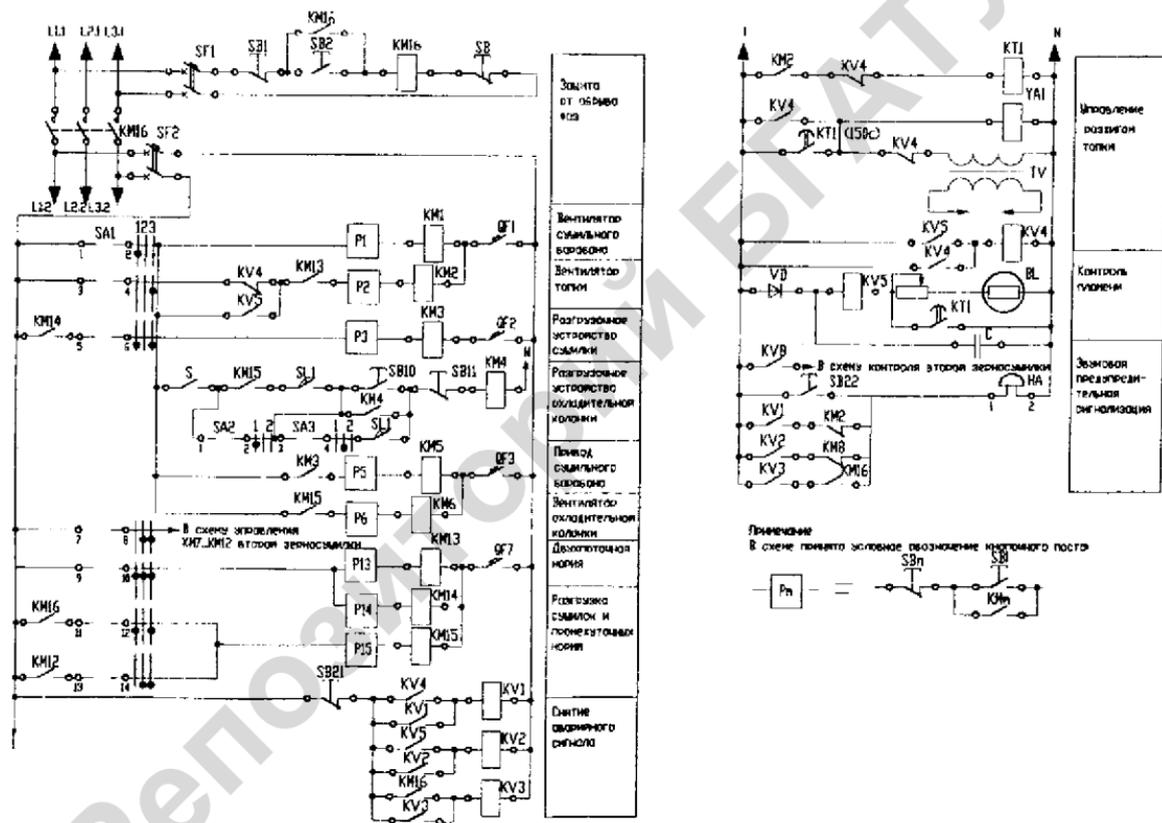


Рис. 4.15 Упрощенная принципиальная электрическая схема управления барабанной зерносушилкой СЗБ-8

Управляющими входными воздействиями являются: подача зерна в машину q_n , скорость воздушного потока в каналах аспирации v и частота колебания решет ω .

Чистота ψ_n , влажность ω и натуральный вес j поступающего зерна представляют собой возмущающие воздействия.

Поскольку чистота ψ_k зерна в основном зависит от подачи зерна q_n и чистоты поступающего в машину зерна ψ_k , а производительность q_k — от подачи q_n , то структурную схему зерноочистительной машины как объекта оптимального управления можно представить тремя апериодическими звеньями первого порядка с запаздыванием (рис. 4.16, в).

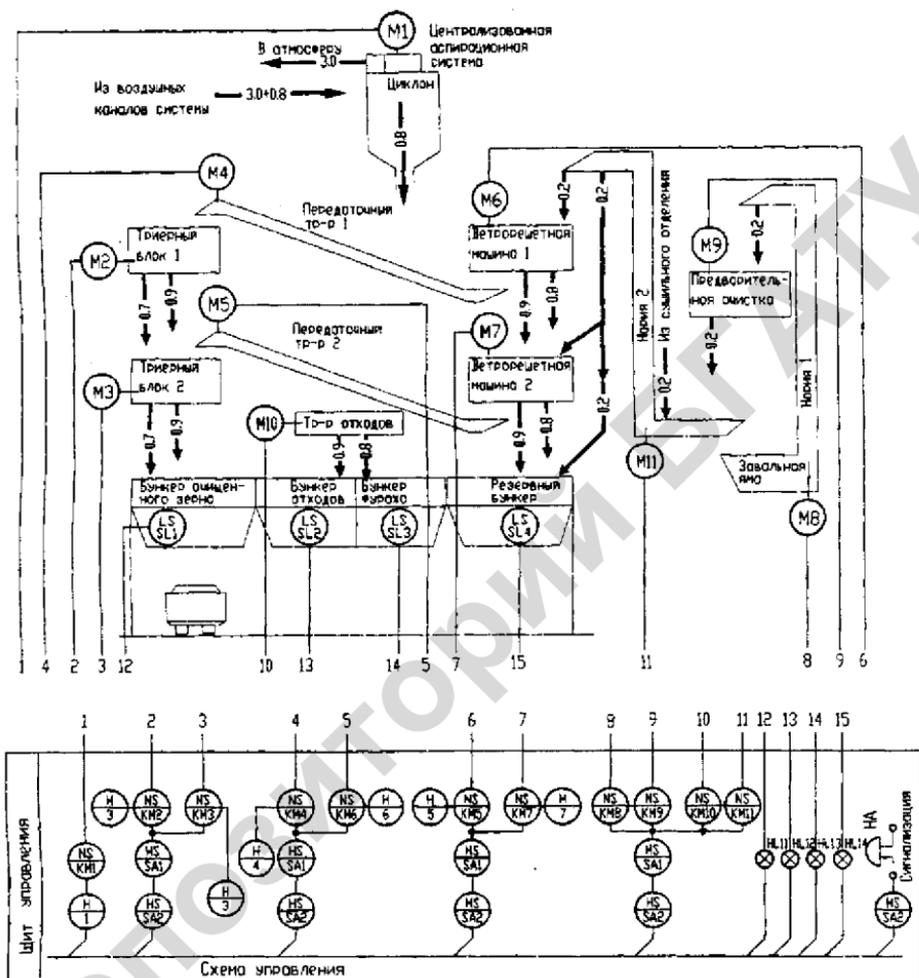
Постоянные времени T_1 , T_2 и T_3 и времени чистого запаздывания τ_1 , τ_2 и τ_3 близки между собой. Для ветрорешетных машин вторичной очистки комплекса КЗС они примерно равны $\tau_1 \approx \tau_2 \approx \tau_3 = 40-60$ с; $T_1 \approx T_2 \approx T_3 = 30-50$ с. Коэффициенты усиления k_1 , k_2 и k_3 зависят от настройки машины и внешних возмущающих воздействий.

Для лучшей очистки должна регулироваться загрузка машины q_n с погрешностью не более $\pm 5\%$ заданного значения.

Для высокопроизводительных зерноочистительных машин с целью получения высококачественной очистки становится экономически целесообразным использовать следующие системы автоматического управления оптимальным процессом очистки зерна: САУ чистотой ψ_k для блока подсевных решет; АСУ содержанием зерна Z_n в отходах каждого канала аспирации и САУ содержанием зерна Z_n для блока решет, отделяющих крупные примеси.

В настоящее время наиболее сложным и практически нерешенным в техническом отношении вопросом является реализация датчиков чистоты сортировки, а также датчики содержания зерна в каналах аспирации и в крупных примесях, в связи с чем, настройка режимов работы ветрорешетных зерноочистительных машин производится вручную и качество работы их в основном зависит от квалификации оператора, обслуживающего комплекс послеуборочной обработки зерна.

Автоматизация процесса очистки и сортирования зерна на агрегатах типа ЗАВ. Высушенное и охлажденное зерно подается в зерноочистительное отделение ЗАВ комплекса, где последовательно проходит обработку на ветрорешетных машинах и триерных блоках (рис. 4.17). При подаче зерна в зерноочистительное отделение в воздушных каналах от зерна отделяются легкие примеси и по системе воздухопроводов выносятся в осадочную камеру централизованной аспирационной системы, где примеси выводятся в секцию отходов, а очищенный воздух вентилятором выбрасывается наружу.



В зависимости от назначения и степени засоренности зерна триерные блоки настраивают на параллельную или последовательную работу цилиндров. Чистые семена и фракции очистки системой зернопроводов направляются в соответствующие бункера.

Принципиальная электрическая схема управления очистительным отделением комплекса КЗС-20Ш показана на рис. 4.18.

В зависимости от количества и засоренности зерновой массы устанавливают в соответствующее положение переключатели SA1 и SA2, которыми задается режим работы оборудования по семи различным вариантам: при переводе переключателя SA1 в положение 3 возможна работа всех машин предварительной, воздушно-решетной и триерной очистки, а также отдельная работа первой или второй линии в зависимости от включения переключателя SA2 (положение 1 или 2). Если переключатель SA1 находится в положении 1, то возможна работа машин в вышеуказанных трех вариантах, но без триерных блоков. Когда переключатель SA1 в положении 2, работает также машина предварительной очистки.

Чтобы предотвратить завал зерна при пуске и остановке машин, последовательность пуска электроприводов машин противоположна движению зерна, а последовательность остановки совпадает с потоком зерна.

В качестве примера рассмотрим работу схемы при включении машин по основному варианту, когда включаются все машины. Сначала включают автоматы QF1–QF5, переключатель SA1 ставят в положение 3, а SA2 в положение 2 и кнопкой SB19 подают предупредительный звуковой сигнал HA о пуске машины, а затем кнопкой «Пуск» кнопочного поста P1 включают в работу электропривод M1 (14 кВт) централизованной аспирационной системы. После этого кнопками «Пуск» включают электроприводы M2 и M3 мощностью по 2,2 кВт, двух блоков триггеров. Передаточные транспортеры и воздушно-решетные машины работают от электроприводов соответственно M4 и M5 (по 1,5 кВт) и M6, M7 (по 1,1 кВт). Их включают кнопками «Пуск» после замыкания блок-контактов KM2.2 и KM3.2 в цепях магнитных пускателей KM4–KM7. Только после этого можно включить кнопкой SB16 через блок-контакты KM6.2 или KM7.2 электроприводы M8 (3 кВт) нории, M9 (1,1 кВт) машины предварительной очистки и M10 (1,5 кВт) транспортера отходов, а затем электропривод M11 (4 кВт) загрузочной нории. Автоматы заслонки нории AZH1 и AZH2 открываются автоматически от блок-контакта KM11.

Останавливают машины в обратной последовательности, нажимая кнопки «Стоп».

В случае переполнения бункеров переключаются контакты датчиков уровня SL1–SL4 и включается звуковой сигнал HA, а соответствующая сигнальная лампа HL11–HL14 гаснет.

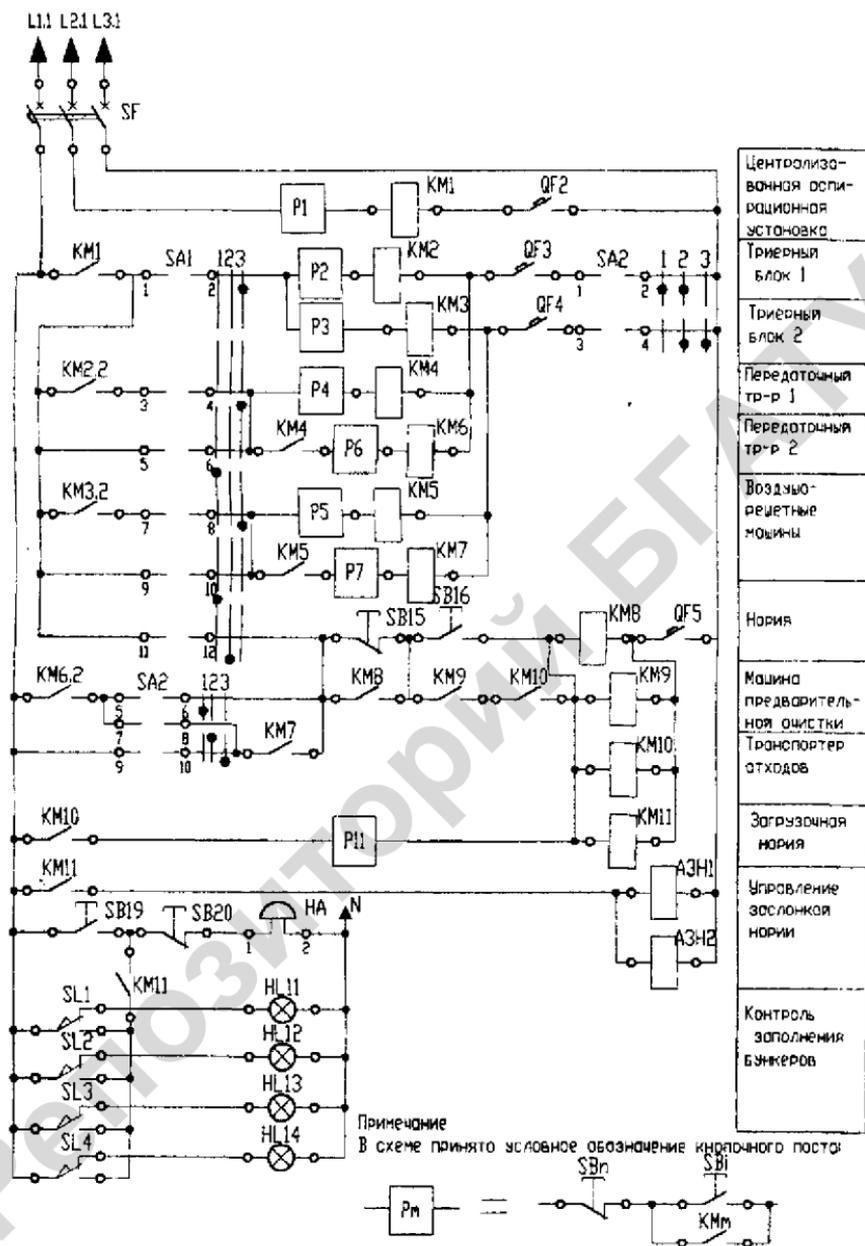


Рис. 4.18 Упрощенная принципиальная схема управления и сигнализации работы оборудования зерноочистительного отделения комплекса КЭС

4.3 Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте

4.3.1 Общие сведения

Согласно научно обоснованным нормам питания, человек должен равномерно в течение всего года потреблять 130–150 кг овощей и 120 кг картофеля.

Однако суровые климатические условия не позволяют получать овощи из открытого грунта равномерно в течение круглого года. В первой половине года поступает населению мене 10% овощей, а в июле-сентябре поступает более 90% огурцов и томатов.

Таким образом, для равномерного потребления овощей в течение года около 25% всего их количества должно выращиваться в сооружениях защищенного грунта (теплицах, парниках, утепленном грунте и т.п.).

Утепленный грунт — это необогреваемые и обогреваемые земельные участки, предназначенные для выращивания рассады и ранних овощей.

Необогреваемый грунт имеет малогабаритные пленочные укрытия или переносные укрытия из матов, рогож, пленок, используемых для укрытия огородных грядок на ночь и на период резких похолоданий. В необогреваемом грунте в качестве источника теплоты используется солнечная энергия.

Обогреваемый грунт в качестве источника теплоты использует солнечную энергию, биотопливо (свежий навоз, растительные отходы), горячую воду или электрическую энергию для обогрева почвы.

Парники — это полностью или частично заглубленные в почву каркасные сооружения со съёмным светопрозрачным покрытием, с небольшой земельной площадью, обслуживаемой снаружи. Парники предназначены для выращивания рассады для открытого грунта и получения ранних овощей. Парники, глубиной 40–80 см, шириной до 140 см любой длины изготавливают из деревянных или железобетонных стен и закрывают стеклянными и пленочными рамами со стандартным размером 1,06 × 1,60 м, а на ночь и на время похолоданий — дополнительно соломенными матами размером 1,2 × 2 м и толщиной 5–6 см. Почва в парниках обогревается солнечной энергией, биотопливом, горячей водой или электроэнергией. Наиболее совершенны парники с техническими видами обогрева, позволяющими легче управлять температурой воздуха и почвы в парниках.

Теплицы — это наиболее совершенный и технически оснащенный вид сооружений защищенного грунта. Теплица позволяет при помощи технических средств выращивать растения в любое время года. В отличие от парников все работы по выращиванию овощей в теплице ведут внутри культивационного сооружения. Теплицы предназначены для выращивания ранних и вне-сезонных овощей, а также рассады для открытого и защищенного грунта.

По виду профиля поперечного сечения теплицы делят на ангарные и блочные.

Ангарные теплицы представляют собой сооружения площадью 600–3000 м² с двухскатной арочной светопроницаемой кровлей без внутрен-

них опорных стоек. Несущими опорами для крыши в таких теплицах являются металлические или деревянные арки, закрепленные непосредственно на фундаментах или на опорных стойках теплицы.

Блочные теплицы представляют собой объединение нескольких ангарных теплиц с заменой примыкающих одна к другой боковых стен опорными стойками. Стыки крыши смежных секций шириной 6,4 м соединяются желобами, которые являются опорой для элементов кровли и служат для отвода дождевой воды. В целом все секции образуют единое помещение площадью от 1 до 3 га.

Благодаря такой компоновке металлические конструкции блочных теплиц изготавливаются на заводах, а теплицы в целом являются самыми экономичными при строительстве.

Оптимальная площадь блочной теплицы 1 га, а тепличного комплекса, состоящего из 3–10 отдельных блоков — 18–60 га.

Достоинства ангарных и блочных теплиц — лучшая освещенность, возможность применения почвообрабатывающих и транспортных машин. Но из-за большой высоты и ширины у ангарной теплицы площадь светопропускаемых ограждений завышена, что увеличивает теплопотери.

По срокам использования теплицы делят на зимние (с круглогодичной работой) и весенние (с работой с февраля по октябрь).

Зимние теплицы в 2–3 раза дороже весенних из-за массивных строительных конструкций и большей насыщенности теплотехническими установками.

4.3.2 Технологические основы управления микроклиматом в теплицах

Процессы фотосинтеза и дыхания — основные факторы, определяющие жизнедеятельность растений.

Фотосинтез — процесс связывания солнечной энергии в сухом веществе растения. Его интенсивность зависит от уровня освещенности, температуры влажности и газового состава окружающего воздуха. **Дыхание** — процесс, обратный фотосинтезу, сопровождаемый окислением углеводов и выделением углекислоты и паров воды. Интенсивность дыхания растений определяется температурой окружающей среды, и не зависит от уровня освещенности. В течение дня интенсивность дыхания обычно значительно ниже, чем интенсивность фотосинтеза, но в ночное время происходит только дыхание растений. При сбалансированности этих процессов и обеспечивается максимальная скорость накопления сухого вещества растением.

В природе существует равновесие между теплотой, поступающей за счет радиации, и её потерей. В теплице это равновесие менее устойчиво, поскольку её ограждение практически не пропускает наружу длинноволновую составляющую теплового излучения (парниковый эффект).

Равновесие, конечно же, наступает, но важно, чтобы оно соответствовало той температуре, которая нужна растению.

Оптимальное значение температуры воздуха зависит от многих факторов и в первую очередь от выращиваемой культуры, стадии её развития и уровня освещённости растений. Низкая освещённость и высокая температура ускоряет фотосинтез и накопление углеводов, необходимых для дыхания и роста растений. Достаточное количество света при высокой температуре ускоряет фотосинтез и накопление углеводов, необходимых для дыхания и роста растений. Низкая освещённость и высокая температура приводят к дефициту углеводов и истощению растений, а низкая температура даже при достаточной освещённости замедляет или приостанавливает рост растения.

Максимум интенсивности фотосинтеза соответствует температуре $+25-30^{\circ}\text{C}$, но с учетом дыхания, интенсивность которого также зависит от температуры, этот оптимум снижается до $+20-25^{\circ}\text{C}$.

Следует помнить, что изменяют и регулируют обычно температуру воздуха, а не температуру самого растения. В то же время, несмотря на малую тепловую инерцию листа, при нарушениях баланса влаги его температура может быть на 10°C выше температуры окружающего воздуха.

В переходных режимах массивные части растения прогреваются медленнее — отсюда опасность конденсации на них влаги и заболевания растения. Поэтому в режиме перехода от ночного к дневному уровню температур скорость изменения этого параметра не должна превышать 6 гр./час .

Оптимальная температура воздуха для теплолюбивых культур (томат, огурец, баклажан, перец) при солнечной погоде равна $+24 \pm 4^{\circ}\text{C}$, в пасмурную погоду $+22^{\circ}\text{C}$, ночью $+15-20^{\circ}\text{C}$, для умеренно требовательных к теплоте культур (редис, салат, сельдерей и т.п.) $+16 \pm 4^{\circ}\text{C}$. Оптимальное значение среднесуточной температуры почвы для первых культур равно $+22-26^{\circ}\text{C}$, а для вторых — на $3-4^{\circ}\text{C}$ ниже.

При прорастании семян культур температуру поддерживают на уровне $+20-25^{\circ}\text{C}$, а после появления всходов снижают до $+18-20^{\circ}\text{C}$ у теплолюбивых и до $+6-8^{\circ}\text{C}$ — умеренно требовательных к теплоте растений.

Температура почвы, как правило, незначительно отличается от температуры воздуха, но при её снижении замедляется поглощение растением питательных веществ и воды, а при повышении — корневая система становится слишком большой. Особую опасность, представляет смена солнечной погоды на пасмурную, когда возникает дефицит углеводов и задержка роста растений из-за того, что почва сильно активна, а фотосинтез слаб.

Урожайность в культивационных сооружениях в значительной степени зависит от влажности почвы. Влажность почвы необходимо поддерживать на уровне $75-90\%$ полной полевой влажности (ППВ). Относительная влажность воздуха для рассады огурцов и баклажанов — $65-75\%$, томата и перца — $55-65\%$, салата и капусты — $60-70\%$. В послерассадочный период относительная влажность воздуха для этих культур соответственно — $85-95\%$, 55 и 65% , 75 и 85% . Влажность воздуха мало влияет на продуктивность биоценоза, но все-таки при снижении температуры воздуха следует её увеличивать.

Температура воды для полива должна быть на уровне температуры почвы и воздуха в теплице (порядка +20–25 °С).

Воздушно-газовый режим в значительной мере определяет продуктивность фотосинтеза. В ночные часы содержание CO_2 в теплице за счет дыхания растений увеличивается до 0,05%, а днем за счет фотосинтеза падает до 0,01%, что и вызывает необходимость принудительной подачи CO_2 в теплицу в количествах, зависящих от уровня освещенности.

Оптимальное значение CO_2 в воздухе для огурцов должно составлять 0,25 и 0,35%, для томата — 0,1–0,15%, т.е. в 3–12 раз больше, чем в открытой воздушной среде.

Содержание CO_2 в теплицах повышают, сжигая природный газ в специальных горелках или используя газы из котельных. Для повышения содержания CO_2 до 0,3% в теплице площадью 1 га требуется сжигать примерно 50 м³ газа в час.

Углекислый газ доставляют также в баллонах высокого давления и через редукторы выпускают в теплицы.

Для нормального роста растений и предохранения их от заболеваний необходима постепенная смена воздуха в надземной части растений. Оптимальный воздушно-газовый режим обеспечивает повышение урожая до 20%.

Световой режим определяется степенью использования солнечной энергии, которая характеризуется потоком Фп. Искусственная досветка растений требует большой затраты энергии и поэтому используется в теплицах на Крайнем Севере. Для этого применяют электрические лампы накаливания и люминесцентные лампы с установочной мощностью для огурцов до 700 Вт и для томатов до 900 Вт на 1 м², стремясь создать облученность растений не менее 5–8 тыс. лк.

В центральной зоне электродосвечивание применяется только в рассадочном отделении с удельной мощностью до 200 Вт/м².

Высадку рассады в теплицу планируют на период года, когда естественная освещенность достигает нормативных значений, при этом учитываются коэффициент проницаемости Кп ограждений.

Для уменьшения значения проникающего потока солнечной энергии на летний период остекленные ограждения забеливают 10%-ным раствором мела, в осенне-зимний период остекленную кровлю ежегодно моют мощными средствами при помощи специальных механизмов.

Режим питания. Интенсивное использование почвы в теплицах под 3–5 культур за сезон, предъявляет повышенные требования к составу субстратов и минеральному питанию. На основе агрохимических анализов почвосмесей применяют корневые и внекорневые подкормки растворами минеральных макро- и микроэлементов, которые вносятся в почву при ее подготовке и при поливе.

В гидропонных теплицах в качестве заменителя почвы используют твердые инертные субстраты (щебень, гравий, керамзит), органические субстраты (древесные опилки, мох, верховой торф) и ионитные смолы. Заменители почвы засыпают в стеллажи.

В стеллажи высаживают рассаду и по соединительным каналам из резервуара падают к ней специальный питательный раствор.

4.3.3 Характеристика объекта автоматизации

В защищенном грунте в основном используют одно (ангарные) и многопролетные (блочные) теплицы со сборными каркасами из оцинкованных конструкций заводского изготовления и покрытием из стекла толщиной 4 мм, закрепленного на шпрусах при помощи кляммер и герметизирующих мастик.

Параметры микроклимата в многопролетной теплице, определяемые нормами технологического проектирования, обеспечиваются системой трубопровода обогрева и естественной вентиляцией.

Система обогрева серийных многопролетных теплиц, выполненная из гладких стальных труб с попутным движением теплоносителя, включает следующие регистры: обогрева кровли, надпочвенного, подлоткового, торцевого и бокового обогрева.

Регистры обогрева кровли, мощность которых составляет 38% от суммарной, образуют две самостоятельные секции: верхнюю и нижнюю.

Мощность регистров надпочвенного обогрева составляет 40,5% от суммарной. В каждом звене шесть регистров: два закрепляют на стенках неподвижно, а четыре укладывают на грунт между грядками. Последние регистры, если необходимо (механическая или тепловая обработка почвы и т.д.), можно перемещать на стойки теплицы.

Регистры подлоткового обогрева, обеспечивая таяние снега и свободный слив талых вод, по сути дела, являются частью верхней секции обогрева кровли.

Неизолированные магистральные и разводящие трубопроводы — также источники теплоты, хотя и незначительной (7% суммарной мощности).

Суммарная мощность регистров бокового 5% и торцевого обогрева составляет 8% от общей.

Ангарные теплицы, кроме описанной выше системы обогрева, оборудуют также системой калориферов. Система калориферного обогрева состоит из шести отопительных агрегатов Д-100, размещенных в шахматном порядке вдоль теплицы на высоте 3 м от уровня грунта.

В зимней теплице любого типа целесообразно применять комбинированный обогрев: водяной — как основной (около 60% общей теплопроизводительности) и воздушно-калориферный — для управления температурой при резких изменениях климатических условий. Благодаря малой инерционности калориферный обогрев дает возможность управлять температурой воздуха с высокой точностью.

Суммарная мощность всех систем обогрева блока многопролетных теплиц площадью 6 га в зависимости от места строительства составляет 40–50 МВт, а блока ангарных теплиц площадью 3 га — 33 МВт.

Для обогрева почвы используются регистры подпочвенного обогрева, выполненные из полиэтиленовых труб. Воду в эти регистры подают после использования для обогрева шатра с температурой не более +40 °С.

Естественная вентиляция – основное средство, используемое для снижения температуры воздуха в теплое время года. Площадь форточек в овощных теплицах в северных районах должно составлять от 15 до 20%, а в южных – до 50% от поверхности кровли. Вентиляционные форточки располагают вдоль конька каждого из звеньев; ангарные теплицы оборудуют форточками также и в боковых ограждениях.

Для защиты теплиц от перегрева воздух увлажняют, используя дождевальные системы с насадками мелкого распыла, и применяют специальные защитные экраны из синтетических тканей. Конструкции экранов можно объединить в две группы: стационарные и трансформирующиеся.

4.3.4 Объем механизации и автоматизации технологических процессов в теплицах

Тепличное хозяйство — наиболее трудоемкая отрасль растениеводства с ежегодными затратами до 10–18 ч на 1 м² площади.

Растения хорошо развиваются и плодоносят только при оптимальных значениях параметров микроклимата теплиц. Теплицы имеют высокую степень механизации и автоматизации технологических процессов.

Около 40% от общих затрат труда расходуется на подготовительные работы, которые выполняют при помощи машин: приготовление почвенных смесей, замена почвы, стерилизация почвы, предпосевная ее обработка, дезинфекция конструкций теплиц, текущий ремонт, предпосевное внесение удобрений и т.д.

В процессе выращивания и сбора урожая средства механизации и автоматизации используют при посеве семян и уходе за рассадой, поливе и подкормке растений, опылении растений и их защите от болезней, сборе и транспортировке овощей и растительных остатков, а также для управления параметрами микроклимата.

Для механизации подготовительных работ используют, как специальные, так и сельскохозяйственные и строительные машины общего назначения. Дёрн для почвенных смесей вскрывают трактором с плугом, сгребают бульдозером или экскаватором.

Аналогичным образом механизирована доставка навоза, рыхлящих материалов и минеральных удобрений. При составлении почвенных смесей и их перебивке применяют различные экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и специальные машины для приготовления почвенных грунтов. При смене и обновлении грунтов используют эту же технику.

В защищенном грунте почву рыхлят на глубину 10–12 см перед каждым посевом, то есть несколько раз в году, а перед пропариванием и при заделке навоза почву рыхлят на глубину не менее 22 см с оборотом пласта. Для этого используют, если позволяют конструкции культивационных сооружений,

почвообрабатывающие машины общего назначения, а также специальные ротационные плуги и самоходные электрофрезы. Для междурядной обработки почвы в теплицах в непосредственной близости от растений и сплошной обработки почвы в парниках используют ручные электромотыги.

В малых теплицах почвосмеси при сильном заражении их болезнями и вредителями меняют раз в 2–4 года, а в тепличных комбинатах ежегодно дезинфицируют, а затем промывают почвосмеси без их замены. Из многих способов дезинфекции наиболее эффективно пропаривание. При этом почву покрывают термостойкой пленкой и подводят под нее пар температурой +110–120 °С при давлении до 50 кПа. Расход пара 45–50 кг на 1 м², длительность пропаривания 8–10 часов. После пропаривания почвосмеси для уменьшения концентрации солей промывают дождеванием в 3–5 приемов с общим расходом воды до 200–400 л/м².

Для борьбы с вредителями и болезнями используют также химические методы протравливания семян, обработку конструкций сооружений и опрыскивание растений. Стоимость обработки почвы ядохимикатами составляет 20–70% от паровой, но в почву заносят токсичные вещества. Торфоперегнойные питательные кубики (горшочки) изготавливают на специальных станках конвейерного типа.

В защищенном грунте должен быть точный высеv, благодаря чему экономится до 40% дорогостоящих семян овощных культур и снижаются затраты на последующее прореживание.

Для посева применяют специальные парниковые сеялки. Лунки для рассады в грунте и ее посадку пока делают вручную.

Полив и подкормку растений минеральными удобрениями в крупных тепличных комбинатах осуществляют через стационарную систему дождевания автоматически в соответствии с заданной программой. В малых теплицах и парниках для этого используют передвижные насосные станции.

При подвязке растений к шпалерам, обрезке побегов и листьев, уборке и перевозке урожая применяют передвижные платформы, стремянки и ручные тележки. Для перевозки готовой продукции и оборудования применяют электрокары и самоходные шасси, снабженные для облегчения труда специальными поддонами и подъемниками. Для перевозки рассады из блока в блок теплиц по открытому холодному воздуху применяют фургоны.

Автоматизация технологических операций в защищенном грунте дает существенный эффект: увеличивает производительность и улучшаются условия труда, экономится топливо и электроэнергия, снижается заболеваемость посадочного материала и взрослых растений, повышается урожайность и сокращаются сроки созревания растений и овощей. Условия труда и быта рабочих на автоматизированных тепличных комплексах не хуже, а иногда и лучше, чем на промышленных предприятиях.

Современные системы автоматического управления процессами в теплицах строятся как трехступенчатые, которые действуют на следующих уровнях:

- 1) обеспечение требований по микроклимату теплиц, поливу, подкормки растений и т.п.;
- 2) обеспечение процессов жизнедеятельности растений за короткий период;
- 3) процессы жизнедеятельности растений за более продолжительный период.

Первый уровень — «хороший оператор». На этом этапе стремятся достичь совпадения фактических значений параметров с заданными.

В США обоснование алгоритмов и программ производится на основе анализа взаимосвязей исходя из данных, полученных лучшими фермерскими хозяйствами, где действуют автоматические системы с компьютерами. На основе анализа всех данных, регистрируемых информационной системой с компьютером, переданных для интерпретации в специализированные институты по управлению процессами, программисты фирм составляют алгоритмы и программы, обобщая лучший опыт эксплуатации теплиц в Голландии, Японии, США, Дании, Германии, Болгарии и других стран.

Второй уровень — «оптимизатор процессов», т.е. система, обеспечивающая условия среды для оптимального протекания процессов жизнедеятельности: фотосинтеза, дыхания, транспирации, роста, плодоношения — основных составляющих формирования урожая за короткий промежуток времени.

Управление на втором уровне достигается на основе расчетов приведенных на базе экспериментов.

В иерархическом процессе управления второго уровня задаются желаемые уровни параметров первого уровня.

Третий уровень — обуславливает поступления урожая в наилучшие сроки, с нужными показателями по количеству, качеству и экономической эффективности.

Цель третьего уровня — обеспечить высокий урожай при минимальных затратах и максимальном доходе. В управлении на третьем уровне за основу принимается технологический план, в который включаются кроме знаний, опыт и интуиция технолога.

На первом этапе с целью разработки систем обеспечения функционирования теплиц привлекаются инженеры, технологи, физики, кибернетики, которые проводят исследования действия отопительно-вентиляционных систем, оборудования по подкормке CO_2 , поливу и т.п. на жизнедеятельность растений.

На втором этапе, при разработке системы функционирования теплицы привлекаются специалисты по биологии, физиологии, биохимии, биофизики, энтомологи, агрохимии и др., которые опираются на результаты измерения биологических параметров, устанавливают оптимальный режим работы оборудования, обеспечения жизнедеятельности растений на короткие промежутки времени.

При выявлении оптимальных режимов жизнедеятельности растений используются методы «говорящего растения» (speaking plant).

Для более точного определения параметров функционирования используют метод «пищащего растения» (squeaking plant). Такие исследования про-

изводят в фитотронных камерах, где можно легко реализовать острые нарушения процессов жизнедеятельности растений.

Третий подход определения оптимальных режимов — использование модулей, параметры которых устанавливаются на средний период, например, на неделю.

Обеспечение исследований по вышеуказанным методикам предусматривает использование автоматических информационно-измерительных систем, которые можно реализовать при использовании микроЭВМ.

Нормы технологического проектирования ОНТП-СХ для зимних теплиц площадью от 3 га (в блоке) и выше предусматривают:

– автоматическое регулирование температуры воздуха в теплице (днем – с учетом освещенности);

– автоматическое регулирование температуры теплоносителя для обогрева почвы и поливной воды.

Автоматизируется управление системами полива почвы и увлажнения воздуха, подкормки растений углекислым газом и установками досвечивания.

Предусматривается также программное и дистанционное управление скоростью температурных переходов «день — ночь», положением теплозащитных экранов (при их наличии) и т.д.

Проектный объем автоматизации технологических процессов в зимних теплицах, на примере блока многопролетных теплиц, площадью 6 га, показан на рис. 4.19.

Допустимые отклонения температуры воздуха в теплице от уровня, заданного агротехническими требованиями, составляет $\pm 1^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха в системе подпочвенного обогрева — $\pm 2^\circ\text{C}$ и т.д.

Сложность регулирования микроклимата в теплице объясняется не только системой взаимных связей между отдельными параметрами воздушной среды внутри теплицы и вне ее, но и неудовлетворительными характеристиками объекта по основным каналам передачи регулирующих воздействий (изменением температуры и расхода теплофикационной воды в системах обогрева), а также высокими требованиями к точности стабилизации параметра.

4.3.5 Методы, программы и средства автоматического управления микроклиматом в теплицах

Важнейшими параметрами микроклимата, которые играют значительную роль в росте растений, являются следующие: освещенность, температура воздуха, влажность воздуха, концентрация углекислого газа и скорость движения воздуха. Управление микроклиматом означает управление этими параметрами с учетом их взаимосвязи.

Взаимосвязи эти, к сожалению, не все детально изучены. Остановимся лишь на тех, которые положены в основу принципов построения современных систем управления климатом теплиц.

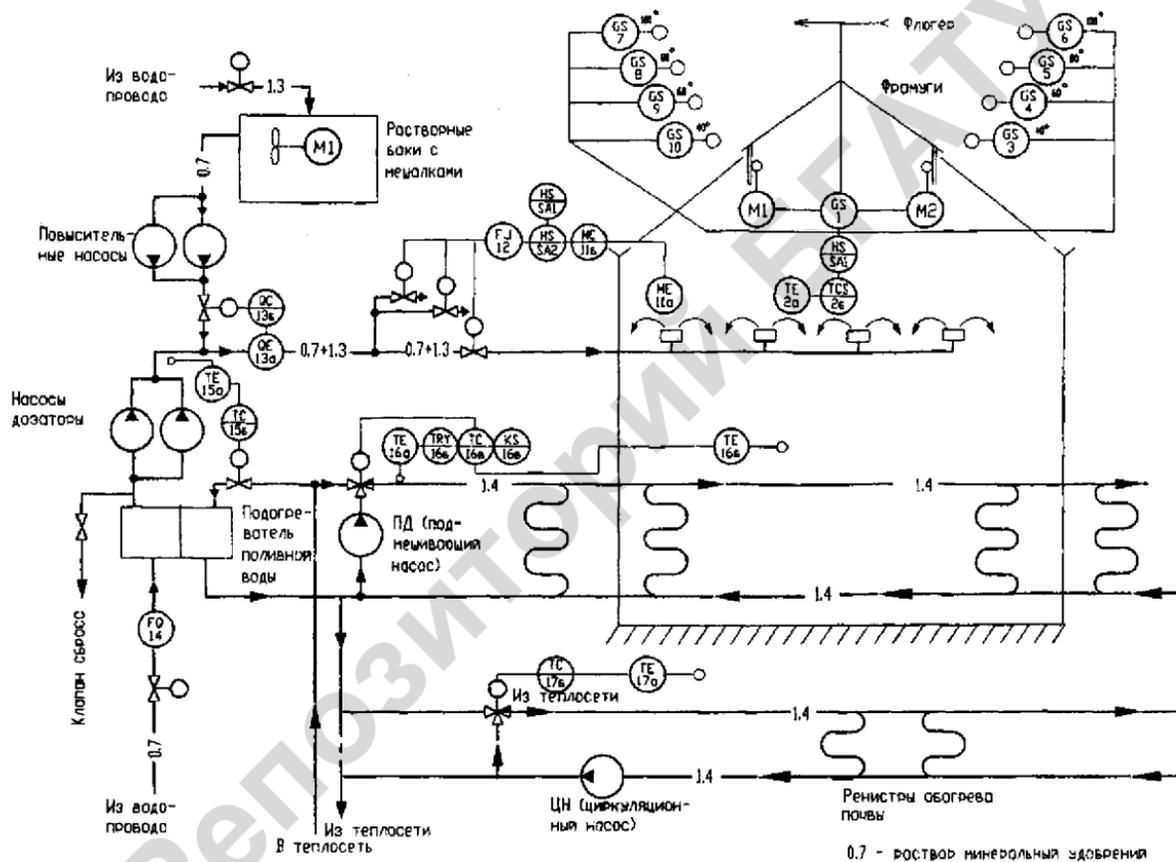


Рис. 4.19 Схема автоматизации процессов блока многоэтажных теплиц

Получены интересные в практическом отношении данные об осенней культуре огурца при температуре воздуха в теплице днем выше $+20^{\circ}\text{C}$, а ночью $+20$; $+18,5$ и $+17^{\circ}\text{C}$. Урожай при первых двух вариантах (при температурах воздуха ночью $+20$ и $+18,5^{\circ}\text{C}$) получены одинаковые, а при $+17^{\circ}\text{C}$ — в 2 раза выше. Наблюдениями ряда ученых установлено, что низкие температуры воздуха в теплице в ночное время суток приводят к образованию большого числа завязей и меньшего количества побегов, а высокие температуры способствуют «наливу» плодов и увеличению числа побегов. Следовательно, температура воздуха в ночное время суток влияет на плодоношение овощных культур, в частности огурца.

Температуру воздуха в теплице в ночное время суток изменяют в течение года. При выращивании овощных культур в осенне-зимнем культурообороте, в начале года, когда растения моложе, растут «пышно» и в результате транспирации* не нарушается их водный баланс, в теплице поддерживают высокую температуру воздуха в ночное время суток. При этом корневая система обеспечивает водой нагруженные плодами растения. Такой температурный режим способствует наливу плодов.

В течении последующих месяцев, когда воду, теряемую при транспирации растений, пополнять через корневую систему затруднительно из-за большой длины стебля, температуру воздуха в теплице в ночное время постепенно снижают. Тем самым уменьшается интенсивность транспирации* и корневая система растений не перегружается.

Температуру воздуха в теплице в ночное время суток изменяют в зависимости от его продолжительности. **Чем короче ночь, тем ниже поддерживается температура воздуха.**

Посредством изменения температуры воздуха в ночное время суток можно регулировать плодоношение. Поддержание **температуры между оптимальным и максимальным значениями усиливает налив плодов, между оптимальным и минимальным — заложение завязей. Это является основой регулирования.** В начале фазы плодоношения огурца при невысокой энергетической освещенности имеет место слабое накопление сухого вещества, поэтому нельзя нагружать растение большим числом плодов и нужно стремиться к наливу уже заложившихся завязей. В это время надо поддерживать температуру воздуха в ночное время суток на 2°C выше оптимальной для данного сорта. Во второй период роста наливающих плодов, заложенных к первому сбору, температуру снижают на несколько градусов ниже оптимума. Эти плоды заканчивают свой рост, снижение температуры для них безвредно. Таким образом обеспечивают заложение плодов к следующему сбору. **Чередованием повышения и понижения температуры воздуха в ночное время суток добиваются равномерного поступления уровня в течение периода плодоношения растений.**

*Транспирация — испарение воды растением (дышу, выдыхаю)

При низкой энергетической освещенности и низкой температуре имеет место медленное образование органических веществ, но также и медленный их распад. Растение получается слабое, неуравновешенное в своем росте.

При низкой энергетической освещенности и высокой температуре наблюдается медленное образование органических веществ наряду с интенсивным дыханием. Такая ситуация создается обычно в теплые пасмурные дни. Если такое сочетание погодных условий длится долго, растение становится слабым.

Высокая энергетическая освещенность при низкой температуре дает быстрое образование органических веществ и замедленный их распад, однако, это также является нарушением процесса нормального развития растения.

При высокой энергетической освещенности и высокой температуре имеет место быстрое образование органических веществ и интенсивное дыхание, что стимулирует интенсивное протекание других процессов. Эта комбинация благоприятна для быстрого пропорционального развития растений.

Из анализа рассмотренных сочетаний климатических факторов следует, что *температуру в теплице надо регулировать в зависимости от величины энергетической освещенности*. При наличии высокой энергетической освещенности растений надо поддерживать в теплице и более высокую температуру воздуха. Это необходимо для нормального протекания процесса фотосинтеза. При низкой энергетической освещенности нет необходимости поддерживать высокую температуру в теплице, расход топлива в этом случае будет не оправдан.

Бесспорно, *оптимальная взаимосвязь между энергетической освещенностью и температурой для каждого растения своя. Она определяется также фазой развития растений*.

Регулировать температуру в теплице в зависимости от энергетической освещенности можно в осенне-зимнее время, когда естественная энергетическая освещенность низка и когда необходимо максимально ее использовать. Летом практически полностью отказываются от повышения температуры с увеличением освещенности, так как в это время года в теплице избыток теплоты и ее постоянно приходится проветривать путем открывания вентиляционных фрамуг.

Утром, когда появляется солнце, фрамуги в теплице еще, как правило, закрыты. Растения, а особенно плоды, нагреваются медленнее, чем воздух, причем воздух прогревается в верхней части теплицы. Под воздействием солнечного света растения открывают устья, и происходит отдача воздушного пара окружающему воздуху. Часто складывается такая ситуация, что воздух переходит в состояние насыщения водяным паром, и на растениях и плодах, имеющих более низкую температуру, происходит конденсация влаги. Они становятся влажными, при этом тормозится процесс фотосинтеза и создаются условия для развития болезней растений.

Для предотвращения с восходом солнца конденсации влаги на растениях, теплицу за час до восхода солнца включают на разогрев до уровня температуры пасмурного дня. В этом случае при восходе солнца растения уже «су-

хие», и начинает протекать процесс фотосинтеза в соответствии с энергетической освещенностью.

Благодаря транспирации не только осуществляется подвод воды и питательных веществ к листьям растения, но и в значительной мере регулируется температура растения. В процессе транспирации расходуется приблизительно 70% полученной растением солнечной энергии. Интенсивность транспирации постоянно находится в определенных границах. Ночью растения почти совсем прекращают транспирацию. В течение дня процесс транспирации протекает более интенсивно, но и в это время интенсивность его не должна быть очень большой.

Единственный способ регулирования интенсивности транспирации у растений — это управление величиной открытия и закрытия устьиц. Считается нормальным, если устьицы приходят в открытое состояние рано утром с появлением в теплице солнечного света. Если ожидается большая потеря воды растением, устьица закрываются. Это уменьшает подвод воды к растениям и количество забираемой из воздуха углекислоты. Следовательно, необходимо с помощью средств управления климатом теплиц, тормозить или стимулировать процесс транспирации растений. Последнее необходимо осуществлять в пасмурные осенние дни, когда температура наружного воздуха достаточна высока.

В целях стимуляции испарения предлагают использовать «температурный толчок». Суть его заключается в быстром и непродолжительном повышении температуры отопительных труб. Например, за 1 час температуру отопительных труб повышают на 70 °С. Благодаря «температурному толчку», теплица и растения прогреваются значительно быстрее. Влажность воздуха понижается и растения получают возможность освободиться от лишней влаги.

В яркие солнечные дни при превышении максимально допустимой температуры кратность воздухообмена также увеличивается, что приводит почти всегда к понижению влажности воздуха.

Высокая температура и низкая влажность воздуха в теплице могут стимулировать транспирацию растений. При этом нарушается их водный режим. Защитные экраны и системы испарительного охлаждения являются средством торможения испарения. Может случиться, что даже при высокой наружной температуре теплицу необходимо обогревать и проветривать. При выращивании томатов и других высокорослых растений практикуется долговременное поддержание минимальной температуры воды в трубах, невзирая на высокую температуру воздуха в теплицах. Система отопления при этом выполняет функцию «воздушного насоса». ***Путем обеспечения дополнительного движения воздуха и более высокой температуры под листьями можно добиться отвода лишней влаги.***

С учетом сложности взаимосвязи параметров микроклимата в теплице и их изменения во времени разработаны принципы и программы управления климатом теплиц в течение суток у вегетационного периода культур. На рис. 4.20 представлен график изменения температуры и влажности воздуха в теплице в течение суток. В ночное время суток температура t , поддерживается постоян-

ной. За час до восхода солнца температура в теплице повышается до величины t_2 , подсушивается воздух, и с восходом солнца вода не конденсируется на растениях и плодах, а начинается нормальный процесс фотосинтеза.

В переходном режиме массивные части растения прогреваются медленно — отсюда опасность конденсации на них влаги и заболевания растения. Поэтому, если при переходе от ночного к дневному уровню температур не подсушивается воздух, скорость изменения температуры не должна превышать 6°C в час.

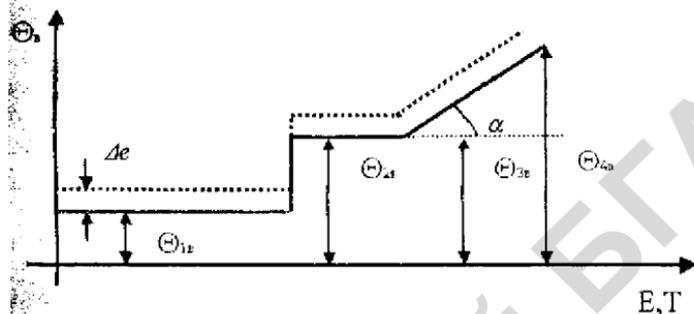


Рис. 4.20 График поддержания температуры воздуха Θ в теплице в течение суток с учетом освещенности E и времени суток T

Если погода пасмурная, то в течение всего светового дня поддерживается температура $\Theta_{3в}$, равная температуре $\Theta_{2в}$. В солнечную погоду, начиная с освещенности 2 000 лк, повышают температуру в соответствии с величиной освещенности до температуры $\Theta_{4в}$. После этого открывают вентиляционные фрамуги, и избыток тепла уходит благодаря вентиляции. Переход от дневной температуры к ночной осуществляется после захода солнца. Угол наклона линии превышения дневных температур в солнечные дни над температурой в пасмурный день зависит от времени года, географической широты расположения тепличного хозяйства. В соответствии с увеличением освещенности и температуры в теплицах снижают температуру труб системы отопления, но снижение производят до определенного минимального уровня, обеспечивающего стимулирование движения воздуха в теплице. При превышении температуры на установленную величину Δt приоткрываются вентиляционные фрамуги, чтобы убрать излишки тепла.

Программу управления климатом теплиц в течение вегетационного периода условно разделяют на несколько этапов. При выращивании огурца программу управления климатом теплицы разделяют на два этапа: от посадки рассады до первого сбора урожая; от начала сбора урожая до прекращения использования культуры.

При выращивании томата программу управления климатом теплицы разделяют на три этапа: от посадки до начала цветения; в течение цветения до начала сбора урожая; в течение периода сбора урожая. Каждому из на-

званных периодов соответствуют определенные величины температуры воздуха в разное время суток.

В практике защищенный грунт обогревают за счет солнечной радиации, горячей водой или паром от котельных, отходами теплоты промышленных предприятий, а также электронагревательными установками. Солнечный обогрев используют в сооружениях защищенного грунта наряду с другими дополнительными видами обогрева.

Солнечные лучи, протекая через светопрозрачные ограждения, нагревают почву, воздух, растения. Нагретые тела испускают инфракрасные тепловые излучения, которые через светопрозрачные ограждения практически обратно не проникают. Поэтому внутри сооружения происходит накопление теплоты (тепличный эффект).

Суммарная мощность всех систем обогрева блока многопролетных теплиц площадью 6 га в зависимости от места строительства составляет 40–50 мВт.

Теплота солнечной радиации Q_s , проникающей в теплицу, — важнейшая и наиболее стабильная составляющая баланса зависит от большого числа переменных факторов. В течение дня суммарная солнечная радиация может изменяться в 5–25 раз.

Водяной обогрев — самый распространенный вид обогрева благодаря высоким эксплуатационным и экономическим показателям. Он характеризуется простотой устройства и низкой трудоемкостью, легкостью управления и безвредностью для растений и обслуживающего персонала, доступностью и высоким процентом использования теплоты (65–70%).

Система обогрева приземного слоя воздуха типовой блочной теплицы площадью 1 га состоит из 132 регистров, каждый из которых представляет собой петлю из трубы длиной $L = 150$ м, диаметром — 51 мм. Внутри труб циркулирует с определенной скоростью греющая вода, температуру которой регулируют путем изменения степени открытия трехходового смесительного клапана.

В холодное время года в большинстве теплиц температурное поле очень неравномерно, что отрицательно сказывается на качестве рассады и урожайности овощных культур в целом. Например, в центре теплицы площадью 1 га температура воздуха равна $+20$ °С, в углу с наветренной стороны $+16$ °С и ниже. *В современных системах воздушного трубного отопления применяют для выравнивания температурного поля зонное регулирование.* Теплицу в плане делят на 4 части. Управление водотрубным отоплением каждой части (зоны) производится независимо от других. Перерасход арматуры и устройств управления по сравнению с нормативами, предусмотренными типовыми проектами, быстро окупается за счет экономии топлива и повышения качества получаемой продукции.

Какими бы ни были сложными программы управления климатом теплицы при выращивании различных овощных культур, все они сводятся к управлению отоплением и вентиляцией.

Для управления температурой теплофикационной воды и распределения ее по системам обогрева в каждом блоке многопролетных теплиц сооружают энергопункт, принципиальная схема трубопроводов которого показана на рис. 4.21.

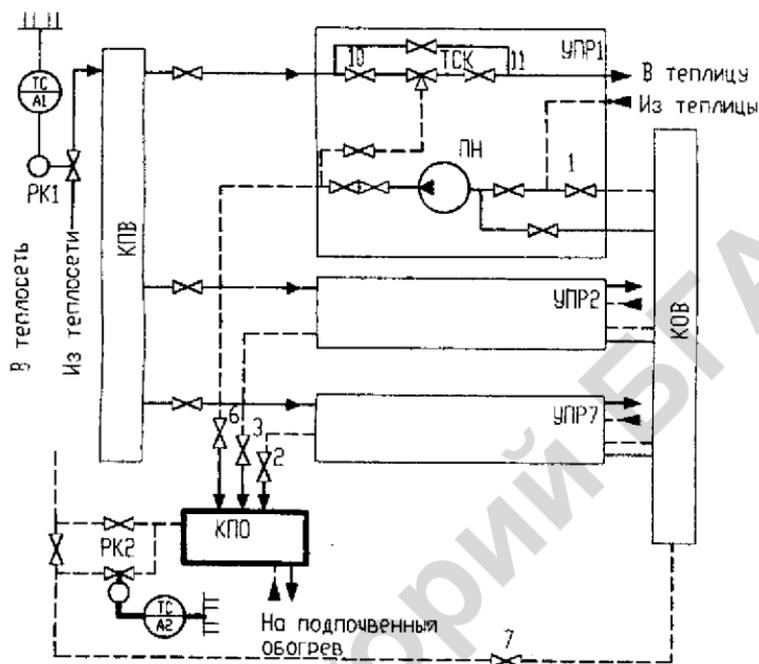


Рис. 4.21 Схема трубопроводов энергопунктов блока многопролетных теплиц: РК – регулирующий клапан; УПР – узел пропорционального регулирования; КПО – коллектор подпочвенного обогрева; КПВ – коллектор прямой воды; КОВ – коллектор обратной воды; 1-11 – задвижки

Горячая вода из подающей магистрали тепловой сети поступает в коллектор прямой воды КПВ, а отсюда к узлам пропорционального регулирования УПР различных теплиц блока.

Основным элементом узла регулирования температурного режима блока теплиц в холодный период года является трехходовой смесительный клапан (ТСК).

С помощью ТСК в горячую воду, забираемую из котельной добавляют определенное количество возвратной воды, отдавшей тепло для обогрева воздуха теплицы.

Для реализации процесса регулирования помимо ТСК, УПР содержит также циркуляционный насос, конструкция которого показана на рис. 4.22. Горячая вода из КПВ через входной горизонтальный патрубок 7 и верхние окна 3 плунжера 4, направляется в камеру 2, где смешивается с прошедшей систему охлажденной водой, поступающей через входной вертикальный

патрубок 6 и нижние окна 5 плунжера. Соотношение проходных сечений окон верхнего и нижнего ряда и, следовательно, соотношение расходов смешиваемых теплоносителей и температура смеси в выходном патрубке 1 зависят от положения плунжера 4 клапана.

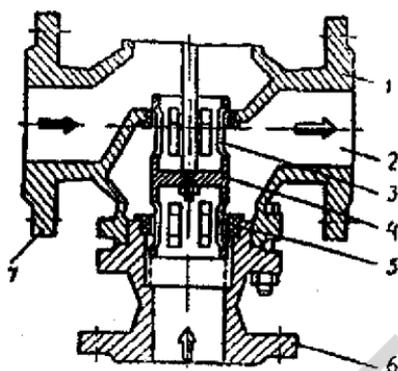


Рис. 4.22 Трехходовый смесительный клапан типа 27ч905нж: 1 – выходной патрубок; 2 – камера смешения; 3 и 5 – верхние и нижние окна плунжера; 4 – плунжер; 6 и 7 – вертикальный и горизонтальный патрубки

Чтобы пропускная характеристика ТСК оставалась постоянной независимо от положения его плунжера, требуется стабилизация давления воды во входных патрубках клапана. Для клапана с равновеликими окнами давление воды во входных патрубках должно быть не только стабильными, но и одинаковым.

Опыт эксплуатации оборудования выявил три возможных режима работы энергопункта.

Режим № 1. Вся охлажденная вода, перекачиваемая насосами, поступает во входные вертикальные патрубки ТСК (задвижка 1 — открыта, задвижки 2–6 — закрыты).

Режим № 2. Охлажденная вода, перекачиваемая насосами, поступает во входные вертикальные патрубки ТСК и в коллектор подпочвенного обогрева КПО, а оттуда — в обратную магистраль тепловой сети (задвижки 1–6 — открыты).

Режим № 3. Каждый насос перекачивает охлажденную воду из трубной системы обогрева «своей» теплицы во входной вертикальный патрубок ТСК и в общий коллектор КПО (задвижка 1 — закрыта, задвижки 2–6 — открыты).

При выборе режима работы энергопункта следует учитывать степень взаимного влияния между узлами пропорционального регулирования отдельных теплиц блока через общую гидравлическую сеть энергопункта. Так, при перемещении плунжера одного из ТСК на значение полного хода расход воды в системах обогрева остальных теплиц изменяется на 7–13%, а температура воды — на 4–8% в зависимости от режима работы энергопункта. Вза-

имное влияние между контурами регулирования также существенно ухудшает качество стабилизации параметра, а в некоторых случаях вводит системы в автоколебательный режим.

Подмешивающий или циркуляционный насос может быть включен по схемам рис. 4.23.

Схема с установкой насоса на подающем трубопроводе (рис. 4.23, а) рекомендуется при недостаточном давлении в подающей магистрали тепловой сети (и в коллекторе прямой воды).

Схему с установкой насоса на обратном трубопроводе (рис. 4.23, б) используют, если необходимо снизить повышенное давление в обратной магистрали тепловой сети. Это характерно при подключении тепличного комбината к концевым перегруженным участкам тепловой сети и особенно при ее уклоне от источника теплоснабжения.

Очень важно, чтобы насос работал надежно, поскольку при нарушении принудительной циркуляции, система трубного обогрева теплицы попадает под давление тепловой сети, что может привести к разрушению участков нагревательных регистров, ослабленных коррозией.

В обоих этих случаях расход энергии на привод насоса соответствует максимальному расходу воды в системе обогрева теплицы, причем в варианте «б» условия работы ПН осложняются высокой температурой теплоносителя. При включении насосов по схемам «б» и «в» несколько уменьшается перепад давлений в тепловой сети, ухудшая условия работы остальных абонентов, зато зависимость расхода воды в системе обогрева теплицы от перепада давлений в тепловой сети проявляется слабее, а характеристики смещения ТСК близки к паспортным.

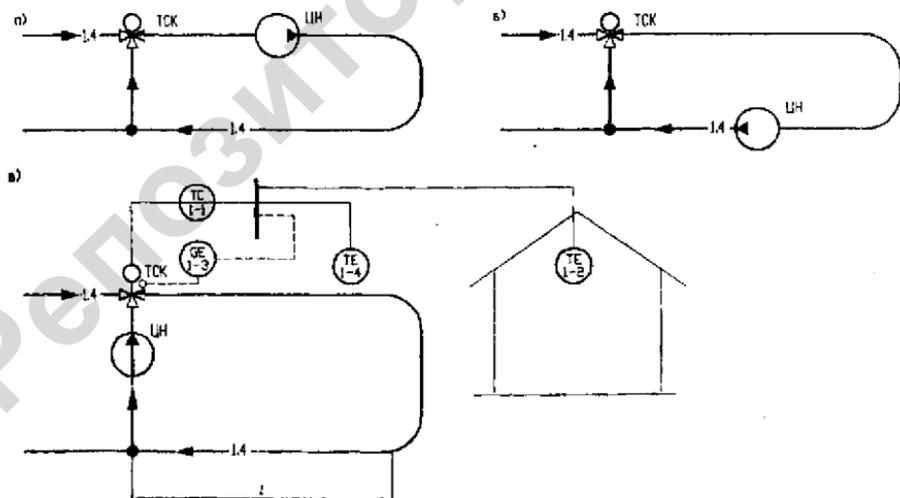


Рис. 4.23 Варианты схемы включения насосов узла пропорционального регулирования

В варианте «в» расход энергии на перекачку теплоносителя в среднем меньше, условия работы ПН легче и тепловая сеть на пьезометрический график влияет минимально. Кроме того, при сбросе части подачи ПН в КОВ (режим 2) вариант «а» приобретает преимущества вариантов «б» и «в» и становится возможным централизованное автоматическое управление гидравлическими режимами блока теплиц в целом.

Локальные системы регулирования, применяемые в серийном оборудовании для автоматизации многолетних теплиц, действуют по ПИ-закону или П-закону (рис. 4.23). П-закон регулирования формируется охватом регулятора «жесткой» обратной связью 1-3 по положению регулирующего органа (трехходового смесительного клапана). Можно выполнить схемы регулятора соотношения температуры воздуха в теплице 1-2 и температуры воды в системе обогрева 1-4.

В ангарных теплицах может использоваться многоканальный принцип управления, который реализуется поочередным подключением к регулятору датчиков и исполнительных механизмов, управляющих мощностью систем обогрева в каждой из теплиц блока.

Параметры динамической настройки в общем случае зависят от статических и динамических характеристик объектов автоматизации.

Регистр отопления, как звено системы регулирования, представляет собой звено чистого (транспортного) запаздывания. Время запаздывания τ определяется расстоянием l от места установки датчиков температуры до смесительного клапана и скоростью движения теплоносителя.

Время чистого запаздывания τ пропорционально времени заполнения рабочего объема V системы обогрева:

$$\tau = (l/L)(V/Q),$$

где L — длина труб регистра;

Q — производительность циркуляционного насоса.

Передаточная функция этого звена:

$$W_p(P) = e^{-\tau P}$$

Кроме этого, в системе обогрева имеются переходное запаздывание, возникающее из-за инерционности датчика температуры и исполнительного механизма, а также вследствие запаздывания передачи теплоты от воды к трубам, от труб к воздушному объему теплицы, а затем через ограждения теплицы в окружающее пространство.

С учетом указанных явлений передаточная функция объекта управления, согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, выражается уравнением второго порядка:

$$W_o(P) = k(TP + 1)/(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)$$

Общая передаточная функция блочной теплицы в режиме обогрева воздуха следующая:

$$W_r(P) = W_o(P)W_r(P) = \frac{k(TP + 1)}{T_1^2 P^2 + T_1 P + 1} e^{-\tau P}$$

Для сравнительной оценки приведем значения постоянных величин, полученных исследованиями блочной теплицы площадью 1 га совхоза «Московский»: $V = 100 \text{ м}^3$; $Q = 250 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\tau = 6 \text{ мин}$; $T = 0,6 \text{ мин}$; $T_1 = 22,7 \text{ мин}$; $T_2 = 10,4 \text{ мин}$; $k = 0,31$. Коэффициент усиления объекта k определяется как отношение перепадов температур по воздуху θ_2 и теплоносителя θ_1 между установившимися начальными ($\theta_{в,н}$; $\theta_{т,н}$) и конечными ($\theta_{в,к}$; $\theta_{т,к}$) значениями:

$$k = \frac{\theta_{в,к} - \theta_{в,н}}{\theta_{т,н} - \theta_{т,к}}$$

Этот коэффициент показывает, на сколько градусов происходит изменение температуры воздуха при изменении температуры воды на 1° .

Известно, что инерционность объекта по каналам управления принято оценивать отношениями τ/T . Теплица относится к группе объектов автоматизации, характеризуемым отношением $\tau/T > 1$ (особенно при управлении по типовому каналу ($\theta_t \rightarrow \theta_v$)). Кроме того, задача автоматизации осложняется большими абсолютными значениями τ и T , значительно меньшей инерционностью объекта по каналам передачи основных возмущающих воздействий и весьма жесткими требованиями к качеству стабилизации параметра ($\pm 1^\circ\text{C}$), имеющими мало аналогов в практике автоматизации технологических процессов.

В холодное время года в теплицах, особенно многопролетных, наблюдается неравномерность температурных полей по площади сооружения.

В практике эксплуатации многопролетных теплиц *компенсация неравномерности температурных полей обеспечивается электрокалориферными установками с позиционным способом управления.*

Для настройки регулирующих приборов, обеспечивающих регулирование водяного обогрева воздуха в теплицах, значения коэффициента усиления k_r , времени изодрома T_n и времени предварения T_d могут быть найдены по различным методикам, данным в специальной литературе.

При выборе закона регулирования следует учитывать, что для предупреждения изменения положения затвора при незначительных колебаниях температуры воды необходимо наличие нейтральной зоны ПИ-регулятора.

Точность работы систем обогрева воздуха при каскадном регулировании не предъявляет таких жестких требований к системам отопления и смешительным вентилям, как при П-регулировании.

Для обоих регуляторов гидравлического режима энергопункта (рис. 4.21) объекты автоматизации характеризуются минимальным запаздыванием и постоянной времени, и поэтому настройка каждого регулятора в

отдельности не представляет труда (полные цепи регулирования на рисунке не указаны). Сложность заключается во взаимном влиянии обоих регуляторов через объект регулирования — коллекторы энергопункта, в результате чего переходные процессы в разных системах могут накладываться один на другой. Поскольку коэффициенты усиления каналов взаимосвязи соизмеримы с коэффициентами усиления каналов регулирования, устойчивость системы можно обеспечить, используя существенно разное быстродействие обоих каналов, причем наибольшее быстродействие должен иметь регулятор А1.

Поскольку динамические характеристики теплицы по каналам управляющего и возмущающего воздействий не совпадают, расчетные параметры настройки регулятора необходимо корректировать для выбора тех настроек, которые максимально фильтруют возмущения в смысле их влияния на полезный управляющий сигнал. В общем случае этому условно соответствуют максимально возможные значения k_p для П-регулятора, отношения k_p/T_n — для ПИ- и ПИД-регуляторов (для ПИД-регулятора T_w/T_d — не должно превышать 0,5).

Более радикальным является решение о выполнении системы бесперебойной адаптации параметров настройки САУ к характеристикам возмущающих воздействий, которые можно реализовать, используя цифровые системы управления.

Теплицы имеют устройства естественной и принудительной вентиляции, предназначенные для снижения внутренней температуры, удаления от растений воздуха с избыточным влагосодержанием и замены его воздухом с достаточным количеством углекислого газа и кислорода. Для этого в стеклянной крыше теплиц устанавливают форточки (фрамуги), которые открываются с подветренной стороны электрическим исполнительным механизмом (рис. 4.19).

Схемы автоматизации управления температурным режимом в теплице в течение года в качестве управляющего воздействия используют изменение кратности естественной вентиляции при отклонении температуры воздуха в теплице от заданной.

В схемах автоматизации многопролетных теплиц принимают коньковую вентиляцию, а в ангарных — еще и стенную.

Эффективность систем естественной вентиляции зависит от многих факторов и, в первую очередь, от разности температуры внутри и вне теплицы, силы ветра и т.д.

Процесс управления снижением температуры можно разложить на два временных периода: переходный процесс вентиляции в период открытия форточек и процесс установившейся вентиляции при постоянной кратности воздухообмена в теплице после открытия форточек.

Таким образом, блочная теплица как объект управления температурой в режиме вентиляции представляется передаточной функцией

$$W_*(p) = ke^{-\tau p} / (TP + 1),$$

где k — коэффициент усиления объекта, показывающий на сколько градусов происходит снижение температуры при однократной замене воздуха в теплице:

τ — время чистого запаздывания (составляет половину времени открытия фрамуги).

Для той же теплицы совхоза «Московский» установлено, что $k = 0,45^\circ$; $\tau = 2$ мин; $T = 3$ мин.

Для управления процессом открытия-закрытия фрамуг многопролетных теплиц используются регулирующие приборы реализующие П- или ПИ-законы регулирования, а для ангарных теплиц — многопозиционный закон регулирования.

Каждый регулятор температуры с помощью четырех исполнительных механизмов управляет положением левых и правых форточек системы естественной вентиляции (вместе или порознь — выбирается оператором); кроме того, оператор может ограничить степень открытия форточек на 40, 60, 80 и 100%.

4.3.6 Автоматизация управления температурным режимом почвы

Системы обогрева грунта предусматриваются в рассадных отделениях зимних теплиц. Для обогрева грунта применяют полиэтиленовые трубы диаметром 20/16 см, которые закладывают на глубину 40 см на расстоянии 40 см одна от другой в рассадочных теплицах и 160 см — в остальных, так что в одном звене размещается 16 (или 4) таких труб. Металлические трубы быстро корродируются и выходят из строя.

Корневая система огурца при расстоянии между рядами 160 см располагается непосредственно над трубами, на расстоянии примерно 30 см. В зоне корней должна создаваться температура $+22-24^\circ\text{C}$, необходимая для данной культуры.

Томаты сажают с двух сторон отопительной трубы на расстоянии около 80 см. В этой зоне должна создаваться температура почвы $+16-20^\circ\text{C}$.

При разработке работоспособной системы автоматического управления температурой в защищенном грунте, обеспечивающей агротехнические требования по равномерному распределению температурного поля к корнеобитаемому слою необходимо иметь математические зависимости между изменениями температуры почвы в форме передаточных функций.

Математическое моделирование процесса обогрева корнеобитаемого слоя (субстрата) сводится к нахождению зависимости значения текущей температуры θ в любой точке данного слоя, в заданное время t :

$$\theta = f(x, y, z, t);$$

где x, y, z — координаты глубины, ширины и длины субстрата.

С физических позиций определить явно выраженные математические зависимости в общем виде весьма сложно, так как субстрат представляет со-

бой неоднородную капиллярно-пористую среду, процесс распространения теплоты, в которой является комбинацией различных взаимосвязанных видов теплопередачи: конкретной теплопроводности, лучеиспускания, конвекции. Кроме того, вывод уравнения динамики теплопередачи в слое субстрата усложняется наличием в нем влаги, растворенных веществ, неоднородных включений твердых частиц и корневой системы растений, неодинаковой плотностью и структурой субстрата, а также влиянием солнечной радиации и температуры внешней среды.

Для обеспечения решения поставленной задачи используют так называемые методы конечно-разностных аппроксимаций, которые позволяют заменить систему с распределенными параметрами системы, состоящей из отдельных элементов с сосредоточенными параметрами. Применительно к субстрату уравнения теплопередачи записываются для отдельных точек по глубине обогреваемого слоя, т.е. рассматривается дискретное изменение температуры по высоте слоя при непрерывном изменении времени.

Для этого общую толщину обогреваемого слоя $x = 15-20$ см разбивают на $n = 3-4$ зоны каждая толщиной $\Delta = 4-5$ см. Для каждой зоны записываются дифференциальные уравнения теплопроводности, значения постоянных коэффициентов которых зависят от координаты x .

Таким образом, каждая зона рассматривается, как аperiодическое звено первого порядка, а обогреваемый слой субстрата — как последовательные соединенные звенья.

Общая передаточная функция обогреваемого слоя субстрата как звено САУ температуры составляет:

$$W_c(P) = \frac{k_1 k_2 \dots k_n}{(T_1 P + 1)(T_{n-1} P + 1) \dots (T_1 P + 1)}$$

где k_1, k_2, \dots, k_n — коэффициенты усиления первой, второй и n -ой зоны обогреваемого слоя субстрата;

T_1, T_{n-1}, \dots, T_n — постоянные времени тех же зон.

Таким образом, получают уравнение передаточной функции n -го порядка, которое легко представить последовательным соединением аperiодических звеньев первого порядка, количество которых равно n , таким образом, проще моделировать сложные системы.

В соответствии с ОНТП-СХ 10-81 необходимо обеспечить автоматическое регулирование температуры теплоносителя для обогрева почвы. В многопролетных теплицах, оборудованных автоматикой КТ-1, регулирование температуры почвы осуществляется регулирующим клапаном в двухпозиционном режиме, подающим в систему подпочвенного обогрева обратную воду. Однако, из-за крайне неудовлетворительных динамических характеристик объекта регулирования, его большой инерционности, *вместо автоматического поддержания температуры почвы обычно предусматривают автоматическое регулирование температуры воды в системе подпочвен-*

ного обогрева за счет смешивания прямой и обратной воды или за счет изменения подачи греющего теплоносителя к водонагревателю, обеспечивающему нагрев воды, направляют в подпочвенный обогрев до 40–45 °С. Первый метод используют в многопролетных теплицах, оборудованных автоматикой КТ-1, причем стабилизация параметра обеспечивается регулятором прямого действия РТП-125, а для контроля текущего значения температуры воды и сигнализации о ее аварийном повышении до 50 °С применяют обычный манометрический термометр.

В многолетних теплицах, температура воды в системе подпочвенного обогрева поддерживается импульсным регулятором, управляющим (последовательно) двумя трехходовыми смесительными клапанами, включенными параллельно один другому. При предельных отклонениях регулируемой температуры прерывается регулирующее воздействие и выдается светозвуковой сигнал. После возвращения температуры в допустимые пределы, блокировка снимается.

4.3.7 Автоматическое управление поливом

В зависимости от конструкций теплиц, технологии выращивания в них овощей, технических возможностей тепличного хозяйства в теплицах применяют различные способы полива: дождевание; капельное орошение; шланговый, струйный и подпочвенный поливы.

Наиболее распространенным способом полива является дождевание. Системой полива дождеванием оснащены все зимние теплицы.

В небольших по площади теплицах применяют также шланговый полив. Данный способ полива очень трудоемок и в новых типовых проектах предусмотрен как резервный или дополнительный.

В последние годы довольно широкое распространение в тепличных хозяйствах получает капельное орошение. Этот способ орошения позволяет рационально расходовать воду и минеральные удобрения. При его применении не наблюдается переувлажнения грунта, вымывания питательных веществ.

В пленочных теплицах на культуре томата применяют иногда в теплицах полив по бороздам. Данный способ имеет также много отрицательных сторон — неравномерное увлажнение, большие расходы воды, вымывание питательных веществ.

Струйное и подпочвенное орошение применяется, как правило, в пленочных теплицах. Как и капельное, струйное и подпочвенное орошение позволяет обеспечить высокую равномерность увлажнения грунта, экономное расходование воды и не препятствует проведению операций по поверхностной обработке грунта.

Полив дождеванием получил наибольшее распространение в теплицах промышленного типа.

Система полива дождеванием (рис. 4.24) состоит из насоса, водонагревателя-бойлера (рис. 4.21), магистрального водопровода, электромагнитных клапанов (ИМ1–ИМп) и трубопроводов оросителей. Из магистрального тру-

бопровода вода поступает в тепличные секции через электромагнитные клапаны и разомкнутую гребенку из полихлорвинила, расположенную в верхней части теплицы. В конце оросителя находится сливной клапан, устраняющий утечку воды из форсунок до установления рабочего давления и после прекращения подачи воды.

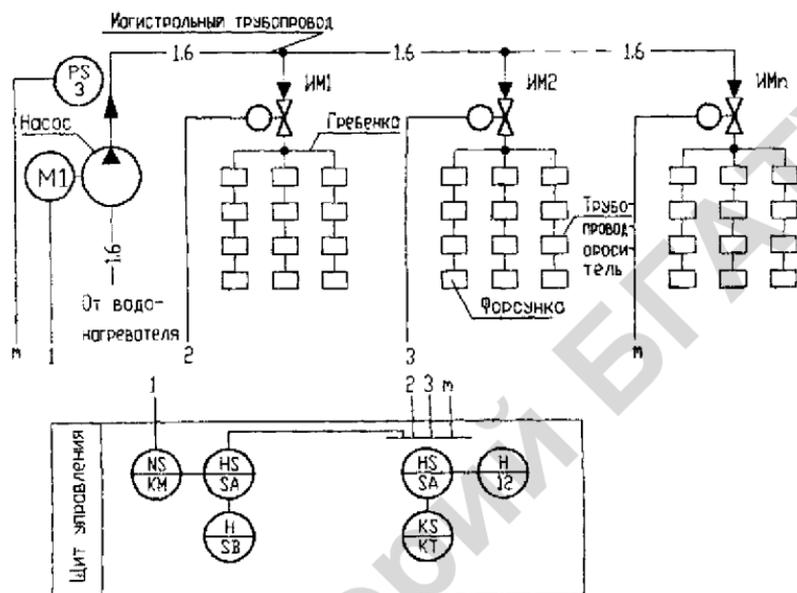


Рис. 4.24 Схема автоматизации системы полива дождеванием

В теплицах не поливают одновременно всю площадь. Сеть трубопроводов позволяют производить полив последовательно по группам секций.

Это дает возможность рационально использовать источник водоснабжения и не применять мощные насосы. Применяется многократный полив, что способствует рациональному распределению поливной нормы, увлажнению почвы без потерь поливной воды и меньшему уплотнению грунта.

Для равномерного распределения поливной воды в течение всего вегетативного периода применяют трансформируемую систему полива дождеванием путем перестановки оросительной системы по высоте.

Автоматизированная система полива дождеванием позволяет производить не только полив почвы, но и частичное увлажнение воздуха в теплицах, а также подкормку растворами минеральных удобрений.

Для увлажнения воздуха в теплицах особенно в жаркое летнее время нужна система форсунок, обеспечивающая мелкодисперсный распыл воды (размер капель менее 100 мкм).

Однако при отсутствии специальных систем дождевания успешно применяется для борьбы с перегревом увлажнение дождеванием. Продолжительность работы системы при этом 30–60 с интервалом в 1 час.

Автоматика предусматривает возможность задания срока начала полива, кратность (от 1 до 5 повторений), продолжительность полива и может быть выполнена на разной элементной базе.

Ранее получили широкое распространение электромеханические автоматы, в настоящее время — электронные и логические контроллеры.

Воду, используемую для полива и увлажнения, предварительно подогревают до заданной температуры в подогревателе горячей водой из теплосети (рис. 4.21).

При отклонении температуры на $\pm 1^\circ\text{C}$ срабатывает пороговый элемент регулирующего прибора АЗ, что вызывает срабатывание исполнительного механизма, изменяет его пропускную способность и восстанавливает заданную температуру поливной воды. Для исключения перерегулирования при изменении открытия исполнительного механизма применяют импульсный прерыватель.

При достижении максимально допустимого значения температуры воды срабатывает релейная защита, что вызывает форсированное закрытие регулирующего клапана. Затем при снижении температуры воды до установленного значения контакты защиты возвращаются в исходное положение и вводят в работу систему регулирования воды.

Схема автомата полива приведена на рис. 4.25. Поскольку системы полива и увлажнения действуют раздельно, а схемы управления ими аналогичны, то здесь рассмотрим только схему автоматического управления поливом.

Продолжительность полива одной теплицы (2–4 мин) устанавливают переключателем SA1, а кратность полива (1–5) — тумблерами SA2–SA24 включают соответствующие группы электромагнитных вентилей полива УА1–УА12 через промежуточные реле расположенные в местных шкафах управления ШУМ. Вентили могут быть включены вручную при помощи тумблера SA30 и переключателя SA31.

Систему полива включают кнопкой SB или по цепи *a* через реле KV14 (см. рис. 4.26) в заданное время суток. При этом включаются реле KV18 и KV19, последнее своими контактами подает от блока питания БП напряжение в схему автомата, а все триггеры элементов D1–D13 приходят в исходное положение, и срабатывают реле KV1 и KV13. Вслед за этим срабатывает реле KV20 при включенном тумблере SA25 «Кратность полива 1». Контакты реле KV20 включены параллельно контактам реле KV19 и обеспечивают подключение блока БП к автомату при отпускании кнопки SB.

Одновременно с нажатием кнопки SB и подачей напряжения на схему от блока Б13 срабатывает реле KV23, которое включает основной насос полива через промежуточное реле.

Если пуск насоса не произошел, то контакты реле давления воды SP1 остались замкнутыми. В этом случае на элемент D через контакты KV21 поступает сигнал «1», которые через 1 мин. при помощи блока кольцевого счетчика БДЗ отключает реле KV23 и подключают реле KV24. Реле KV24 подает команду на включение резервного насоса полива. Если в течение следующей минуты давление в системе полива не появится, то реле KV24 отключается, а реле KV25 включит ревун НА и сигнальную лампу HL «Авария».

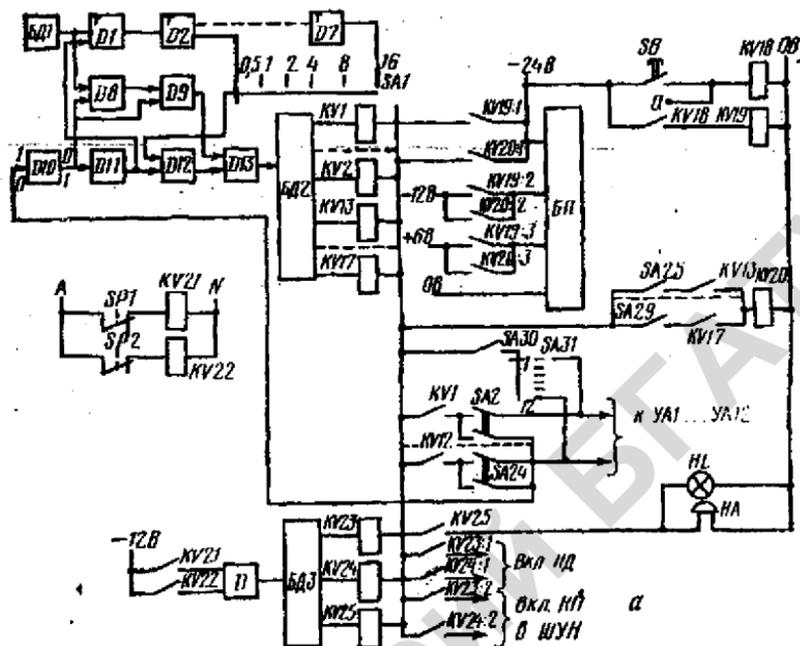


Рис. 4.25 Принципиальная электрическая схема автомата подлива почвы

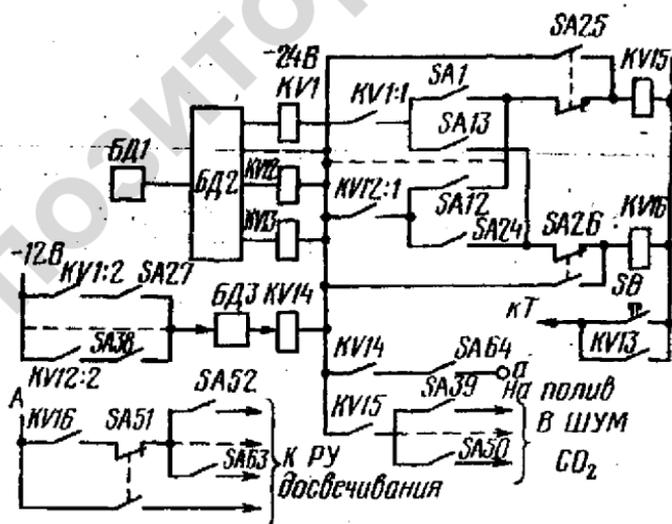


Рис. 4.26 Принципиальная схема управления подкормкой углекислым газом, досвечиванием растений и включением полива в заданное время

Насосы дозатора НД используют для подачи растворов минеральных удобрений. С включением насоса НП начинается полив первой теплицы. Через контакты KV1 и включенный переключатель SA2 подается сигнал «1» (-24 В) на вход элемента D10, а с выхода элемента D11 сигнал «1» поступает на элементы D1 и D12. На вход элемента D1 подаются также сигналы с периодом 2 с от генератора импульсов БД1. Период этих сигналов увеличивается триггерами, выполненными на элементах D2–D7. В зависимости от положения переключателя SA1 «Время полива» на элемент D12 поступают сигналы «1» с периодом 0,5; 1; 2; 4; 8 или 10 мин, которые затем через элементы D12 и D13 поступают на блок дешифрации БД2 (кольцевой счетчик). Кольцевой счетчик вызывает поочередное срабатывание реле KV1–KV12, которые обеспечивают последовательный полив 12 теплиц (участков с интервалом, равным выбранному времени полива).

Если полив какого-то участка не предусмотрен, то соответствующий тумблер на SA2–SA24 не включен. В этом случае при срабатывании соответствующего реле KV1–KV12 на вход элемента D10 «HE» поступает сигнал «0», а с его выхода сигнал «1» поступает на входы элементов D8 и D9, реализующих логическую функцию «И». Так как на вход элемента D8 поступают также импульсы с периодом 2 с от блока БД1, то через элемент D9 на вход D13, а затем на дешифратор БД2 сигнал «1» приходит через 2 с. Этот импульс вызывает переключение дешифратора БД2, и время прохода неполиваемого участка сокращается до 2 с.

После срабатывания реле KV12, обеспечивающего полив последнего двенадцатого участка, отключается реле KV13, и включается реле KV14. Это обеспечивает запуск нового цикла полива тех же участков в той же последовательности.

Процесс повторяется до тех пор, пока не реализуется заданная тумблерами SA25–SA29 кратность полива. После этого реле KV20 отключается и снимает напряжение питания со схемы автомата полива. Работа автомата полива прекращается.

Более совершенным способом полива является *капельный полив*. При этом способе вода подается к растениям каплями и распределяется в грунте равномерно.

Применение капельного полива имеет и недостатки по сравнению с дождеванием. Системой капельного полива нельзя провести сплошную промывку грунта. Требуется больше затрат труда и средств на фильтрацию воды, подаваемой в систему капельного полива. Для выращивания культур, занимающих всю площадь теплицы, и для производства рассады капельный способ полива непригоден.

Все трубопроводы сети капельного полива и микротрубки изготавливают из непрозрачного материала черного цвета.

Для капельного орошения используют воду без илистых примесей, с минимальным содержанием кальция и железа. По данным ряда исследова-

ний, при содержании до 0,2% двухвалентного железа система капельного полива микротрубками работает нормально.

В системе капельного полива в качестве рабочего органа используется микротрубка, которая представляет собой отрезок трубочки длиной 50–60 см, с наружным диаметром 2,1–2,5 мм и диаметром водовыпускного отверстия 0,7 мм. Один конец микротрубки вставляется в распределительный трубопровод из пластмассы диаметром 20/16 мм. Другой конец закрепляется с помощью специальной полимерной стоечки на высоте 2–3 см от поверхности грунта.

При давлении в системе капельного орошения 10–20 кПа расход воды составляет 1,0–2,3 л/(м²·ч).

Системы капельного полива с применением микротрубок должны иметь высокую стабильность параметров по длине рабочих органов и постоянству внутреннего диаметра микротрубок.

4.3.8 Автоматическое управление концентрацией растворов минеральных удобрений

Система автоматического управления концентрацией растворов минеральных удобрений (рис. 4.21) позволяет измерять концентрацию растворов в диапазоне от 0 до 0,2 Мпа осмотического давления с точностью до $\pm 10\%$ и управлять ею. Концентрированный раствор минеральных удобрений готовят в специальном растворном баке с мешалками, откуда повысительными насосами подают ее через регулирующий клапан в поливную воду.

Концентрацию удобрений в поливной воде измеряют датчиком QE кондуктометрического типа (по электропроводности раствора). Он имеет встроенный терморезистор, предназначенный для компенсации температурной погрешности.

Датчик устанавливают в трубопровод за участком смешения концентрированного раствора и поливной воды. Его присоединяют через анализатор удобрений к регулирующему прибору QC.

Одной из основных характеристик растворов минеральных удобрений является показатель величины pH, который обеспечивает протекание кислотно-щелочной реакции в гидропонной теплице. Теоретически величина pH может изменяться от 0 до 14. При pH < 7 реакцию считают кислой, при pH > 7 — щелочной.

Характер реакции питательного раствора оказывает сложное и разностороннее влияние на рост и развитие растений. При этом в разные периоды роста растений требуется различное оптимальное значение pH. При pH < 4 рост большинства растений затормаживается из-за снижения усвоения растений катионов минеральных веществ из почвы. При pH > 8 также резко снижается рост растений из-за того, что многие минеральные вещества осаждаются на поверхности корней и затрудняют дыхание и питание растений.

Для каждого вида растений есть свое оптимальное значение pH, которое для большинства растений находится в пределах от 5 до 7 единиц pH. В про-

цессе роста растений рН тепличной почвы изменяется, поэтому необходимо управлять значением рН питательного раствора.

Значение рН определяют методами физико-химического анализа. Из экспрессных методов наиболее подходит электрометрический метод измерения рН, принцип действия которого основан на определении электродных потенциалов на электродах, помещенных в исследуемый раствор. Такой электродный датчик измеряет концентрацию водородных ионов рН в растворе и выдает на выходе сигнал в виде гальванического напряжения.

Датчик измеряет рН с точностью до 0,1 рН, а для растений допускаются отклонения до $\pm 0,2$ рН, а иногда и до $\pm (0,3-0,5)$ рН от оптимальных.

4.3.9 Автоматизация управления подкормкой углекислым газом и досвечиванием растений

Подкормку растений углекислым газом осуществляют путем сжигания природного газа в специальных генераторах CO_2 или подачи в теплицу дымовых газов из тепличных котельных, реже из специальных газовых баллонов, содержащих CO_2 .

Распространенные генераторы типа Г-4,5 производят в час $4,5 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$, который направляют в теплицу при отсутствии там рабочих и при закрытых форточках.

Схема управления подкормкой CO_2 работает по заданной временной программе с 24-часовым циклом (рис. 4.26). На вход 12-позиционного кольцевого счетчика БД2 поступают от блока генератора БД1 импульсы с периодом 24 часа. Эти импульсы поочередно включают реле KV1–KV12, которые управляют промежуточным реле KV15. Реле KV15 управляет газогенераторами CO_2 в теплицах через промежуточные реле. После отключения KV12, завершающего управление подачей CO_2 в последнюю теплицу, срабатывает реле KV13. Контакты реле KV13 подают нулевой потенциал ко всем триггерам блока БД1, возвращающего их в исходное состояние. Затем вновь подключается реле KV1, и начинается новый суточный цикл.

Триггеры можно перевести в исходное состояние, нажав кнопку SB «Установка времени 12 ч». Номера теплиц, в которые необходимо подавать CO_2 , управляют тумблерами SA1–SA12, причем первый включенный тумблер определяет начало подкормки, последний — окончание. При помощи тумблера SA25 вручную управляют подкормкой CO_2 без ограничения во времени.

Управление досвечиванием осуществляется при помощи реле KV16 в рассадных теплицах.

В теплице устанавливают светильники двух типов ОТ-400 Е и ОТ-400 И с ртутной лампой ДРЛФ мощностью 400 Вт на 220 В. Лампа подвешенная на высоте 1,5 м, равномерно освещает площадь 4 м^2 .

Схема автоматического управления досвечиванием работает аналогично схеме управления подкормкой CO_2 .

Контакты реле KV16 подключают фазу А через тумблеры SA52–SA63 «Участок досвечивания» к распределительным щиткам РУ управления досвечиванием.

Длительность досвечивания определяется в часах и равна двойному числу одновременно включенных тумблеров SA13–SA24 «Досвечивание», а начало и конец досвечивания определяются первым и последним из включенных тумблеров. Ручное управление досвечиванием осуществляют тумблерами с распределительных щитков управления.

Реле KV1–KV12 и KV14 совместно с блоком дешифрации БДЗ и тумблерами SA64ж SA27–SA38 осуществляют «Включение полива в заданное время» через реле KV18 (рис. 4.25). При помощи тумблеров SA27–SA38 (рис. 4.26) набирают участки необходимые для полива.

Блок БДЗ обеспечивает выдержку времени во включенном состоянии до 5 с, после которой реле KV14 обесточивается и сигнал «Пуск» с автомата полива снимается.

4.4 Автоматизация режимов при хранении картофеля и овощей

4.4.1 Агротехнические требования к системам автоматического регулирования

Условия хранения картофеля, корнеплодов и капусты, при которых максимально сокращаются потери и сохраняется качество продукции, создаются путем поддержания оптимального для данной культуры температурного режима в помещениях для хранения и в массе продукции.

Активная вентиляция проводится с целью осушки поверхности корнеплодов от капельно-жидкой влаги, наличие которой ведет к развитию микроорганизмов, удалению из насыпи продуктов жизнедеятельности, эффективного охлаждения до оптимальной температуры и поддержания этой температуры в процессе хранения.

Различные культуры требуют разных температурных режимов хранения. **Технология хранения картофеля.** В системе производства картофеля особенно большие потери бывают при хранении, что вызвано рядом причин. В условиях современного сельского хозяйства при уборке картофеля с помощью машин неизбежны механические повреждения клубней. При выращивании картофеля на больших площадях часто урожай приходится убирать в ненастную погоду. В результате качество клубней сильно ухудшается, а потери во время хранения увеличиваются.

Нередко условия, предохраняющие от одного вида потерь, способствуют возникновению потерь другого рода. Например, эффективные способы предупреждения прорастания клубней при хранении могут ослабить их устойчивость к фитопатогенным микроорганизмам и вызвать увеличение потерь в результате инфекционных болезней, могут одновременно вызвать в клубнях функциональные расстройства, внешне проявляющиеся чаще всего в побурении тканей.

Именно поэтому успешно решить поставленную задачу сокращения потерь можно не с помощью какого-то одного способа, каким бы эффективным он ни был, а системой организационных и технических мероприятий, направленных одновременно против всех видов потерь.

Хранение урожая картофеля не только завершающий этап сельскохозяйственного производства, но и его начало. От условий хранения семенного картофеля в значительной мере зависит величина и качество будущего урожая. Условия же хранения семенного картофеля отличается от условий хранения клубней, предназначенных для продовольственных целей. Это следует иметь в виду при выборе, например, температурного режима хранения или средств защиты от преждевременного прорастания клубней во время хранения.

Испарение воды тканями клубней — основная причина уменьшения их массы при хранении. В среднем 2/3 убыли массы картофеля при хранении происходит в результате испарения воды и 1/3 — в результате расходования органических веществ на дыхание. Это положение справедливо, если хранить картофель при температуре до 5,0 °С. При более высокой температуре усиливается процесс дыхания и сильно возрастают потери массы в результате расхода органических веществ.

Органических веществ клубней в процессе хранения расходуется значительно меньше по сравнению с испаряемой водой, поэтому к концу хранения доля сухих веществ в них чаще всего возрастает. Но подобное возрастание является относительным, что следует учитывать при изучении динамики органических веществ в хранящихся клубнях.

Для успешного хранения картофеля необходима эффективная защита клубней от увядания, поэтому в хранилищах приходится поддерживать достаточно высокую относительную влажность воздуха (85–90%). В то же время желательно, чтобы поверхность клубней была сухой: на ней не должны образовываться капельки влаги, благоприятной для прорастания спор и развития паразитарных микроорганизмов. *Эффективное средство для предупреждения образования капель воды — хранение в условиях активного вентилирования.*

Время хранения картофеля подразделяется на три основных периода.

В первый (*лечебный период*) необходимо создать условия для наиболее быстрого заживления механических повреждений клубней, неизбежных при механизированной уборке и транспортировке, а также для просушки картофеля, если он загружен мокрым. Для удаления с поверхности клубней капельно-жидкой влаги и продуктов обмена в насыпь подается воздух.

При поступлении влажного картофеля в хранилище его необходимо непрерывно вентилировать до осушки наружным воздухом, а затем периодически (4–6 раз в сутки) вентилировать рециркуляционным воздухом по 15–30 мин с интервалами 4–6 час.

Температура вентиляционного воздуха в этот период не регулируется и находится в пределах + 12–18 °С, относительная влажность 90–95%. Продолжительность лечебного периода 10–14 суток. Скорость омывающего клубни воздушного потока в насыпи продукта не ниже 0,1 м/с.

Во второй период, *период охлаждения* температуру картофеля снижают до оптимального для хранения значения.

Вентилирование в это время необходимо только при условии, что наружная температура на 2–3 °С ниже температуры массы картофеля.

Интенсивность вентилярования должна обеспечить снижение температуры до +2–4 °С в течении 20–40 суток. Температура вентиляционного воздуха, поступающего в массу продукции, должна быть, возможно, низкой, но не ниже +1 °С.

В третий период, *период хранения*, при помощи активной вентиляции нужно поддержать в хранилище и массе картофеля оптимальную для хранения температуру в пределах +2–4 °С. Продолжительность работы вентиляции в это время должна быть минимальной: вентиляция включается при достижении картофелем температуры +4 °С и снижает температуру до +2 °С, после чего отключается. При нормальной температуре систему вентиляции необходимо включать 4–6 раз в сутки на 15–30 минут для предупреждения повышения температуры и влажности. Не следует допускать переохлаждения верхних слоев картофеля и конденсации на них влаги.

Температура вентиляционного воздуха должна быть не ниже +1 °С.

Перед выходом клубней из состояния покоя весной температуру в массе необходимо снизить на 1–2 °С по сравнению с оптимальной, т. е. до плюс 1–2 °С. Вентилирование в этот период проводится, как и в период охлаждения, в наиболее холодное время суток, что задерживает прорастание картофеля и удлиняет срок хранения на 2–3 недели.

Технология хранения моркови. При хранении моркови, как и при хранении картофеля, выделяются три основных периода: *лечебный, охлаждения и хранения*.

Лечебный период продолжается 7–10 суток, температура массы не регулируется и находится в пределах +8–13 °С. Скорость воздуха в массе не ниже 0,1 м/с.

При поступлении влажной моркови она вентилируется сухим наружным воздухом до осушки, а затем периодически 4–6 раз в сутки по 25–30 мин рециркуляционным воздухом.

В период охлаждения проводится снижение температуры моркови до оптимальной для хранения. Вентилирование в это время необходимо осуществлять, если наружная температура до +1 °С в течении 10–15 суток.

Температура поступающего в массу воздуха должна быть, возможно, более низкой, но не ниже минус 1,5 °С. В период хранения в массе моркови поддерживают температуру от 0 до +1 °С. При этом в массу корнеплодов подают воздух, имеющий температуру от минус 0,5 °С до плюс 1 °С, но не ниже минус 1,5 °С.

Время работы вентиляции в этот период должно быть минимальным: при повышении температуры массы до +1 °С ее понижают до 0 °С, а при нормальной температуре вентиляция включается 4–6 раз в сутки на 15–30 минут для поддержания появления повышенной температуры и влажности.

Весной вентилярование следует вести в наиболее холодное время суток.

Технология хранения продовольственной капусты. Время хранения капусты подразделяется на два основных периода: *охлаждение и хранение*.

Основная цель периода охлаждения — снижение в кратчайший срок температуры насыпи капусты до оптимальной.

Вентилирование в этот период проводится, когда наружная температура на 2–3 °С ниже температуры массы капусты. Температура вентиляционного воздуха, поступающего в массу капусты, должна быть минус 1 минус 1,5 °С, но не ниже минус 2 °С.

В период охлаждения система вентиляции работает наиболее возможное количество часов. Интенсивность вентилярования обеспечивает снижение температуры до минус 1–0 °С в течении 10–15 суток. Она должна быть не ниже 80–100 м³ в час на 1 т капусты.

В период хранения в массе капусты поддерживают оптимальную температуру минус 1–0 °С. При этом в массу подают воздух с возможно низкой температурой, но не ниже минус 2 °С.

Продолжительность работы вентиляции в это время минимальная. При повышении температуры вентиляции работает до достижения нормальной температуры, после чего включается 4–6 раз в сутки по 0,5 часа.

Технология хранения продовольственного лука-репки. Время хранения лука-репки подразделяется на три периода: *осушка, охлаждение и хранение*. Основной целью периода сушки является осушение двух-трех наружных чешуй до влажности 15–16%. Осушка лука ведется путем его непрерывного вентилярования воздухом при температуре 20–35 °С и влажности не выше 65–70%. Количество подаваемого воздуха определяется расчетом согласно требованиям НТП-6–73. В период сушки верхняя зона должна интенсивно вентилироваться. После окончания сушки лука проводится его охлаждение до оптимальной для хранения температуры.

При наружной температуре ниже температуры массы лука на 2–3 °С и больше вентилярование проводится непрерывно. Интенсивность вентилярования должна обеспечить снижение температуры с + 20–35 °С до минус 1 – минус 3 °С в минимально короткий срок. Температура вентиляционного воздуха, поступающего в массу лука, должна быть возможно более низкой, но не ниже минус 4 °С. В период хранения при помощи активной вентиляции поддерживают в насыпи лука оптимальную для хранения температуру минус 1 – минус 2 °С, а над луком в верхней зоне температуру 0 – минус 1 °С при относительной влажности до 80%. Продолжительность работы вентиляции в этот период должна быть минимальной: вентиляция включается при температуре насыпи лука минус 1 °С и выключается при снижении до минус 2 °С. При нормальной температуре насыпь лука должна вентилироваться два раза в сутки по 30–60 мин для удаления тепловлаговывделений продукции.

Недопустимо вентилярование охлажденной насыпи лука воздухом выше температуры луковиц, так как это приводит к отпотеванию луковиц, увлажнению наружных чешуй и резкому ухудшению лежкости лука.

В весенний период для поддержания заданной температуры в насыпи используют суточные колебания температуры, вентиляция включается в основном ночью, что позволяет продлить срок хранения на 2–3 недели.

Хранение лука-матки, предназначенного для высева на семена, проводится аналогично, но температура хранения поддерживается от +1 до +12 °С.

Хранение лука-севка. Лук севок можно хранить при температуре выше 18 °С или ниже 0 °С. При температуре в диапазоне 0–17 °С лук-севок может находиться не более 15 суток за весь период хранения, так как затем он яровизируется и после высадки дает стрелку.

Для уничтожения возбудителей шейковой гнили и ложномучнистой росы лук-севок должен быть подвергнут термической обработке при температуре 42–45 °С в течение 8–12 часов. Термическая обработка при более высоких температурах приводит к гибели лука.

Хранение лука-севка имеет следующие периоды:

- 1) сушка при температуре 20–35 °С;
- 2) термическая обработка при температуре 42–45 °С;
- 3) охлаждение до температуры 18–20 °С;
- 4) тепловое хранение при температуре 18–20 °С;
- 5) охлаждение до температуры минус 1–2 °С не более двух суток;
- 6) хранение при температуре минус 1–3 °С с периодическим вентилированием два раза в сутки продолжительностью 30–60 минут для снятия тепловыделений.

В период охлаждения и хранения температура вентиляционного воздуха должна быть ниже или равна температуре массы лука-севка, но не ниже минус 4 °С.

Вентилирование воздухом с температурой выше температуры массы лука-севка приводит к выпадению конденсата и увлажнению массы.

При длительных оттепелях, когда температура массы поднимается выше плюс 2 °С, необходимо прогреть массу до плюс 18–20 °С и хранить при этой температуре до наступления похолодания, после чего снова охладить.

- 7) За 10–15 суток до посадки лук-севок прогревают до температуры плюс 20–25 °С.

4.4.2 Характеристика овощехранилища как объекта управления микроклиматом

Насыпь хранимого продукта обладает большой тепловой инерционностью.

Процесс управления вентиляционным оборудованием состоит в следующем. Если продукт не вентилируется, его температура увеличивается из-за собственных тепловыделений и недостаточного теплообмена с окружающей средой. Передаточная функция массы продукта при самосогревании без отвода теплоты:

$$W(P) = k_c/P \quad (4.23)$$

где k_c — коэффициент усиления, показывающий, на сколько градусов повышется температура массы продукта за 1 час самонагрева без отвода теплоты (для корнеклубнеплодов $k_c = 0,14$, для капусты $k_c = 0,13$).

При достижении максимально допустимой для данного продукта в период хранения температуры θ , определяемой агротехническими требованиями (например, для продовольственного картофеля в период хранения $\theta = \text{плюс } 4^\circ\text{C}$), вентилятор должен включиться и подавать в массу воздух с температурой, которая меньше минимально допустимой температуры хранения продукта (для картофеля $\theta_{\text{кр}} = +1^\circ\text{C}$). При этом интенсивность теплообмена массы с окружающей средой значительно возрастает, и температура ее снижается, приближаясь к температуре охлаждающего вентиляционного воздуха. Вентилирование должно прекращаться при понижении температуры в массе до значения, определяемого агротехническими требованиями (для продовольственного картофеля в период хранения $\theta = +2^\circ\text{C}$).

Температура на поверхности продукта определяется не только интенсивностью отвода теплоты с поверхности, но и ее отводом из внутреннего пространства клубня, которое образуется в результате биохимических процессов внутри продукта.

$$C V (1 - \mu) d\theta / dt = q - q_n - \alpha V (\theta - \theta_v), \quad (4.32)$$

где C — объемная теплоемкость клубней, Дж/(м³ · °C);

V — объем слоя хранимой продукции, м³;

$\mu = (V - V_0)/V$ — скважность слоя хранимой продукции, равная для картофеля 0,38–0,45;

V_0 — объем клубней, м³;

θ — температура клубней, °C;

t — время, с;

q — количество теплоты, выделяемое в объеме V продукции в одну секунду, Дж/с;

$q_n = \alpha i$ — количество теплоты, затраченное на испарение влаги w (кг/с) с теплосодержанием водяного пара i (Дж/кг);

α — объемный коэффициент теплообмена, Дж/(м³ · с · °C);

θ_v — температура воздуха в межклубневом пространстве, °C.

Преобразуя уравнение (4.32), получим:

$$[C(1 - \mu) - (q/V)(dt/d\theta) + (q_n/V)(dt/d\theta)] V d\theta / dt = \alpha V (\theta - \theta_v) \quad (4.33)$$

Так в скобках левой части уравнения (4.33) все слагаемые имеют размерность объемной теплоемкости [Дж/(м³ · °C)], то уравнение (4.33) можно записать так:

$$C_p d\theta / dt = -\alpha (\theta - \theta_v), \quad (4.34)$$

где C_p — расчетная объемная теплоемкость слоя картофеля.

Уравнение теплового баланса для воздуха, проходящего через слой клубней толщиной h , можно записать в частных производных:

$$C_v \mu d\theta_v / dt = \alpha (\theta - \theta_v) - C_v V d\theta_v / dh \quad (4.35)$$

где C_v — объемная теплоемкость воздуха, Дж / (м³ °С);

V — скорость воздуха, равная количеству воздуха (м³), проходящего через поперечное сечение слоя продукции (м²) за 1 с, м / с.

Из уравнений (4.33) и (4.35) видно, что интенсивность изменения температуры в массе продукции зависит от скорости прохождения приточного воздуха, толщины слоя насыпи клубней, скважности слоя μ , а также от начальных значений температур клубней θ и воздуха θ_v .

Опыт показывает, что температура подаваемого воздуха и насыпи клубней неодинакова по высоте слоя. Быстро охлаждаются слои клубней на входе воздуха и в 4–5 раз медленнее на выходе четырехметрового слоя насыпи картофеля. Наиболее высокая температура массы хранимого продукта наблюдается на глубине 0,4–0,6 м от поверхности насыпи.

Теплофизические свойства насыпи клубней зависят от ее температуры и вида продукции.

Из-за перечисленных особенностей трудно точно определить результат совместного решения уравнений (4.34) и (4.35). Передаточные функции массы хранимого продукта можно определить также экспериментально по кривым разгона.

Установлено, что при подаче воздуха $L \leq 50$ м³ в 1 час на тонну насыпи клубней передаточную функцию можно выразить так:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)}, \quad (4.36)$$

а при $L \geq 50$ м³ в 1 час на 4 тонны:

$$W(P) = k / (T_1^2 P + T_1 P + 1) \quad (4.37)$$

С ростом подачи воздуха от 50 до 250 м³ / (т. ч.) значение коэффициента усиления k снижается от 0,03 до 0,008.

Коэффициент усиления k показывает на сколько градусов снижается температура насыпи клубней за 1 час при подаче 1 м³ воздуха на 1 т клубней. Постоянные времени зависят также от подачи воздуха: при $L \leq 50$ — $T = 7-8$ ч; при $L \geq 50-250$ м³ / (т. ч.) — $T_1 = 8-6$ ч; $T_2 = 2-1,6$ ч.

При подключенной вентиляции температура массы хранимого продукта повышается за счет теплоты самосогревания без отвода теплоты:

$$W(P) = k_c / P, \quad (4.38)$$

где k_c — коэффициент усиления, показывающий, на сколько градусов повышается температура массы продукта за 1 ч самосогревания без отвода теплоты (для корнеклубнеплодов $k_c = 0,14$; для капусты $k_c = 0,13$).

Определение вида переходных процессов и значения коэффициентов позволяет установить кратность включения вентилятора в зависимости от величины подачи воздуха в час на тонну насыпи клубней и времени его работы.

4.4.3 Системы автоматического управления микроклиматом в овощехранилищах

В отечественной и зарубежной практике используют системы автоматического управления только температурными режимами в овощехранилище. Автоматическое регулирование влажности не находит широкого применения из-за отсутствия долговечных и чувствительных датчиков влажности, надежно работающих при относительной влажности воздуха свыше 90%. В случае необходимости влажностью управляют вручную, включая вытяжные вентиляторы.

Промышленность выпускала две типовые системы для управления микроклиматом в овощехранилищах: оборудование типа ОПТХ и комплекс «Среда». Оборудование регулирования температуры хранилищ ОПТХ обеспечивает поддержание технологически обоснованных температурных режимов приточного воздуха, массы хранимой продукции и воздуха верхней зоны без искусственного охлаждения в хранилищах вместимостью до 1000 т с числом вентиляционных камер не более двух.

В оборудование типа ОПТХ входят следующие основные устройства (рис. 4.27): смесительный клапан с подогревателем и исполнительным механизмом, приточная и вытяжная шахты, два рециркуляционно-отопительных агрегата (на схемах рис. 4.27 и 4.28 второй агрегат не показан), вентиляционно-распределительный канал, вентилятор приточной системы и шкаф автоматического управления активной вентиляцией (ШАУ-АВ). В шкафу размещены регуляторы температуры А1–А6, программное реле времени КТ (РВМ), ключи и кнопки управления. В связи с неблагоприятными для работы аппаратуры условиями предусмотрен автоматический обогрев шкафа от электроподогревателя ЕК, действием которого управляет контактное термореле типа ДТКБ через промежуточное реле КV1 (рис. 4.27).

Система автоматического управления микроклиматом в овощехранилищах может работать в режиме ручного или автоматического управления (рис. 4.28).

В ручном режиме переключатели SA1 и SA3 ставят в положение P и управление производится с помощью кнопочных постов P2, P3 и P4.

В автоматическом режиме переключатель SA1 ставят в положение A, а SA2 — в одно из положений (Л — лечебный; О — охлаждение; X — хранение), в соответствии с периодом хранения.

Переключатель SA3 в положение A ставят при отрицательных температурах наружного воздуха.

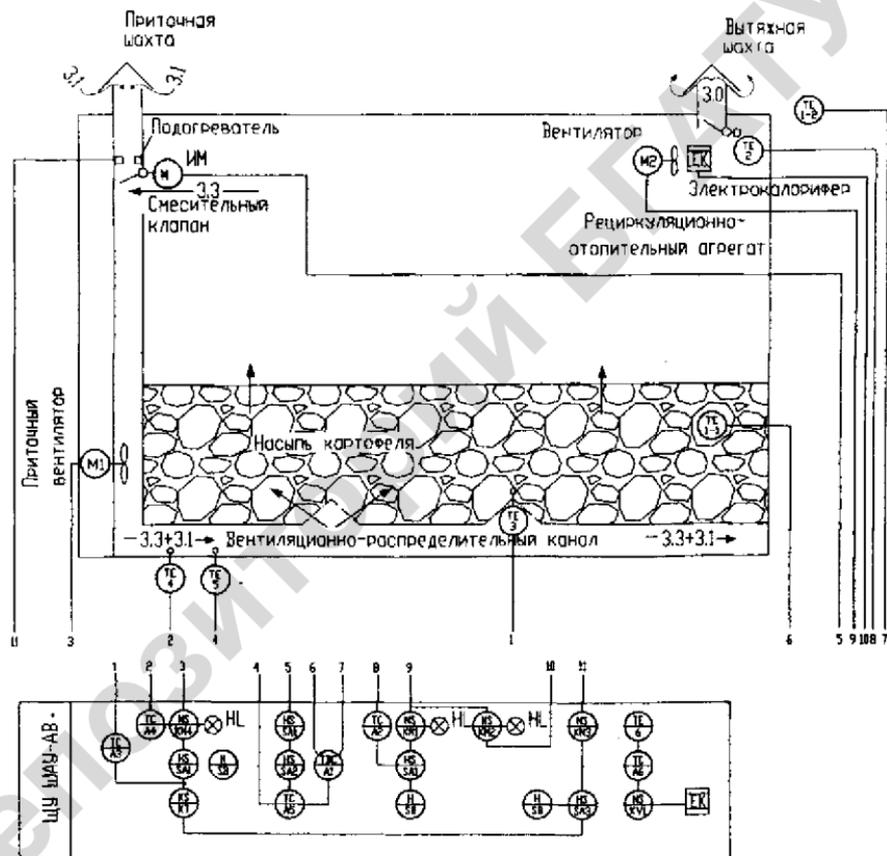
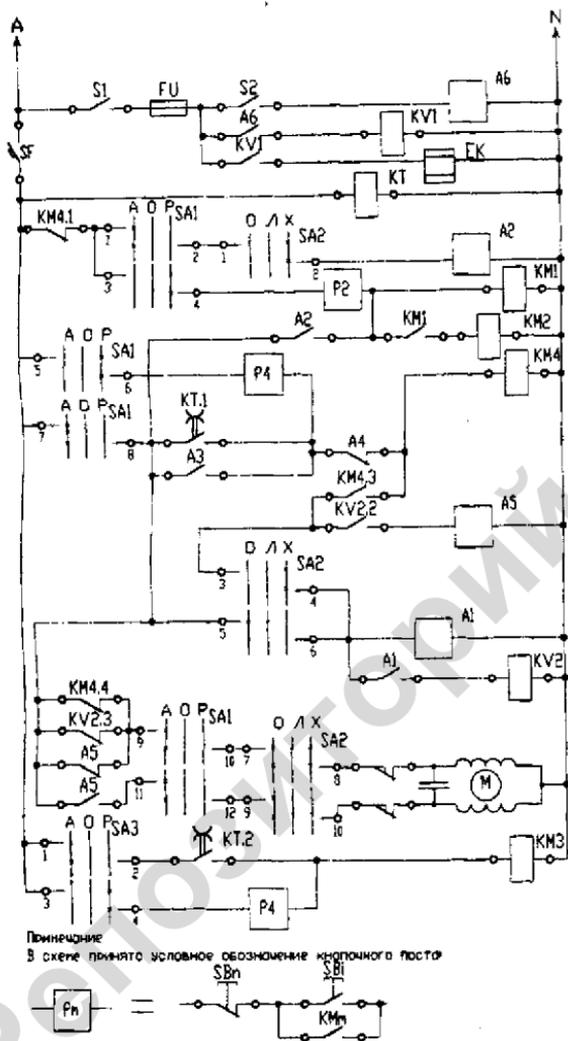


Рис. 4.27 Схема автоматизации управления температурным режимом в картофелехранилище



Подогрев шкафа управления	
Привод 2 РВМ	
Управление отопительно-рециркуляционным агрегатом	Двухпозиционный РП
	Вентилятор Калорифер
Управление приточным вентилятором	Ручное
	Автоматическое (2 РВМ)
	от перепада температуры от самонагрева
Автоматическое регулирование температуры смешиваемого воздуха	
Определитель перепада температур	
IM заслонки смешительного клапана	при отключении вентилятора
	отсутствие перепада температур опущенной температуры открытия
Подогрев смешительного клапана	

Рис. 4.28 Упрощенная принципиальная схема управления шкафа ШАУ-АВ (цепи регулирующих приборов изображены упрощенно; не показаны цепи ручного управления ИМ)

В автоматическом режиме управления и всех периодах хранения приточный вентилятор включается и выключается магнитным пускателем КМ4, управляемым контактом КТ.1 программного реле времени 2РВМ. Программное реле КТ настраивается вручную на шестиразовое включение приточного вентилятора в сутки в каждом случае на 30 мин. Реле КТ может быть перепрограммировано в соответствии с технологическими требованиями.

В период охлаждения и хранения с целью снижения температуры до оптимального уровня, в соответствии с технологическими требованиями, клубни картофеля вентилируют смесью наружного и внутреннего воздуха в те периоды суток, когда температура наружного воздуха не менее чем на 4–5 °С ниже температуры насыпи картофеля. Охлаждают клубни медленно: на 0,5–0,6 °С в сутки при максимальной влажности воздуха до 100%. Период охлаждения длится 20–25 суток.

Контролируют перепад температуры с помощью датчиков температуры ТЕ₁₋₁ и ТЕ₁₋₂, установленных в насыпи картофеля снаружи хранилища.

Если разница температур больше так называемого дифференциала (выше 2–3 °С), то срабатывает дифференциальный регулирующий прибор А1 и включает промежуточное реле КВ2 (размножитель контактов). Контактными КВ2.2 включается регулирующий прибор А5, который своими контактами управляет степенью открытия смесительного клапана.

Для получения смеси наружного и внутреннего воздуха с заданной температурой в хранилищах с активной вентиляцией применяются смесительные камеры, оборудованные одностворчатыми или жалюзийными поворотными клапанами с электрическими механизмами.

В качестве исполнительных механизмов регулирующих органов в системах вентиляции хранилищ применяют ИМ-2/120 и МЭО-4/100, время одного оборота выходного вала которых 100–120 с.

Смесительную камеру с регулируемым клапаном, как объект управления, можно описать уравнением теплового баланса в приращениях:

$$C \theta_n \Delta G_n + C \theta_p \Delta G_p = C \theta_n \Delta G, \quad (4.39)$$

где θ_n и θ_p — значения температур наружного и рециркуляционного воздуха, °С;

$\Delta G_n = - \Delta G_p$ — приращение смешиваемых количеств наружного и рециркуляционного воздуха, кг/с;

$\Delta \theta_n$ — приращение температуры (град) для удельного расхода приточного воздуха G_1 кг/с.

С учетом указанных соотношений уравнение (4.31) можно представить в виде:

$$\left[\frac{\theta_n - \theta_p}{G} \right] \Delta G_n = \Delta \theta_n, \quad (4.40)$$

откуда определяется значение передаточной функции смесительной камеры как усилительного звена:

$$W(P) = \frac{\Delta\theta_n}{\Delta G} = \frac{\theta_n - \theta_p}{G} = k. \quad (4.41)$$

Смесительная камера представляет собой безинерционное звено. Постоянная времени регулирующего органа значительно превышает инерционность датчика температуры ТЕ5 и в системе управления поворотным клапаном могут быть использованы регулирующие приборы непрерывного регулирования с любым законом регулирования, включая простейший пропорциональный закон.

Открытие клапана производится замыкающим контактом А5 регулирующего прибора А5, тем самым происходит снижение температуры воздуха в смесительной камере до установленного значения, после чего контакт размыкается. Закрывается клапан автоматически после отключения привода вентилятора.

Датчик ТЕ5 терморегулятора А5 устанавливается после вентилятора в магистральном канале на расстоянии 2–3 м от него. В качестве регулирующего прибора может быть использован трехпозиционный регулирующий прибор. Верхнее значение установки «норма» должна соответствовать температуре хранения продукта, нижняя — установке минимально допустимому значению температуры хранимого продукта. При этом должно быть выполнено следующее условие $3T_d < t_n$, где T_d — постоянная времени датчика температуры регулирующего прибора; t_n — время снижения температуры воздуха после смесительного клапана на величину Δt «норма». Если это неравенство не выдерживается, необходимо уменьшить скорость открытия клапана.

Система аварийной защиты хранимого продукта от подмораживания и перегрева от самосогревания. В качестве регулятора для аварийной защиты от подмораживания хранимого продукта может быть использован двухпозиционный регулирующий прибор (А4), датчик которого устанавливается в магистральном канале после приточного вентилятора. При снижении температуры воздуха ниже допустимой, контакт регулирующего прибора в цепи катушки магнитного пускателя КМ4 размыкается и вентиляция овощей воздухом прекращается.

Для защиты картофеля от самосогревания также используется двухпозиционный регулирующий прибор (А3), датчик которого устанавливается в массе продукта на глубине 0,5–0,7 м. При повышении температуры картофеля выше допустимой замыкается контакт регулирующего прибора А3 в цепи катушки магнитного пускателя КМ4 и включается привод приточного вентилятора.

Регулирование температуры верхней зоны. Температура воздуха над массой хранимого продукта оказывает большое влияние на сохранность верхнего слоя продукта, особенно когда в условиях активного вентилирования емкость хранилища используется полностью и между насыпью продукта и перекрытием остается воздушная прослойка высотой 0,8–1,5 м.

При низких наружных температурах перекрытие переохлаждается, температура воздуха и верхних слоев продукта снижается и на них выпадает конденсат. Увлажнение верхнего слоя продукции ведет к повышенным ее потерям.

Для предупреждения выпадения конденсата необходимо поддерживать температуру воздуха между перекрытием и продуктом на 1–2 °С выше температуры массы продукта и обеспечить циркуляцию воздуха.

Проведенные исследования и опытная эксплуатация доказали, что эту задачу наиболее успешно осуществляют при помощи рециркуляционно-отопительных агрегатов, состоящих из электрокалорифера и осевого вентилятора, обеспечивающих подогрев воздуха при его прохождении через агрегат на 2–4 °С.

Передаточную функцию верхней зоны овощехранилища можно определить из дифференциального уравнения теплового баланса:

$$C G d\theta/dt = q - dF(\theta - \theta_0) - C G_B(\theta_B - \theta), \quad (4.42)$$

где C — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · °С);

G и θ — масса и температура воздуха в верхней зоне, соответственно кг и °С;

q — тепловыделения от продукции, Дж/с;

α — коэффициент теплоотдачи от воздуха к ограждениям, Дж/(м² · с · °С);

F — площадь поверхности ограждений, м²;

θ_0 — температура ограждений, °С;

θ_B и G_B — температура и удельный расход воздуха на входе в верхнюю зону, соответственно °С и кг/с.

Если из-за отсутствия численных величин, входящих в уравнение (4.42), трудно найти аналитическим путем количественное выражение передаточной функции, то следует снять экспериментальную кривую разгона и по ней одним из существенных методов определить передаточную функцию верхней зоны. Она выражается тремя составляющими (по числу параллельно действующих возмущений), а именно согласно уравнению (4.42), от изменения q , $\theta - \theta_0$ и $\theta_B - \theta$:

$$\begin{aligned} W_1(P) &= \frac{k_1}{T_1 P + 1}; \\ W_2(P) &= \frac{k_2}{T_2 P + 1}; \\ W_3(P) &= \frac{k_3}{T_3 P + 1} \end{aligned} \quad (4.43)$$

Для типового овощехранилища на 1000 т коэффициентов можно принять $k_1 = 0,3$; $k_2 = 0,5$; $k_3 = 0,2$; $T_1 = 2,34$; $T_2 = 0,12$ и $T_3 = 0,004$.

Закон регулирования работой рециркуляционно-отопительных агрегатов, двухпозиционный: при снижении температуры воздуха верхней зоны до

уровня температуры в массе продукции, агрегаты должны включаться, а при достижении заданной температуры выключаться. Включение рециркуляционно-отопительного агрегата проводится при отключенном приточном вентиляторе.

Датчик терморегулятора должен устанавливаться на расстоянии 40–60 см от перекрытия вне действия прямых потоков теплового воздуха.

Рециркуляционно-отопительный агрегат мощностью 7,5–10 кВт с осевым вентилятором № 6 надежно обеспечивает предупреждение увлажнения верхнего слоя продукта на площади 80–120 м².

4.5 Автоматизация процессов приготовления кормов

4.5.1 Технологические основы механизированной обработки и приготовления кормов

В хозяйствах республики используют на корм животным корнеклубнеплоды, силос, грубые корма, сенную и травяную муку, отходы пищевой промышленности. Питательные качества этих кормов повышают путем предварительной обработки, обогащения витаминными и биохимическими добавками, а также приготовления кормовой смеси.

Практика показала, что на средних и крупных животноводческих фермах обрабатывать и приготавливать корма нужно в кормоцехах. При этом обеспечивается специализация производства и обслуживающего персонала, операции технологического процесса выполняются машинами, согласованными между собой по технологическому назначению и производительности, механизуются транспортные и перегрузочные работы, внедряется плановая система технического обслуживания. Для мелких ферм более экономично и проще использовать универсальные кормоприготовительные агрегаты.

За основу технологии кормоприготовления и ее комплексного технического оснащения приняты некоторые технологические приемы механизированного кормоприготовления, которые получили широкое распространение.

В связи с разнообразием технологий и условий кормоприготовления отсутствуют единые теоретические основы расчета технологических линий и комплексов, поэтому пользуются приближенными методами расчета.

Для одной группы животных суточный объем обработки и приготовления кормов (кг):

$$Q = q n,$$

где q — масса данного корма в суточном рационе одного животного, кг;

n — количество животных в группе.

Для всех групп животных суточный объем обработки и приготовления данного корма (кг):

$$Q_c = Q_{n_1} + Q_{n_2} + \dots + Q_{n_k}$$

Годовой объем перерабатываемого корма каждого вида (т):

$$Q_2 = \frac{365Q_1}{1000}$$

В зависимости от распорядка рабочего дня фермы устанавливают продолжительность обработки данного корма в течение рабочего дня

$$T = t_y + t_{\Delta n} + t_b,$$

где t_y — время утреннего приготовления кормов, ч;

t_b — время вечернего приготовления кормов, ч.

Производительность в час чистого времени технологической линии комплекса или машины (т/ч):

$$P = \frac{Q}{1000T}$$

По полученному значению P подбирают машины и оборудование для данной технологической линии с наиболее близкой производительностью.

Грубые корма обрабатывают и готовят по технологическим схемам, показанным на рис. 4.29, корнеклубнеплоды — по схемам, изображенным на рис. 4.30, зеленые корма обрабатывают по технологическим схемам, приведенным на рис. 4.31.

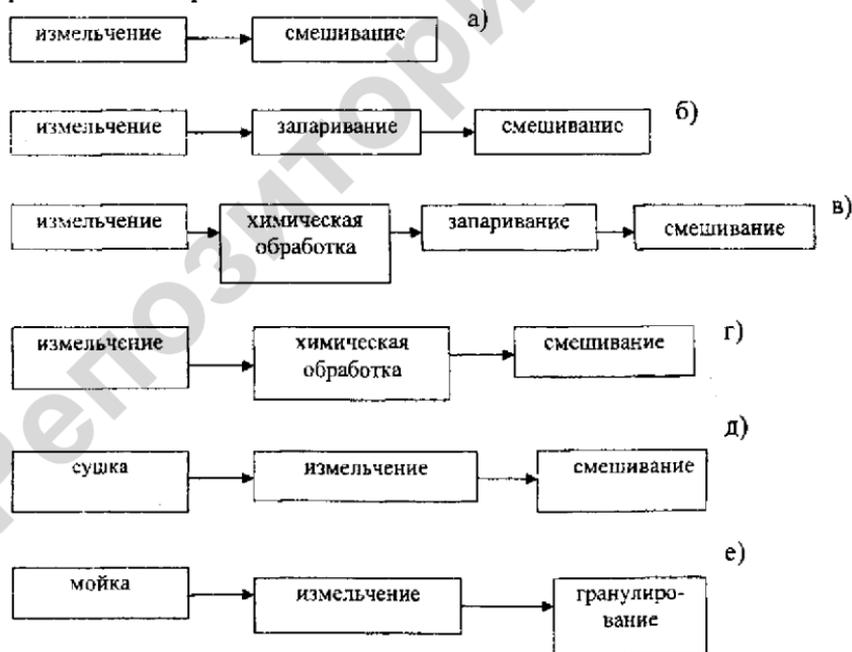


Рис. 4.29 Технологическая схема обработки грубых кормов на фермах: а-г — крупного рогатого скота; д, е — свиноводческих, птицеводческих



Рис. 4.30 Технологическая схема обработки корнеклубнеплодов: а – при выгрузке в кормораздатчик; б, в – в кормощах

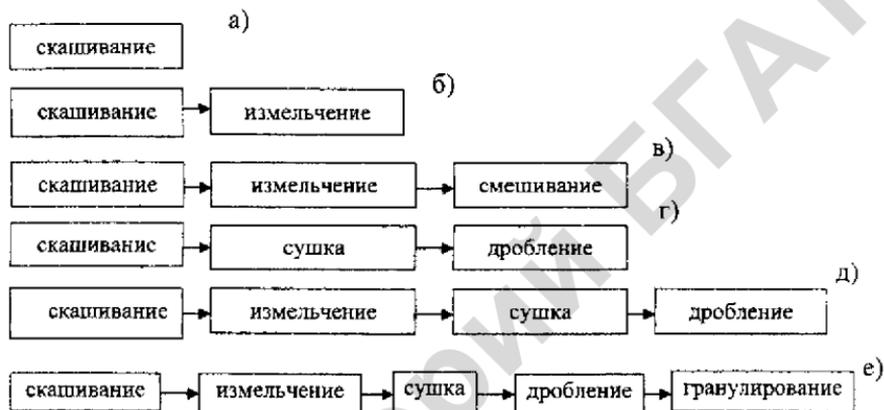


Рис. 4.31 Технологическая схема обработки зеленых кормов: а, б, в – при использовании их в естественном виде; г, д, е – при приготовлении витаминизированной муки

4.5.2 Автоматизация агрегатов для приготовления травяной муки

Агрегаты для приготовления травяной муки сушат измельченную при скашивании силосокомбайном траву и другие материалы (жом, листья, хвою, зерно), превращают их в муку и затаривают в мешки. В хозяйствах страны эксплуатируются несколько типов агрегатов витаминной муки (АВМ): АВМ-0,4; АВМ-0,65; АВМ-1,5 и АВМ-3 соответственно производительностью 0,4; 0,65; 1,5 и 3 т/ч травяной муки.

Кроме этих агрегатов, используются установки «Витагама-1» и польская установка СБ-1,5 (М-804/0-1,5). Все эти установки отличаются высокой энергоемкостью (210–300 кг жидкого топлива и 120–150 кВт·ч электроэнергии на каждую тонну муки).

Автоматизация технологических процессов позволяет получить травяную муку высокого качества и снизить удельный расход энергии на ее производство.

Рассмотрим принцип действия технологической и принципиальной электрической схем агрегата на примере АВМ (рис. 4.32, 4.33).

Жидкое топливо подается насосом и впрыскивается форсункой в камеру газификации топки под давление 1,2 МПа. Сюда же поступает воздух от вентилятора. Смесь воздуха и топлива воспламеняется от искры, создаваемой трансформатором зажигания. Топочные газы, перемешиваясь с воздухом и травяной сечкой, засасываемыми вентилятором циклона сухой массы, образуют теплоноситель с температурой 250–300 °С при получении зернофуражной муки и до 600–900 °С при сушке травяной муки. Сушильный барабан загружают через горловину при помощи конвейерных трансформаторов. Толщина слоя массы на трансформаторе устанавливается битером. Сушильный барабан, состоящий из соединенных в одно целое трех концентрических цилиндров, вращается на роликах при помощи электропривода МЗ. На внутренней части каждого цилиндра приварены лопасти для ворошения и перемещения высушиваемой массы в потоке теплоносителя. В циклоне происходит отделение высушенной массы от потока топочных газов. Температура выбрасываемых газов контролируется датчиком. Высушенная масса дозатором подается в дробилку. По пути под действием центробежных сил от нее отделяются в камнеуловителе твердые включения (камни, металлические предметы).

Дробилка превращает высушенную массу в муку, которая вентилятором засасывается в циклон-охладитель. Из циклона дозатор и шнек направляют муку к выгрузным люкам, у которых прикреплены мешки. Наличие пламени контролирует фотодатчик, температуру – термодатчик, предельный уровень муки в циклоне-охладителе — датчик уровня. Пуск АВМ производится переключателем SA. Вначале подают звуковой сигнал HA, а затем включают реле KV1. Кнопками «Пуск» кнопочных постов поочередно включают электродвигатели установок в последовательности, обратной технологическому потоку: двигатель M10 дозатора, двигатель M9 вентилятора циклона-охладителя, двигатели M7 и M8 дробилок, двигатели M5 и M6 дозаторов циклонов сухой массы (на схеме рис. 4.32 показаны только один циклон и одна дробилка), двигатель вентилятора, двигатель сушильного барабана, двигатель M12 вентилятора топки. Чтобы зажечь в топке факел, необходимо вручную открыть ventиль на баллоне со смежным газом и кнопкой SB пустить двигатель M11 топливного насоса. При этом блок-контакты KM11 магнитного пускателя включают трансформатор зажигания TV и реле выдержки времени KT. При зажженном газовом факеле открывают кран топлива и зажигают основной факел. После этого замыкается контакт датчика SC контроля пламени. В случае безуспешного розжига топки (нет пламени) реле KT при помощи реле KV2 отключает с выдержкой времени двигатель M11 топливного насоса и трансформатор зажигания TV.

При успешном розжиге через некоторое время, когда прогреется топка, включают двигатели M2 и M1 конвейеров подачи сырой массы в топку. Для экстренного отключения всех механизмов нажимают кнопку SB1. Автоматически они отключаются датчиком предельного уровня SL травяной муки в циклоне-охладителе. В нормальных условиях агрегат останавливают в обратной последовательности кнопками «Стоп» соответствующих кнопочных постов.

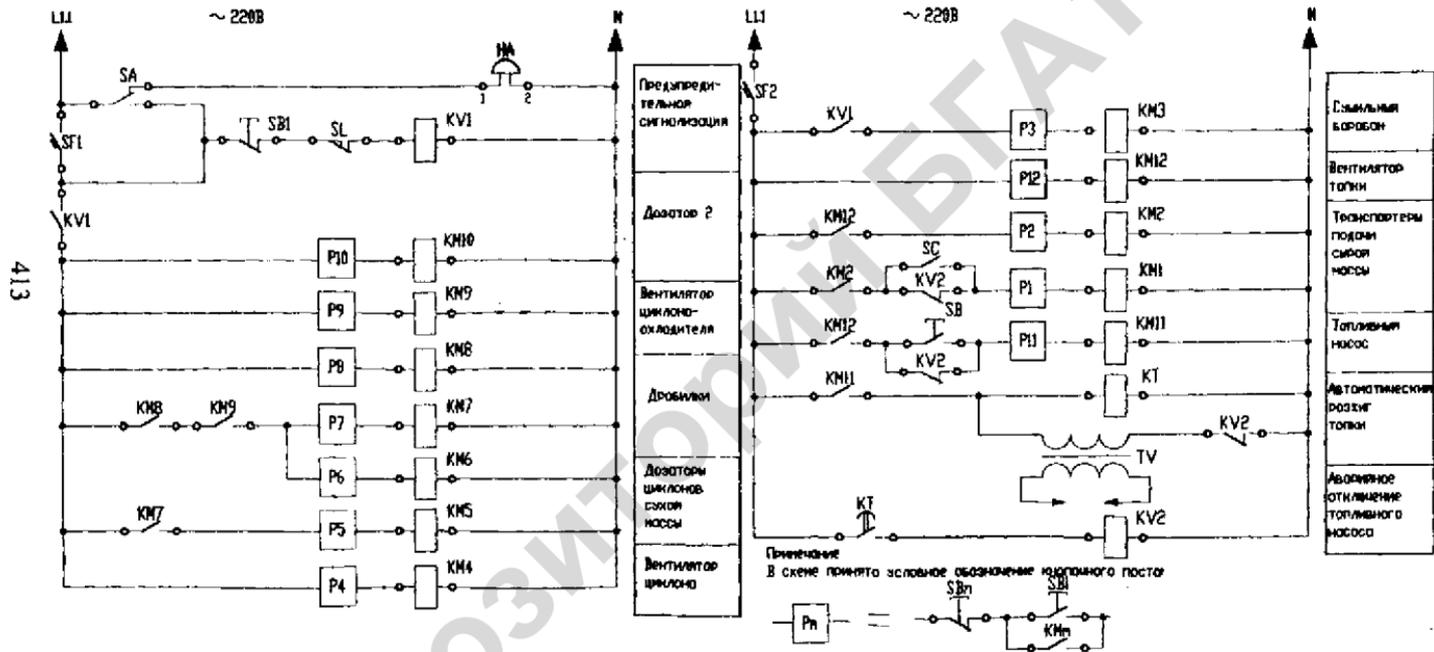


Рис. 4.33 Упрощенная принципиальная электрическая схема управления механизмами АВМ

Двигатели *M12* и *M4* вентилятор топки и циклона оставляют включенными до полного остывания топки, а затем отключают кнопками «Стоп» knappичных постов *P12* и *P4*.

Процесс сушки пока автоматизирован частично и ограничивается только управлением температурой.

Температуру теплоносителя на входе регулируют по температуре газов на выходе из циклона, изменением подачи топлива к форсунке. Автоматическое управление подачей количества топлива в зависимости от температуры теплоносителя возлагается на электроконтактный термометр ЭКТ. Если температура ниже заданной, электромагнитный вентиль *PO2* закрыт и все топливо поступает в форсунку.

При достижении температуры теплоносителя $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ замыкается контакт *SK1* ЭКТ (рис. 4.34). Топливо полностью продолжает поступать к форсунке.

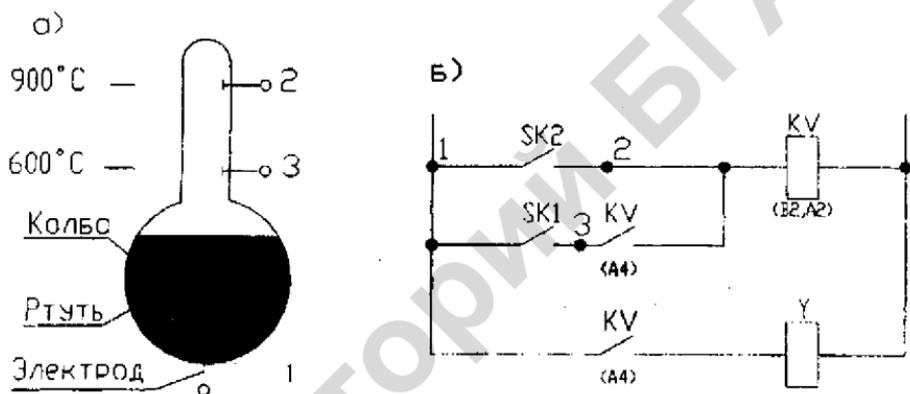


Рис. 4.34 Схема позиционного регулятора температуры теплоносителя: а — схема электроконтактного датчика температуры; б — принципиальная электрическая схема регулятора температуры теплоносителя

Технологический процесс сушки использует принцип мгновенного селективного высушивания материала в высокотемпературной среде теплоносителя. При достижении температуры теплоносителя $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ замыкается контакт *SK2* ЭКТ, «срабатывает» промежуточное слаботочное реле *KV* и своим замыкающим контактом открывает вентиль *PO2*. Через открытый вентиль часть топлива отводится от форсунки во всасывающую магистраль. При снижении температуры теплоносителя ниже $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ контакт *SK1* размыкается, клапан *PO2* закрывается и топливо вновь в полном объеме поступает в форсунку. Температура теплоносителя увеличивается. Из-за инерционности термодатчика и транспортного запаздывания часто наблюдается пересушивание травяной муки, что резко снижает ее кормовые показатели. Вследствие этого необходимо создать работоспособную систему управления не только температурой, но и влажностью травяной муки на выходе.

Температура топлива, подаваемого насосом в топку, поддерживается на уровне $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ при помощи контактного термодатчика *TS14* управляющего

электромагнитным пускателем электронагревателя (рис. 4.32). Схемы управления имеют световую сигнализацию всех механизмов и общую аварийную звуковую сигнализацию.

4.5.3 Автоматизация процесса гранулирования

Гранулированные комбикорма более продуктивны, удобны для хранения и транспортирования. В свежеприготовленной травяной муке содержится до 95% каротина. При хранении большая часть каротина под действием влаги и тепла распадается. После девятимесячного хранения травяной муки в трехслойных бумажных мешках потери каротина достигают 65%, протеина 1,6–15,7%. Гранулирование является лучшим способом сохранения питательных веществ в травяной муке. За 9 месяцев хранения в гранулах травяной муки теряется каротин 6,6%, протеина — 0,35. При соприкосновении с воздухом гранулы окисляются значительно меньше чем мука. Во время гранулирования в травяную муку можно вводить антиоксиданты, обеспечив тем самым возможность длительного хранения гранул в затаренном виде или россыпью. Объемная масса гранул в 2–2,5 раза меньше объемной массы муки, что уменьшает издержки на транспортирование и хранение.

Наибольшее распространение получили пресс-грануляторы, работающие по принципу выдавливания роликами 1 предварительно кондиционированной паром комбикормовой смеси 2 через отверстия 3 вращающейся матрицы 4 (рис. 4.35).

Пресс-гранулятор обеспечивает непрерывное получение гранул из рассыпного комбикорма, поступающего из смесителя.

Большое значение при получении комбикормовых гранул имеет стабильность заданных параметров пара — постоянство давления, выпадающий конденсат и беспере-

бойность подачи.

При увлажнении комбикормовой смеси паром уменьшается выделение тепла в результате уменьшения трения в матрице. Поэтому автоматическое регулирование подачи комбикормовой смеси и соответствующего количества пара дает возможность создать оптимальный режим работы гранулятора.

Через специальные форсунки в смеситель также подают мелассу. Меласса должна иметь температуру в пределах от + 45 до + 50 °С и вязкостью, которая составляет 2×10^{-2} м²/с. Подают мелассу в смеситель равномерно, в количестве 6–3% производительности гранулятора.

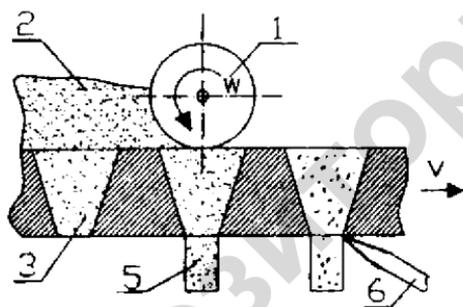


Рис. 4.35 Схема получения гранул: 1 – ролик; 2 – комбикормовая смесь; 3 – отверстие матрицы; 4 – матрица; 5 – гранула; 6 – нож

Из пресса гранулы выходят горячими, и перед закладкой на хранение их необходимо охладить. Для этого предназначена вторая установка — охладитель.

Рассыпной корм, предназначенный для приготовления гранул, подают в питатель пресса, который равномерно и в необходимом количестве подает его в смеситель. Регулируют производительность питателя при помощи вариатора привода питателя.

В прессующей секции вращающаяся матрица благодаря трению увлекает за собой прессующие ролики, которые захватывают продукт и продавливают его через отверстия матрицы. На выходе из матрицы гранулы срезаются ножами и самотеком поступают в охладитель. В грануляторе, как объекте автоматического управления можно выделить несколько динамических каналов. Взаимосвязь этих каналов представлена структурной схемой на рис. 4.36.

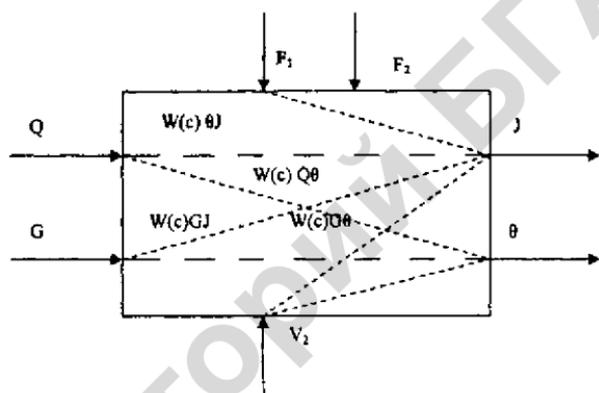


Рис. 4.36 Структурная схема автоматического управления прессом-гранулятором

Каналы $Q-J$ (расход гранулируемой массы — нагрузка главного приводного электродвигателя) и $G-\theta$ (расход пара — температура нагрева гранулируемой массы) являются основными, а каналы $Q-\theta$ и $G-J$, характеризующие взаимную связь регулируемых величин J и θ , — дополнительными.

Возмущающие воздействия продукта F_1 , способные изменить нагрузку гранулятора, зависят от физико-механических свойств гранулируемой массы. Возмущающие воздействия пара F_2 , способные изменить как температуру нагрева гранулируемой массы, так и нагрузку гранулятора, зависят от параметров пара, а также от колебаний температуры исходного продукта и окружающей среды. На рис. 4.37 приведена функциональная структура автоматической системы управления пресс-гранулятором для реализации структурной схемы, приведенной на рисунке 4.36. Она состоит из объекта управления ОУ, представляющего собой пресс-гранулятор, и системы автоматического управления (САУ).

САУ, представляющая собой систему регулирования двух связанных через объект параметров содержит: измерительный трансформатор тока 2 , предназначенные для подачи напряжения и тока в измерительную схему ре-

гулирующего прибора мощности 3. Реле 4 и 5 предназначены для управления реверсивным ИМ вариатора.

Система регулирования температуры содержит: терморезистор 6, предназначенный для измерения температуры в грануляторе при выходе продукта из смесителя, регулирующего прибора температуры 7 и реле 8 и 9 для управления реверсивным ИМ клапана.

Для взаимной работы регуляторов в схеме предусмотрены устройства 10, 11 динамической связи КДС представляющие собой дифференцирующие цепочки RC.

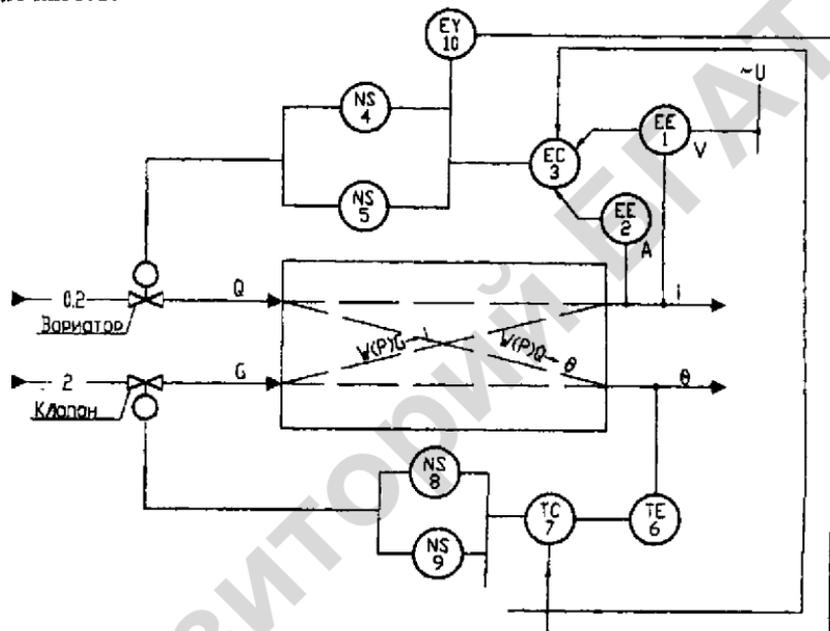


Рис. 4.37 Функциональная структура САУ прессом-гранулятором

В дистанционном режиме управления пресс устанавливают на заданный режим работы. Для этого оператор с пульта управления периодически подает команду на открытие редукционного клапана подачи пара и периодически увеличивает частоту вращения питателя, т. е. подачу комбикорма в пресс, контролируя при этом по амперметру нагрузку на приводном электродвигателе пресса.

Количество пара и комбикорма выбирают в таких порциях, чтобы нагрузка на приводном электродвигателе пресса была номинальной, а температура комбикорма, поступающего в камеру, находилась в требуемых пределах. Температуру комбикорма после гидротермической обработки контролируют визуально с помощью приборов.

Затем пресс с помощью ключа управления переводят в автоматический режим работы. Нагрузка на приводном электродвигателе и температура гранул поддерживаются автоматически.

Сам пресс-гранулятор работает по стабилизации параметров в переходных режимах, т. е. когда возникают возмущающие потоки — $F_1(t)$ и $F_2(t)$.

При переработке партии продукта с однородными физико-механическими свойствами и стабилизации параметров пара, когда $F_1 = 0$ и $F_2 = 0$, отпадает необходимость использования в САУ пресс-гранулятора САР загрузки электродвигателя и температуры гранул, при этом, установка оптимальных режимов работы пресс-гранулятора обеспечивается оператором вручную в режиме пуска агрегата с последующим периодическим контролем за состоянием параметров.

Описание технологической схемы и САУ такого оборудования прессования кормов приводится ниже.

Наиболее совершенным оборудованием прессования кормов в настоящее время является ОПК-2 производительностью 2 т/ч. Оно универсально, то есть позволяет гранулировать и брикетировать комбикорма в травяную муку, сечку травы и кормовые смеси. Рассмотрим технологическую схему процесса прессования кормов оборудования ОПК-2 (рис. 4.38).

Гранулируемый корм горизонтальным шнеком и вертикальным шнеком загружается в накопительный бункер, из которого дозатором выводится в смеситель-питатель пресса. Одновременно в корм вводятся или вода в дозатор из бака, или пар в смеситель из паропроводов.

Увлажненный корм непрерывно вводится в пресс и продавливается в радиальные отверстия кольцевой неподвижной матрицы, формируя гранулы.

Выдавливаемые гранулы обламываются вращающимся обламывателем и транспортируются ленточным транспортером и норией через камеру предварительного сортирования в охлаждающую колонку.

Гранулы охлаждаются воздухом, засасываемым вентилятором. По мере накопления в охлаждающей колонке гранулы выгружаются вибровыгрузителем через камеру окончательного сортирования на затаривание.

Крошка и негранулированный корм в камерах отделяются от гранул воздушным потоком, создаваемым вентилятором, и через циклон возвращаются транспортером в бункер.

При брикетировании корма травяная сечка из сушильного агрегата засасывается вентилятором через заборник и накапливается в циклоне, а затем через шлюзовой затвор подается транспортером в смеситель-питатель. В этом случае ввода, корм вводится в выгрузную горловину транспортера. Дальнейший путь брикетов — через пресс и далее аналогичен пути гранул.

Неспрессованный корм и крошка возвращаются через циклон на транспортер. Через шлюзовой затвор в травяной корм можно добавлять соломенную резку.

При брикетировании кормовых смесей комбикорм в пресс подается транспортером, травяная сечка и соломенная сечка — транспортером.

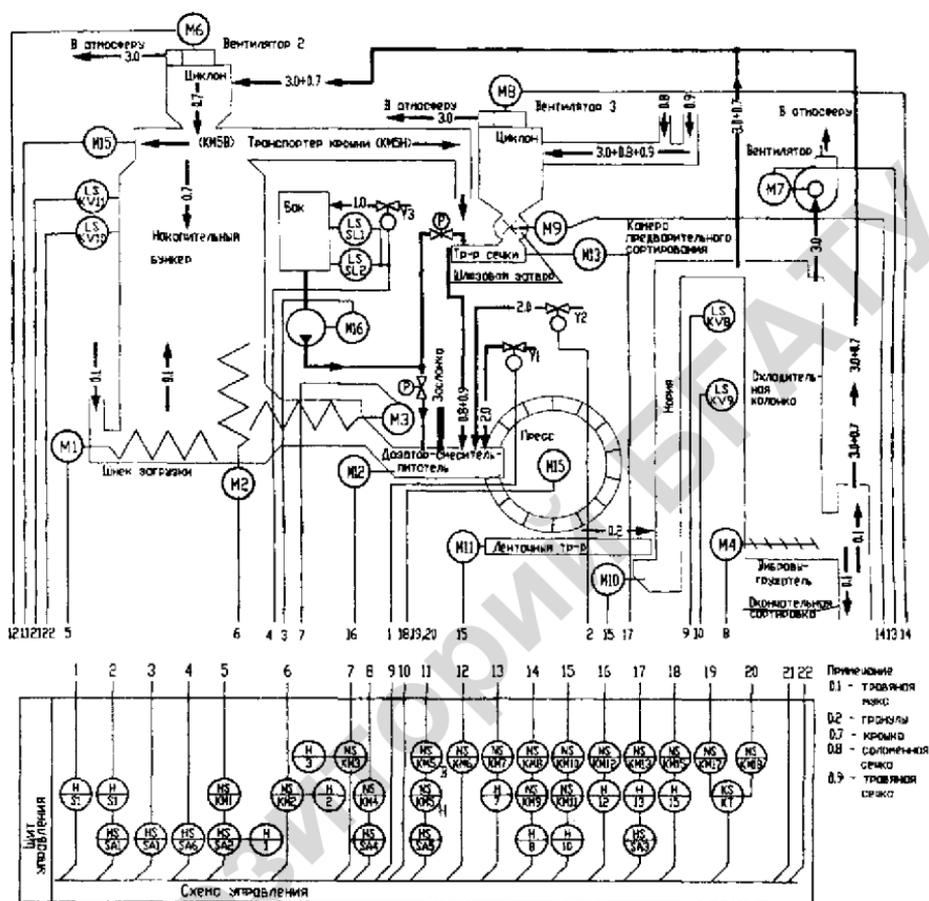


Рис. 4.38 Схема автоматизации пресс-гранулятора ОПК-2

Электрическая схема управления ОПК-2 предусматривает включение и отключение шестнадцати асинхронных электроприборов механизмов, их защиту и сигнализацию о нормальных и аварийных режимах (рис. 4.39).

Для облегчения пуска двигателя M15 прессы, мощность которого составляет 90 кВт, предусмотрено его переключение по схеме со «звезды» на «треугольник».

Суммарная мощность остальных 15 двигателей не превышает 50 кВт.

Пускает и останавливает электроприводы оператор при помощи кнопок «Пуск» кнопочных постов P1–P8. Для экстренного отключения всего оборудования предназначена кнопка SB.

Режим работы выбирают при помощи переключателя SA2: в положении 1 — «Смеси» работают все электродвигатели и брикетируют кормовые смеси, в положении 2 — «Сечка» брикетируют травяную сечку, в положении 3 — «Мука» гранулируют травяную муку или комбикорм. Этим же переключателем переводят схему в режим наладки (на рис. 4.39 цепи переключателя, используемые при наладке, а также цепи сигнализации не показаны).

Переключателем SA1 устанавливают вид увлажнения при прессовании корма: положение 1 — «Вода», 2 — «Пар». Тумблером SA и реле KV2 включают и отключают вторичные цепи. Переключателями SA4 и SA6 устанавливают ручной и автоматический режимы работы соответственно вибровыгрузчика спрессованного корма и вентиля УАЗ, подающего воду на увлажнение корма до 17%.

Уровень исходного сырья в накопительном бункере и готового корма в охладителе контролируется бесконтактными датчиками SL3—SL6 (конечные выключатели типа БВК-24), уровень воды в баке для увлажнения — электродными датчиками верхнего SL1 и нижнего SL2 уровня. Пуск и остановка ОПК-2 осуществляется оператором в определенной предусмотренной технологией последовательности.

Перед пуском включают все автоматы, набирают переключателями SA заданный режим работы отдельных узлов, а затем кнопочными постами поочередно включают агрегаты. Например, при гранулировании корма ставят: SA3 — в положение 3 — «Мука», SA1 — в положение 1 — «Вода», SA4 и SA6 — в положение А, SA5 — в положение В, соответствующие транспортированию крошки транспортером в накопительный бункер. Включают тумблером SA реле KV2, которое запитывает остальные цепи управления и сигнализации. При этом открывается электромагнитный вентиль воды УАЗ. Затем кнопками кнопочных станций P2, P1, P10, P15, P12, P5, P7 последовательно включают соответственно вертикальный шнек бункера, шнек загрузки, норию и транспортер бункеров, пресс, дозатор, транспортер крошки и вентилятор сортировки, вентилятор охладителя. Электродвигатель M15 пресса при помощи реле выдержки времени КТ вначале магнитным пускателем KM16 включается по схеме «звезда», а затем магнитным пускателем KM17 переключается на схему «треугольник». Блок контактами KM17 включается магнитный пускатель KM14 электропривода обламывателя гранул.

После пуска при помощи заслонки дозатора и вентиля воды вручную устанавливают по амперметру номинальную загрузку пресса.

Если по каким-либо причинам уровень сырья в бункере превышает заданное значение, то срабатывает датчик уровня SL6 и выключает реле KV11, которое отключает шнек загрузки. При снижении уровня этот же датчик выдает импульс на повторное отключение шнека.

При заполнении гранулами охладителя срабатывают датчики уровня гранул вначале SL4, а затем SL3. Последний через реле KV8 и KV5 включает привод вибратора-выгрузителя.

Разгрузка гранул вибратором продолжается до снижения уровня гранул, при котором датчик SL через реле KV9 отключит вибратор.

Уровень воды в баке поддерживается при помощи электродных датчиков SL1 и SL2, реле KV7 и электромагнитного вентиля КА3.

Отключают оборудование после закрытия вручную заслонки дозатора и вентиля увлажнителя. Кнопочными станциями P7, P5, P12, P1, P2, P15, P10 отключают соответственно вентилятор охладителя, транспортер крошки и вентилятор сортировки, дозатор, шнек загрузки, шнек бункера, пресс, норию, соблюдая такую последовательность.

При брикетировании травяной сечки при кормосмеси упомянутыми выше переключателями набирают соответственно режим и кнопками управления включают агрегаты в следующем порядке: шнек бункера, шнек загрузки, нория, пресс, транспортер сечки, затвор и вентилятор сечки, затвор соломы, транспортер крошки, вентилятор сортировки и вентилятор охладителя.

Электродвигатель M15 соединен с прессами через предохранительную муфту со штифтами, которые при попадании твердых предметов в пресс срезаются. При этом срабатывает конечный выключатель SQ2 и отключает электропривод пресса. Если смеситель-питатель забивается сечкой, то от давления сечки срабатывает конечный выключатель SQ1 и отключает транспортер сечки.

4.5.4 Автоматизация измельчения кормовых материалов

Измельчение зеленой массы и грубых кормов в летний период производится с целью скармливания животным в естественном виде и в составе влажных кормовых смесей.

В измельчителях применяют барабанные, дисковые и комбинированные рабочие органы.

Комбинированные рабочие органы предназначены для двухступенчатого измельчения кормов с расщеплением продукта вдоль волокон. Первоначальную резку продукта выполняют ножами измельчающего барабана, вторичное измельчение производят штифтами или молотками.

Устойчивая работа измельчителей обеспечивается при равномерной подаче продукта к ножам и хорошей заточке ножей.

На качество измельчения соломы влияет ее влажность поэтому последняя не должна превышать 10%.

Измельчители корнеклубнеплодов по принципу действия различают с режущими рабочими органами и ударного действия.

Ножи хорошо режут корнеклубнеплоды без выделения сока, но быстро изнашиваются в результате абразивного действия земли, песка, измельчаемого продукта, камней. Рабочими органами ударного действия являются жестко или шарнирно-закрепленные молотки, фрезы зубья.

Для дробления зерна в универсальных дробилках первичным рабочим органом является ножевой измельчитель барабанного типа, вторичным — шарнирные молотки. Зерновые дробилки оборудованы только шарнирными молотками.

На процесс дробления расходуется работа (кгм/кг)

$$A = C_{\text{пр}} \left[C_{\text{в}} l q \lambda^3 + C_{\text{р}} (\lambda - 1) \right]$$

где $C_{\text{пр}}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства зерна и принципы механического воздействия рабочих органов на зерно;

$C_{\text{в}}$ — коэффициент характеризующий работу упругих деформаций, отнесенных к единице веса зерна кгм. м/кг;

λ — степень дробления (отношение среднего диаметра зерна к среднему размеру частиц помола);

$C_{\text{р}}$ — коэффициент, характеризующий работу на образование единицы новой поверхности при измельчении 1 кг зерна, кгс.м/кг. Значения коэффициентов $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{в}}$, $C_{\text{р}}$ приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значения коэффициентов расчетной формулы

Продукт	Плотность г / м ³	Средний размер зерна, мм	$C_{\text{в}}$	$C_{\text{р}}$	$C_{\text{пр}}$
ячмень	1,248	0,420	880	765	0,9–1,5
овес	1,355	0,370	240	200	3,5–6,5
рожь	1,281	0,33	655	655	1,1–1,8

* Для молотковых дробилок

Мощность, необходимая для измельчения зерна (кВт)

$$N = (1,15 - 1,2) \frac{Aq}{101,97}$$

где 1,15–1,20 — коэффициент, учитывающий затраты на холостой ход;

A — работа, расходуемая на процесс дробления, кгс.м/кг;

q — производительность дробилки, Г,У.

Качество работы дробилок зависит от влажности исходного продукта, которая не должна превышать 15%. При более высокой влажности производительность машины снижается. При влажности 20% и выше дробильный ротор, зарешетная полость, вентилятор, шлюзовой затвор забиваются. Общий расход электроэнергии на единицу продукта возрастает в среднем на 6% при увеличении влажности продукта на 1% сверх 14%.

В сельскохозяйственном производстве применяются универсальные кормодробилки, предназначенные для дробления зерновых кормов, кукурузных початков, сена, соломы. Они применяются в поточных технологических линиях кормоцехов и на отдельных производственных участках как самостоятельная машина. Зерно из приемного бункера поступает в дробильную камеру, последовательными ударами молотков о рифленые деки решета дробится в муку, которая через отверстия в решетке попадает в зарешетную полость. Вентилятором мука отсасывается из зарешетной полости, нагнетается в циклон, освобождается от воздуха и через шлюзовой затвор поступает в раструбы мешкодержателя для затаривания в мешки или отбора в склад.

Качество работы машины характеризуется степенью измельчения кормовых материалов, которое косвенно можно оценить загрузкой привода измельчающего устройства. Управляющим входным воздействием является подача кормового материала в машину. Физико-механические свойства кормового материала и его влажность представляют собой возмущающие воздействия. Как объект оптимального управления дробилку можно представить аperiodическим звеном первого порядка.

Систему автоматического регулирования работы дробилок можно построить по принципу поддержания постоянной активной мощности в трехфазной сети переменного тока, питающий электропривод дробилки изменяя подачу материала в дробилку заслонкой, управляемой регулируемым электроприводом.

Схема автоматизации САУ приведена на рис. 4.40.

Дробилка может работать в двух режимах: ручном дистанционном и автоматическом (рис. 4.41). Основной режим работы дробилки — автоматический. Однако включают дробилку и доводят до заданной величины в дистанционном режиме при установке переключателей SA в положение «дистанционное». Соблюдение этого условия необходимо потому, что при пуске дробилки в автоматическом режиме будет большое несоответствие между фактической и заданной величинами тока главного электродвигателя. На регулирующий прибор будут поступать сигналы меньшего значения чем установлено на задатчике. Регулирующий прибор выдает сигнал на открытие заслонки. Заслонка будет открываться до тех пор, пока текущая величина тока не сравнится с заданной величиной.

Если заслонка откроется полностью, то сработает контакт SQ1 ИМ и через реле KV3 отключает электродвигатель дробилки раньше чем она полностью загружается.

При работе дробилки в дистанционном режиме питание на ИМ подается переключателем SA3 на три положения с фиксацией переключателя в нейтральном положении 2 и без фиксации в двух крайних положениях. Применение такого ключа позволяет открыть заслонку импульсно, постепенно увеличивая сыпь на дробилку, и доводить нагрузку до уровня заданной, после чего дробилка может быть переведена на автоматический режим работы.

Параллельно с катушкой KM1 включено реле времени KT1, которое с помощью промежуточного реле KV4 управляет всеми операциями схемы, связанными с пуском дробилки. Контакт реле KV4:1 шунтирует контакты реле КК максимального мгновенного действия, настроенного на ток отключения 150 А и отключает свои контакты через отрезок времени, необходимый для окончания пускового периода.

Это не допускает отключения контакта дробилки в период пуска, когда пусковой ток достигает величины 800А.

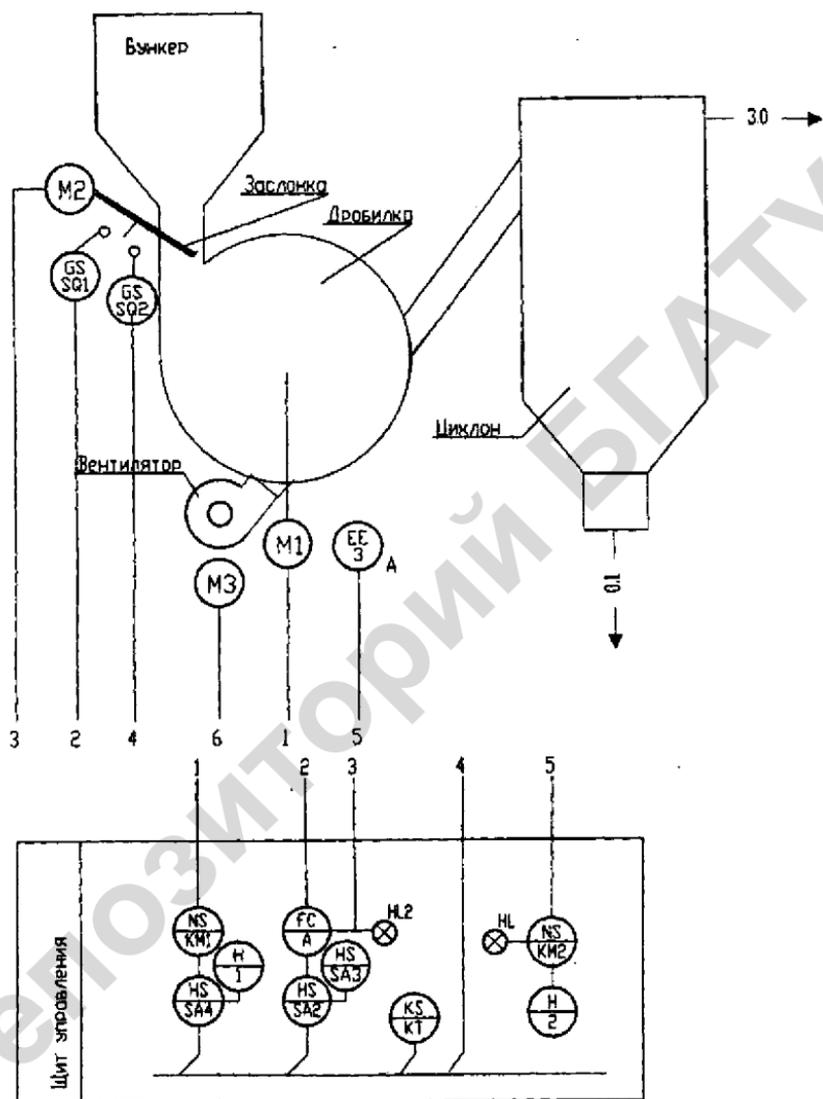
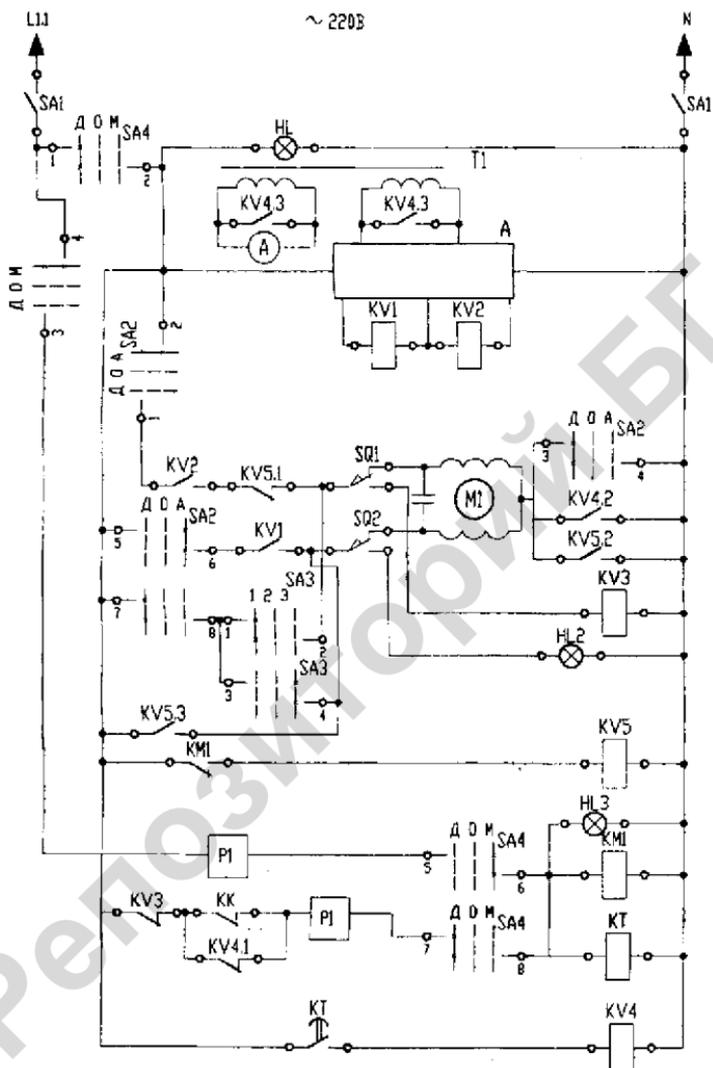


Рис. 4.40 Схема автоматизации измельчения материала дробилкой



Вкл.	
Сеть	
Регулирование привода	РПМЕ-И
	Реле
ИМ привода дробилки	Откр.
	Зако.
Реле отключения дробилки	
Плавный привод дробилки	
Реле пуско дробилки	

Рис. 4.41 Электрическая схема цепей управления загрузкой дробилки

Контакт реле KV4:2 подает напряжение на обмотку ИМ после разгона дробилки, обеспечивая таким образом питание ИМ при работе его в автоматическом режиме. Контакт KV4:3 шунтирует датчик трансформатора тока ДТ на все время, пока питание на регулятор не подано, а дробилка еще не включена в работу, что исключает подачу регулятором импульса на открытие заслонки. Датчик трансформатора тока вводится в работу после окончания периода пуска дробилки. Реле KV4 также шунтирует обмотки амперметров на период пуска.

Все операции схемы, связанные с выключением дробилки, выполняет реле KV5. Оно позволяет управлять закрытием заслонки при отключенной дробилке, причем вслед за остановкой дробилки контакт KV5:1 отсекает контакт KV2, снимая импульс на открытие заслонки, и шунтирует контактом KV5:2 в цепи ИМ.

В схему управления включены три сигнальные лампы, сигнализирующие о наличии напряжения в цепи управления (HL1), работу дробилки (HL3) и полное закрытие заслонки питателя (HL2). Последняя сигнализация необходима в тех случаях, когда надо убедиться в том, что заслонка закрыта, например, при автоматическом выключении дробилки, когда перед новым пуском следует разгрузить ее от оставшегося продукта. Схема допускает с помощью ключа SA3 перевести дробилку на местное управление, без пуска ее с пультя управления. В дистанционном режиме схема позволяет управлять заслонкой в случае отказа реле КТ. Перед отключением дробилки должны работать машины, принимающие продукт. При этом блокирующий контакт первой машины в цепи управления дробилкой должен обязательно быть замкнут (на рисунке не показан). Чтобы дробилка не работала без нагрузки, схемой предусмотрено отключение электродвигателя при полном открытии задвижки.

4.5.5 Автоматизация запаривания картофеля

Линию свежезапаренного картофеля образуют: горизонтальный инерционный транспортер, расположенный в полузаглубленном расходном картофелехранилище; наклонный ковшовый транспортер; мойка, где картофель моется и очищается от примесей; запарник, обеспечивающий запаривание и мятие картофеля при выгрузке.

Картофель из отсеков хранилища поступает на инерционный транспортер, расположенный в центральном проходе, в потоке очищается и моется. После заполнения запарника подающая линия останавливается. Происходит запаривание картофеля по временной программе (рис. 4.42).

Принципиальная электрическая схема технологической линии запаривания картофеля приведена на рис. 4.43.

В автоматическом режиме переключатель SA ставится в положение А.

Пуск технологической линии производится при замкнутых контактах автомата SF1 и тумблера S1.

Включаются последовательно мойка с транспортером камнеотделителем, вентиль воды УА1, ковшовый и инерционный транспортеры, а также вентиль пара. В запарник начинают поступать очищенный картофель и пар.

Когда картофель заполнит объем чана, датчик уровня SL2 замыкается и срабатывает промежуточное реле KV1 и затем KV2, которое своим контактом подключает катушку реле времени KT1. Отключаются ковшовый и инерционный транспортеры, а затем с выдержкой времени мойка-камнеотделитель и вентиль воды.

Температура в чане контролируется датчиком SK1: при достижении 100–150 °С включаются реле KV4 и KT3, которое через 10–20 мин замыкает контакт в цепи катушки магнитного пускателя электродвигателя выгрузного шнека-мялки. Реле времени KT2 управляет процессом дозирования мягкого картофеля. При опорожнении запарочного чана опорожняется и реле KV1 теряет питание. Схема возвращается в исходное положение. Процесс заполнения и запарки повторяется до тех пор, пока кнопкой SB1 или автоматом не будут отключены агрегаты линии.

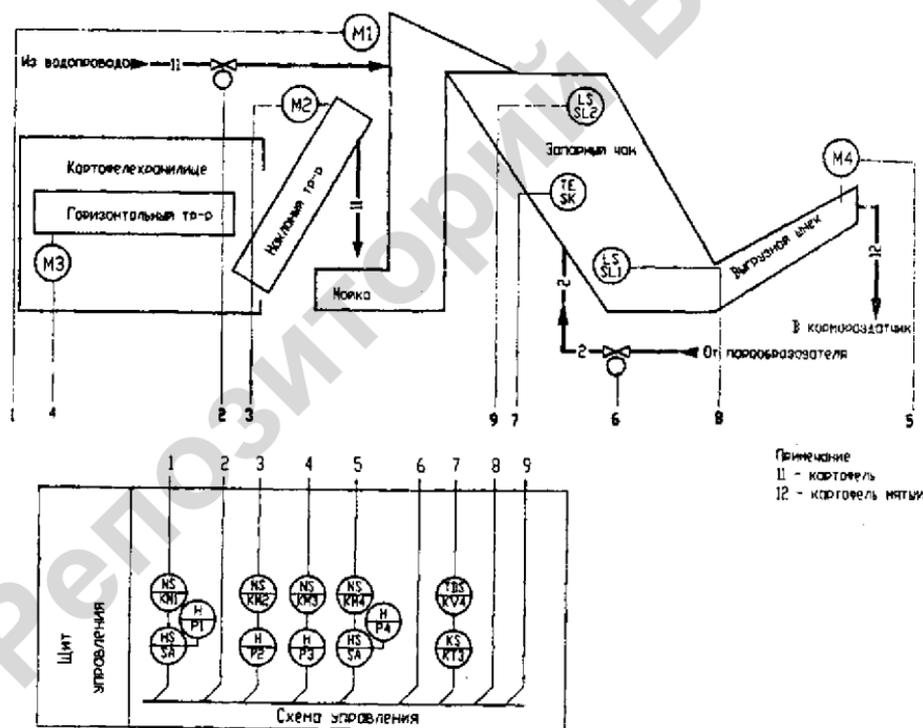


Рис. 4.42 Схема автоматизации линии запаривания картофеля

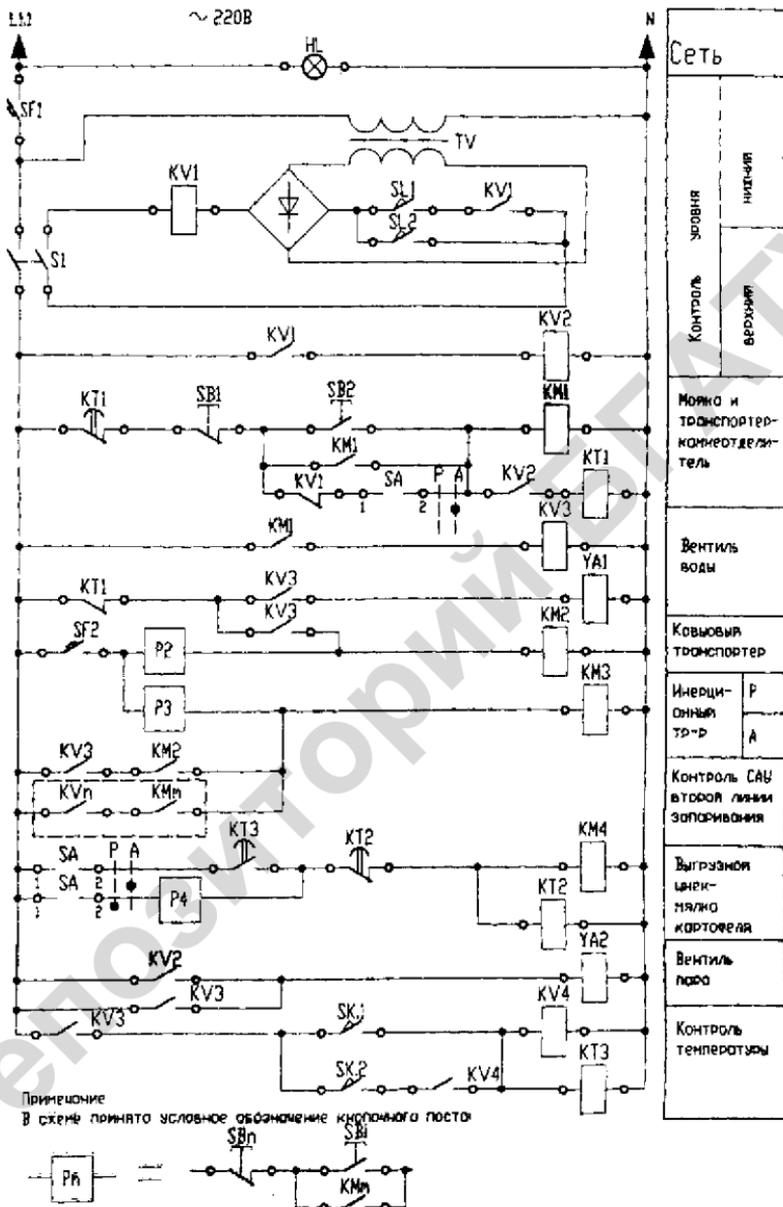


Рис. 4.43 Упрощенная принципиальная электрическая схема системы управления запариванием картофеля

4.5.6 Автоматизация процесса смешивания кормовых материалов

Смешивание представляет собой процесс соединения объемов различных материалов с целью получения однородной смеси в виде моноорма.

Качество смеси оценивают коэффициентом равномерности смешивания $\theta = A_n / A_{см} = B_n / B_{см} \rightarrow 1$,

где A_n, B_n — процентное содержание компонентов А и В в пробе;

$A_{см}, B_{см}$ — процентное содержание компонентов А и В в смеси, принимая

$$A_{см} + B_{см} = 100\%.$$

Смесь однородна в том случае, если в каждом объеме процентное содержание отдельных компонентов равно процентному содержанию этих же компонентов во всей смеси.

Смешивание является завершающей технологической операцией и требует реализации процессов смешивания двух и более различных материалов, не реагирующих между собой. В процессах смешивания могут участвовать как жидкие, так и твердые сыпучие компоненты.

Смесители снабжаются мешалками, которые, с одной стороны, обеспечивают равномерность смеси, с другой стороны, ускоряют процесс смешивания. В зависимости от организации технологического процесса **смесители** могут быть *периодического* или *непрерывного действия*.

Технологическая схема периодического (порционного) смесителя приведена на рис. 4.44.

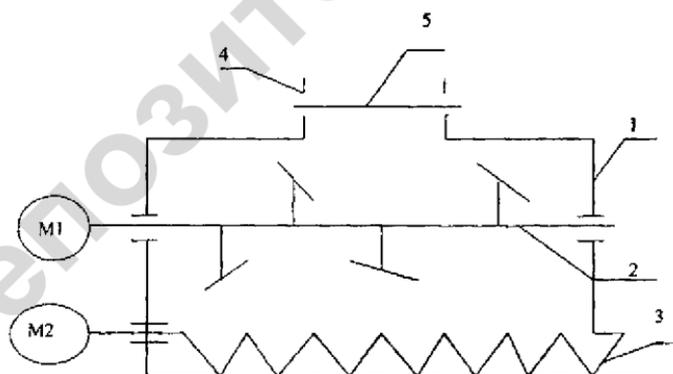


Рис. 4.44 Схема порционного смесителя: 1 – корпус; 2 – мешалка; 3 – выгрузное устройство; M1, M2 – приводы мешалки и выгрузного устройства, соответственно

Порционные смесители кормов работают по циклическому графику с предварительным дозированием кормовых компонентов по массе или объему.

Перемешивание кормов производится с начала его загрузки в смеситель до момента получения однородной смеси. Примерный график процесса смешивания представлен на рис. 4.45.

В случае, когда $\theta = 1$, смесь считается идеальной, а во всех остальных производственной.

Следовательно, задачей автоматизации смешивания кормов порционными смесителями считается определение времени смешивания $t_{ц}$, когда смесь максимально приближается к однородной.

На процесс смешивания влияет большое число факторов: физико-механические свойства компонентов (влажность; вязкость, соотношение плотностей, гранулометрический состав и др); технологические факторы (степень наполнения смесителя, соотношение компонентов и др.) и конструктивные (форма, размер и расположение рабочих органов, частота вращения и др).

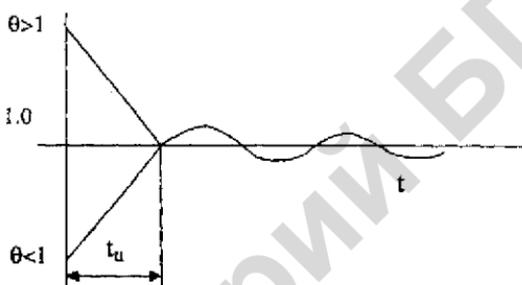


Рис. 4.45 График хода процесса смешивания

В настоящее время сложной и практически нерешенной в техническом отношении является задача разработки датчика однородности смеси для кормовых материалов и время цикла смешивания для различных кормосмесей определяется экспериментально.

Как объект автоматизации смеситель по каналу «расход входного компонента — показатель качества смеси» может быть представлен аperiodическим звеном с чистым запаздыванием или без него. Это зависит от физических параметров компонентов смеси и эффективности перемешивания. По этим же причинам диапазоны изменения инерционности процесса смешивания могут изменяться в широких пределах.

Возмущающие воздействия, вызывающие отклонения хода процесса смешивания, возникают при изменениях расходов и свойств компонентов, участвующих в смеси.

Автоматическое регулирование процесса смешивания сводится к регулированию расходов поступающих компонентов в зависимости от качества получаемой смеси. Наиболее простой способ автоматизации процесса непрерывного смешивания состоит в стабилизации расходов подаваемых компонентов (рис. 4.46, а) устанавливая с помощью регулирующих приборов 1б и 2б значение расхода каждого компонента, добиваются заданного состава смеси.

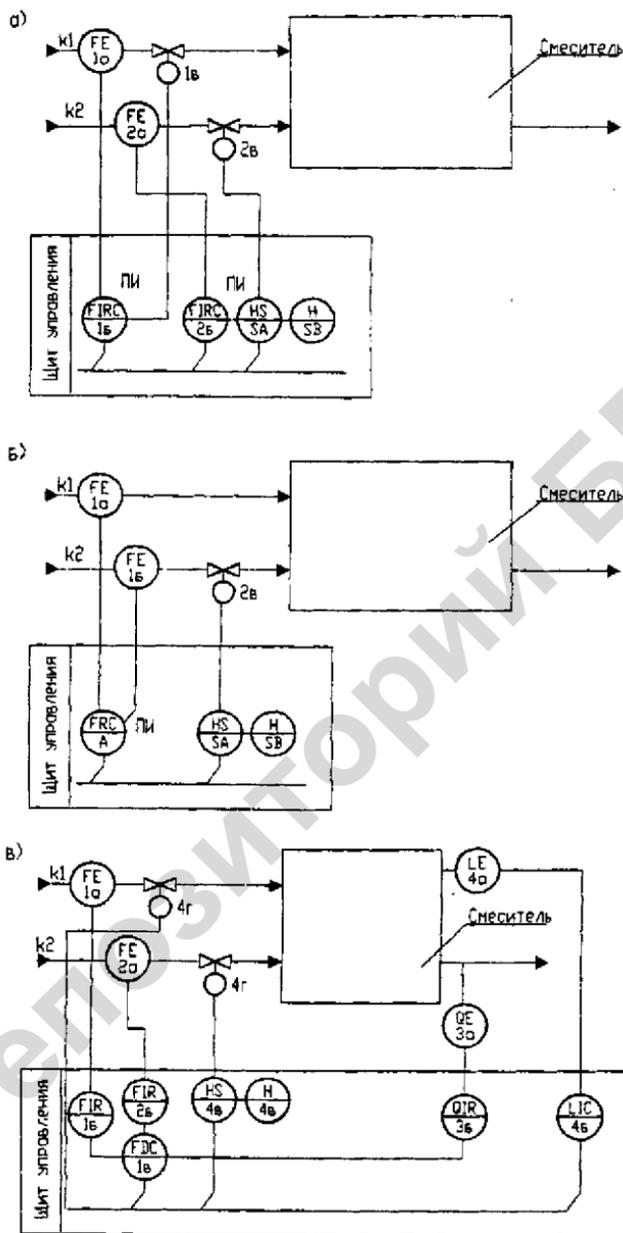


Рис. 4.46 Схемы автоматизации процессов смешивания: а, б – способом стабилизации расходов подаваемых компонентов, в – по качеству смеси на выходе

Другой способ регулирования смесей (рис. 4.46, б) применяется в тех случаях, когда по условиям процесса нельзя стабилизировать расход одного из компонентов (компонент 2), и его расход на смешивание может колебаться в широких пределах.

В этом случае используют регулятор соотношения, автоматически изменяющий расход компонента 1 (ведомого) строго пропорционально изменению расхода компонента 2 (ведущего), т.е. задание регулятору расхода А компонента 1 изменяется автоматически в зависимости от расхода компонента 2. Обе схемы работают по принципу регулирования состава смеси путем стабилизации входных величин.

При наличии информации о качестве смеси, поступающей с прибора анализатора, схема регулирования может быть построена, как показано на рис. 4.46, в.

Расходы компонентов $K1$ и $K2$, формирующих заданную смесь, измеряются посредством расходомеров соответственно $1a$ и $2a$. Результаты измерений фиксируются на вторичных показывающих и самопишущих приборах $1b$ и $2b$ после чего подаются на регулятор соотношения расходов $1в$, который через панель дистанционного управления $1г$ воздействует на регулирующий клапан $1d$ расхода второго (ведомого) компонента $K2$ в зависимости от расхода первого (ведущего) компонента $K1$. Расход компонента $K1$ регулируется в зависимости от уровня в смесителе, который измеряется поплавковым датчиком $4a$ и регулируется регулятором $4б$, воздействующим через панель дистанционного управления $4в$ на регулирующий клапан $4г$.

Качество смеси измеряется датчиком $3a$, который передает сигнал через вторичный показывающий и самопишущий прибор $3б$ в регулятор соотношения $1в$. На основании сигнала качества осуществляется корректировка величины соотношения расходов компонентов $K1$ и $K2$ таким образом, чтобы обеспечить требуемое количество смеси.

Рассмотренная схема автоматического регулирования практически трудно реализуема, так как измерение качества смеси — достаточно сложная задача. В связи с этим часто качество смеси обеспечивают путем жесткого регулирования расходов поступающих компонентов.

4.5.7 Автоматизация комбикормовых агрегатов

Автоматизированные комбикормовые агрегаты предназначены для производства в сельскохозяйственных предприятиях и межхозяйственных комбикормовых заводах полнорационных рассыпных комбикормов из собственного фуражного зерна и покупных белково-витаминных добавок. Агрегаты обеспечивают также приготовление комбикормов по упрощенным рецептам, состоящим из помола фуражного зерна и кормовых обогатительных компонентов (травяной муки, жмыха, рыбкостной муки, дрожжей, соли и др.).

Комбикормовые агрегаты — это компактные установки, на которых выполняется весь цикл технологических операций приготовления комбикормов.

Промышленность выпускает ОКЦ трех типоразмеров производительностью 15, 30 и 50 т комбикормов за смену. Оборудование сконструировано в одном или двух (ОКЦ-50) блоках: зерновом и мучном.

Устройство и технология приготовления комбикормов всех цехов ОКЦ аналогичны (рис. 4.47). Зерно из зернофуражного склада транспортером подают в норию зернового блока, затем в магнитную колонку, где оно очищается от металломагнитных примесей, и шнеком распределяют по шести бункерам. Из бункеров зерно направляется шнековыми дозаторами, в пропорции по установленному рецепту, в нижний шнек-смеситель, перемешивается между собой и направляется в распределительный шнек. Регулировка дозаторов на необходимую производительность осуществляется поворотом установочного лимба храпового механизма привода.

Распределительным шнеком зерновая смесь подается одновременно в три дробилки КДМ-3. Подачу зерна в дробилку регулируют заслонками зерновых бункеров дробилок и контролируют по амперметрам-индикаторам. Измельченное зерно воздушным потоком вентиляторов дробилок направляется в циклоны и через шишозовые затворы циклонов поступает в шнек-смеситель. Из одной дробилки измельченное зерно может быть направлено перекидным клапаном на шнековый транспортер, который распределяет его по бункерам мучного блока. Шнек имеет просеивающее устройство, разделяющее измельченное зерно на две фракции: мелкую, проходящую через решето просеивающего устройства в расположенный под ним бункер, и крупную, попадающую в соседний бункер.

Белково-обогащительные добавки загружают в решетный стан мучного блока, очищают от засорений и, пройдя транзитом через смеситель, норией подают в магнитную колонку. Очищенные от металломагнитных примесей белково-витаминные добавки шнеком распределяют по шести мучным бункерам, каждый сорт отдельно. При собственном производстве белково-витаминных добавок используют смеситель. Для этого компоненты взвешивают на весах и загружают в смеситель через решетный стан или через горловину.

Измельченные зерновые компоненты и белково-витаминные добавки из бункеров мучного блока в рецептурной пропорции подаются шнековыми дозаторами в шнек-смеситель. Регулировку дозаторов на необходимую производительность осуществляют поворотом установочного лимба храпового механизма привода. Вертикальным и наклонным шнеками готовый комбикорм выгружают в кормораздатчики, транспортные средства или в бункера готовой продукции.

Нормальная и устойчивая работа комбикормовых агрегатов обеспечивается при переработке фуражного зерна и обогащительных добавок удовлетворительного качества. При этом влажность зерна не должна превышать $14 \pm 0,5\%$. При более высокой влажности качество дробления зерна и смешивание компонентов ухудшается, увеличивается расход электроэнергии, увеличивается число отказов кормоприготовительной системы и технологический процесс прерывается.

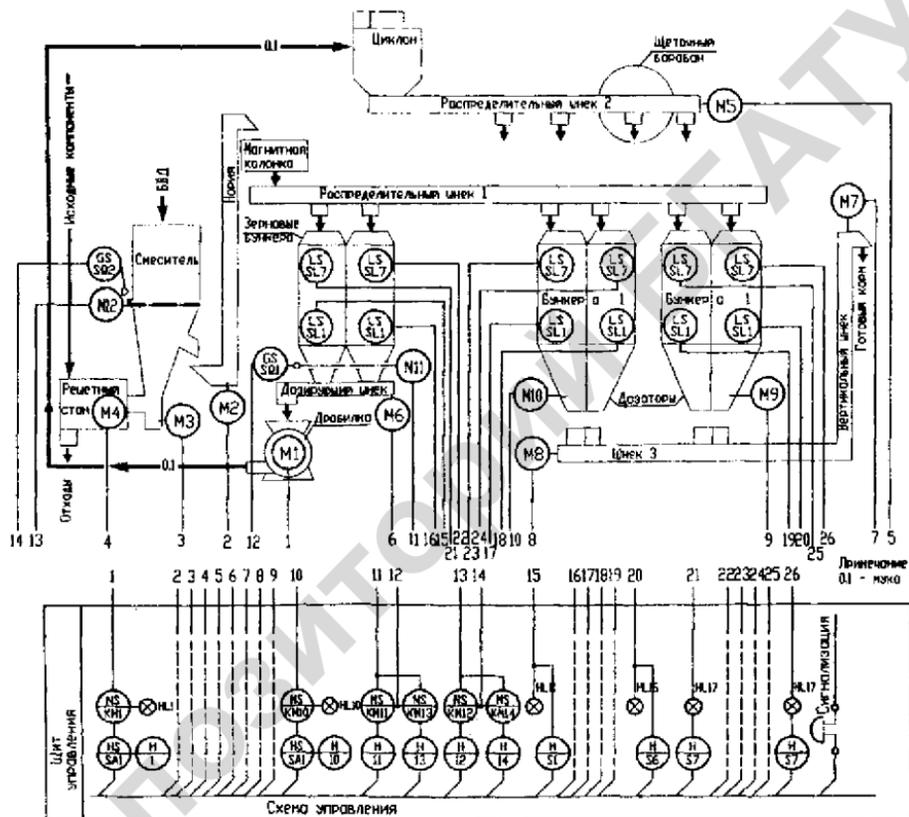


Рис. 4.47 Схема автоматизации комбикормового агрегата ОКЦ-15

В исходном сырье может содержаться песка и камней не более 0,7%, металломагнитных примесей размером до 2 мм не более 30 мг/кг, металлические части с острыми краями не допускаются.

Эффективность комбинированных агрегатов повышается при использовании их в поточной технологической линии, в которой приготовление комбикормов непосредственно связано с выполнением операций послеуборочной обработки зерна — очистки от посторонних включений (песка, камня, соломы и т.д.) и подсушки до кондиционных требований в зерносушильных установках ЗАР-5, ЗАВ-40, ЗАВ-10, ЗАВ-20.

Агрегаты должны устанавливаться в отопляемых помещениях. Подача зерна в агрегаты должна быть механизирована.

Работой оборудования цеха управляют дистанционно при помощи электрической схемы, показанной на рис. 4.48.

Автоматическими выключателями *QF5–QF9* и *SF10* подают напряжение на схему. Переключатель *SA1* имеет три положения: Р — «Работа», О — «Отключено» и Н — «Режим наладки». Оборудование пускают в работу в следующем порядке (переключатель *SA1* в положение Р).

Кнопкой *SB24* подают предупредительный сигнал *HA* о начале пуска машин. Кнопками «Пуск» кнопочных постов последовательно включают магнитный пускатель *KM2* электропривода *M2* (2,2 кВт) нории и распределительного шнека 1, пускатель *KM3* электропривода *M3* (3 кВт) смесителя и пускатель *KM4* электропривода *M4* (1,1 кВт) решетного стана.

При работе включенных машин зерновой фураж загружается в зерновые бункера, а в случае необходимости в бункера 1.

Перед пуском дробилки кнопкой *SB7* включают электропривод *M5* (2,2 кВт) распределительного шнека 2, а затем кнопками *SB9* и *SB11* включают электропривод *M1* (30 кВт) дробилки и электропривод *M6* (0,8 кВт) дозатора. Загрузка дробилки контролируется по амперметру.

Смешивание исходных компонентов и выгрузка готового комбикорма происходит при включении кнопками электропривода *M7* (3 кВт) вертикального шнека и электропривода *M8* (2,2 кВт) мучного шнека 3. Электроприводами *M9* и *M10* (по 2,2 кВт) дозаторов выгрузки компонентов в шнек 3, электроприводами *M11* и *M12* (по 0,27 кВт) задвижек бункера и смесителя управляют кнопками «Пуск» соответствующих кнопочных постов. В крайних конечных положениях задвижек магнитные пускатели *KM11–KM14* отключаются конечными выключателями *SQ1* и *SQ2*. В схеме предусмотрены блокировки, исключающие завалов материалом при пуске и остановке машин. Все секции бункеров оборудованы датчиками нижнего *SL1–SL6* и верхнего *SL7–SL12* уровней. Сигнальные лампы *HL1–HL6* горят при наличии материала в бункерах. При снижении его уровня в бункере до предельного значения переключается один датчик на *SL1–SL6* на звуковой сигнал *HA*, и загорается соответствующая сигнальная лампа *HL11–HL16*. При достижении в бункере уровня предельного верхнего значения срабатывает один из датчиков *SL7–SL12*, который включает звуковой сигнал *HA* и соответствующую сигнальную лампу *HL17–HL22*. Звуковой сигнал снимают тумблерами *SI–S12*. В экстренных случаях все машины останавливают кнопкой *SB*.

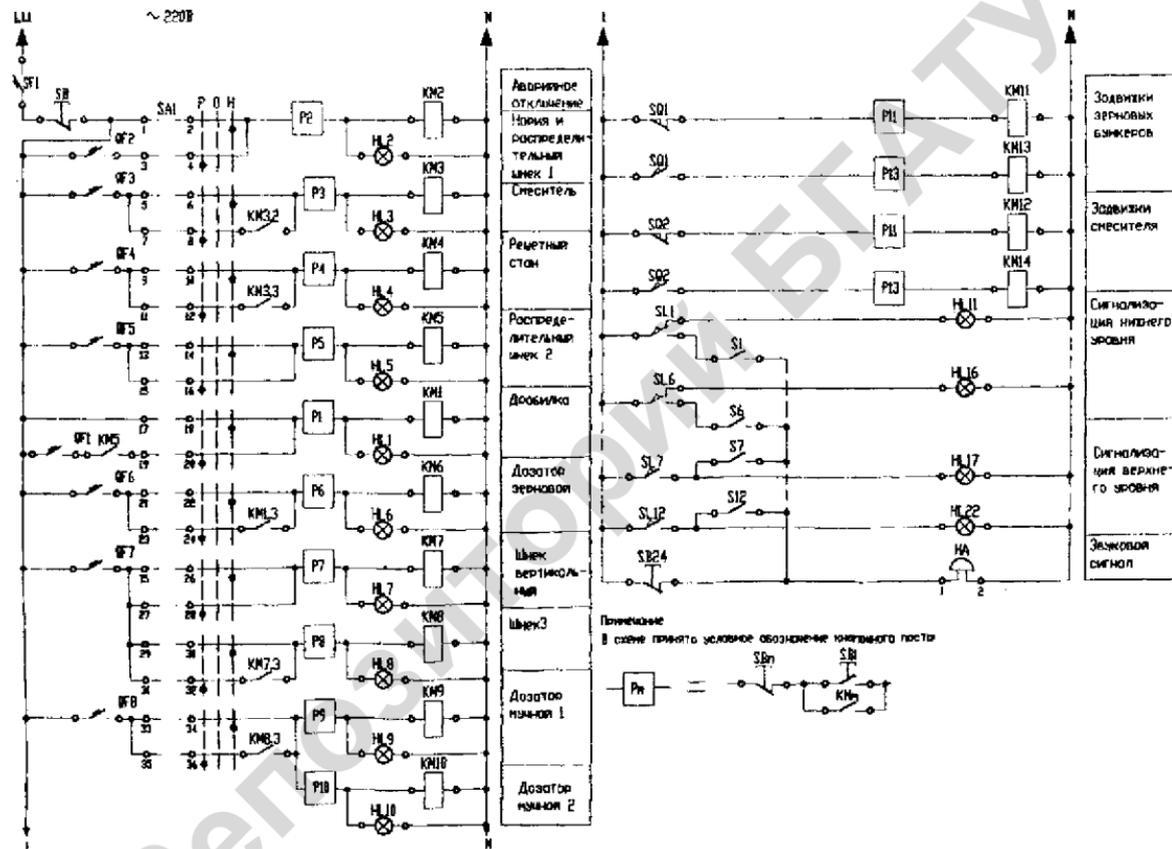


Рис. 4.48 Упрощенная принципиальная электрическая схема управления электрооборудованием комбинированного цеха ОКЦ-15

4.5.8 Автоматизация приготовления кормов в кормоцехе КОРК-15

Комплект оборудования кормоцеха КОРК-15 предназначен для приготовления рассыпных кормосмесей на молочно-товарных фермах и комплексах на 800–2000 голов и откормочных фермах и комплексах до 5 000 голов крупного рогатого скота. Комплект поставляется в двух исполнениях: КОРК-15 для приготовления рассыпных кормосмесей с оборудованием для внесения мелассы и карбамида и КОРК-15-1 без такого оборудования.

Схема автоматизации кормоцеха КОРК-15 представлена на рис. 4.49.

В составе комплекта предусмотрены: линия соломы, линия силоса, линия корнеклубнеплодов, линия концентрированных кормов, оборудование для внесения мелассы и карбамида, линия сбора, смешивания и выдачи кормосмеси.

Технологический процесс приготовления кормосмесей в кормоцехе осуществляется в следующей последовательности.

Солому в тюках, обвязанных шпагатом, в рулонах или россыпью выгружают из транспортных средств на питатель — *загрузчик грубых кормов*.

Здесь режущими барабанами солома частично измельчается с одновременным разрыхлением. Далее по транспортеру с одновременным дозированием она поступает на сборный транспортер.

Дозирование соломы производится изменением скорости подающего транспортера с помощью храпового механизма. Регулировка режима работы храпового механизма производится вручную. Подача корма со скребкового транспортера на сборный осуществляется через дозирующее устройство. При достижении слоя соломы на скребковом транспортере выше установленного срабатывает конечный выключатель регулятора уровня и отключает привод питателя-дозатора, прекращая доступ соломы на транспортер. При достижении слоя соломы заданного значения привод питателя-дозатора выключается. Точность дозирования грубых кормов составляет $\pm 15\%$.

На подающий транспортер тюки соломы подаются путем подъема лотка с помощью гидроподъемника.

Линия силоса предназначена для приема, дозирования, подачи силоса, сенажа на линию сбора, смешивания кормов и выдачи кормосмесей. Устройство питателя-загрузчика силоса такое, как и питателя-загрузчика соломы. Отличительной особенностью линии силоса является то, что вместо измельчающих барабанов установлены битера.

Линия корнеклубнеплодов предназначена для транспортировки мойки, измельчения и дозирования корнеклубнеплодов и выдачи их на сборный транспортер линии сбора, смешивания кормов и выдачи кормосмеси.

Линия включает транспортер корнеклубнеплодов с приемным бункером и наклонным транспортером; измельчитель-камнеуловитель — мойку и бункер дозатор.

Корнеклубнеплоды мобильными транспортными средствами или стационарными транспортерами подаются в приемный бункер и питающим устройством направляются к наклонному транспортеру, а затем в измельчитель-камнеуловитель, где они моются, измельчаются с предварительным отделением камней и поступают в бункер-дозатор на дозирование.

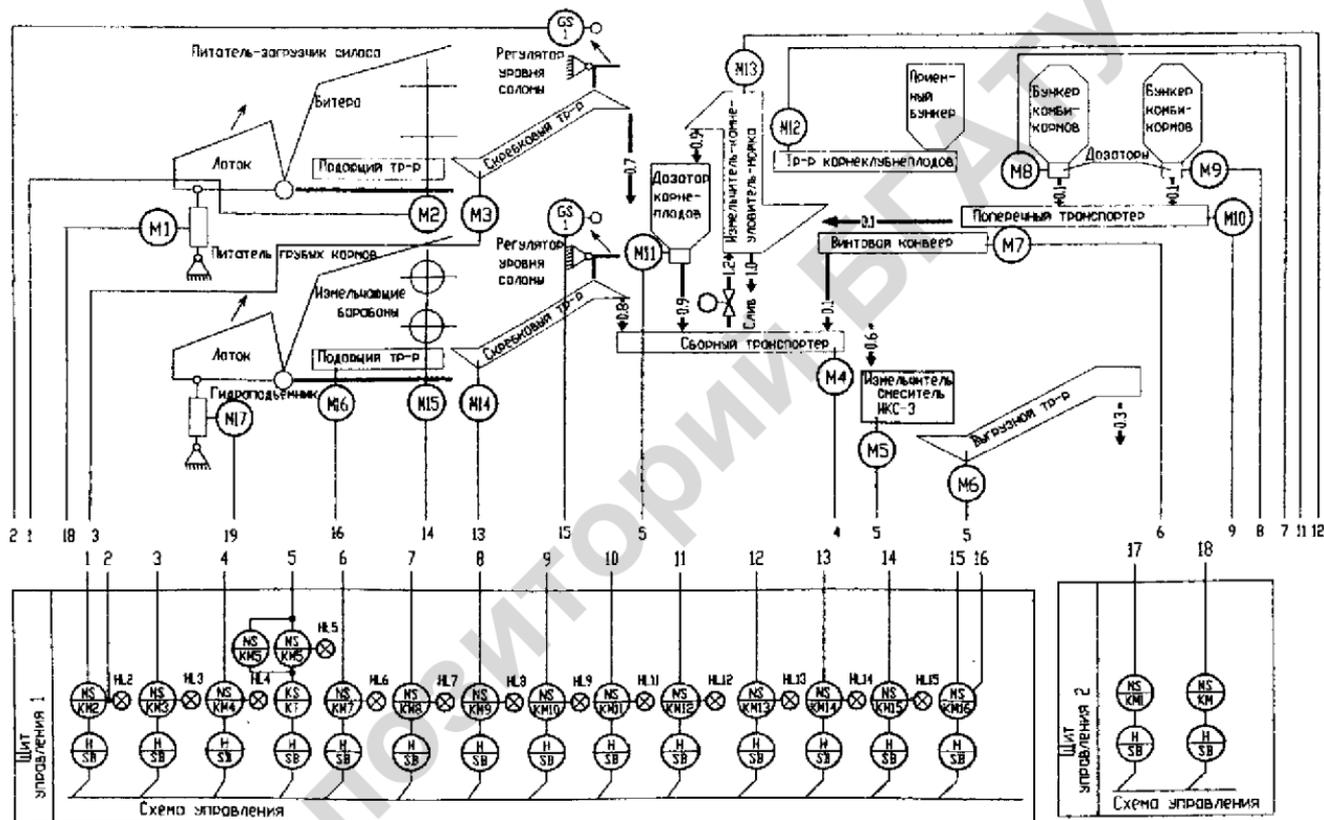


Рис.4.49 Схема автоматизации кормодеха КОРК-15

Из бункера-дозатора измельченная масса с заданным потоком подается на сборный транспортер линии сбора, смешивания кормов и выдачи кормов.

Производительность дозатора устанавливается вручную регулировочным винтом по тарировочному графику в пределах 0,2–3,0 т/ч измельченных корнеклубнеплодов, с точностью $\pm 15\%$.

Линия коницкормов включает два бункера-дозатора состоящих из непосредственно бункеров со сводоразрушителями и дозирующими устройствами по конструкции такого же типа, как у бункера-дозатора корнеклубнеплодов; поперечного транспортера и винтового конвейера. В бункерах-дозаторах предусмотрены датчики верхнего и нижнего уровня для определения наличия корма.

Производительность дозатора по комбикорму можно установить в пределах 0,1–2,8 т/ч, при точности дозирования $\pm 5\%$.

Линия внесения мелассы и карбамида. Карбамид и мелассу вводят в кормосмеси и комбикорма для получения более эффективных и питательных кормов на основе накопления кормового протеина в рационах животных благодаря небелковым азотсодержащим соединениям карбамида.

Для внесения мелассы и карбамида в кормосмеси в составе комплекса КОРК-15 применяют оборудование ОМК-4, ОМК-2 приготовления и внесения карбамида и мелассы. Оборудование работает по двум технологическим линиям: по вводу раствора карбамида и по вводу мелассы.

Гранулированный карбамид из мешков загружают в приемный бункер загрузочного шнека. Далее этим шнеком он подается в емкость, а из нее шнеком-питателем в корзину емкости для растворения сухого карбамида, где находится заданная порция подогретой воды поступившей из подогревателя воды. Подогреватель обеспечивает подогрев воды от 40 до 80 °С для растворения карбамида. При достижении уровня воды, вытесненной поступающим карбамидом, датчиком верхнего уровня подача карбамида в корзину прекращается. На этом заканчивается подготовка порции «вода — карбамид» в соотношении 1:1.

Под действием циркулирующей при помощи насоса воды карбамид полностью растворяется (время растворения — 3 мин) и этим же насосом раствор перекачивается в расходный бак. После этого готовят новую порцию «вода — карбамид».

Из расходного бака накопившийся в нем раствор карбамида насосом-дозатором через воздушный колпак подается в измельчитель-смеситель.

Меласса из накопительной емкости поступает в подогреватель, а из него при помощи насоса-дозатора через колпак воздушный в форсунку смесителя.

Смеситель СМ-1,7 предназначен для приготовления мелассы с карбамидом в воде и подачи этого раствора в измельчитель-смеситель ИСК-3 для слабирования кормосмеси. Его можно использовать и как самостоятельную машину в отдельном помещении для приготовления данного раствора при условии подвода горячей воды и пара.

4.5.9 Автоматизация приготовления кормов на свиноводческих фермах

На свинофермах корма обычно приготавливают в специализированных кормоцехах, которые либо сблокированы со свинарниками, либо имеют с ними транспортную связь. Структура кормоцехов может быть различной, определяемой зональными особенностями и принятой практикой кормления. В корм животным могут идти сухие смеси из концентрированных кормов, травяной муки с добавлением других компонентов, измельченные сочные корма и силос, влажные кормосмеси из концентрированных кормов, силоса, травяной муки, картофеля или сахарной свеклы, вареные смеси пищевых отходов и концентрированных кормов и др.

Кормоцех может включать несколько технологий приготовления кормов. Оборудование такого цеха объединяют в производственные поточные линии для приготовления и выдачи корма.

На рис. 4.50 приведена схема автоматизации кормоцеха для свиноферм, получившая широкое распространение в хозяйствах. В этот цех входят: кормоприготовительное отделение, картофелехранилище заглубленного типа с активной вентиляцией, бункерный склад концентрированных кормов, котельная и другие помещения.

В кормоцехе объединяются семь технологических линий: свежезапаренного картофеля, силосованного картофеля, концентрированных кормов, зеленой массы и сеной муки, обраты, смешивания кормовых компонентов и получения пара.

В кормоцехе используются две линии свежезапаренного картофеля (см. раздел 4.5.6), работающие попеременно.

Зеленую массу подвозят в транспортных средствах и выгружают в питатель сеной муки. Пройдя обработку в измельчителе кормов, масса подается загрузочным транспортером в смеситель. Сеновая мука из питателя поступает по транспортерам в смеситель, минуя измельчитель.

Линия обраты, предназначенная для накопления и подачи в смеситель молочных отходов, состоит из емкости и молочного насоса.

Комбикорма загружаются в приемный бункер и норией подаются на цепной транспортер. При помощи этого транспортера и системы электроздвижек корма (в зависимости от их вида) распределяются в соответствующие бункеры. Отсюда шнековые извлекатели подают концентрированные корма на цепной транспортер, а затем распределительный транспортер направляет их в смеситель. Дозирование комбикорма осуществляется шнеками с использованием реле времени.

Схему по накоплению комбикорма (рис. 4.51) включают пусковой кнопкой *SB3*. Транспортер, загружающий бункеры-дозаторы, начинает работать только тогда, когда открыта хотя бы одна задвижка, перекрывающая доступ концентратов в бункер. При открытых задвижках контакты датчиков *SL1.1-SL4.1* замкнуты. Получает питание катушка магнитного пускателя *KM1*, который включает транспортер и посредством пускателя *KM2* — норью. Происходит последовательное заполнение всех бункеров-дозаторов.

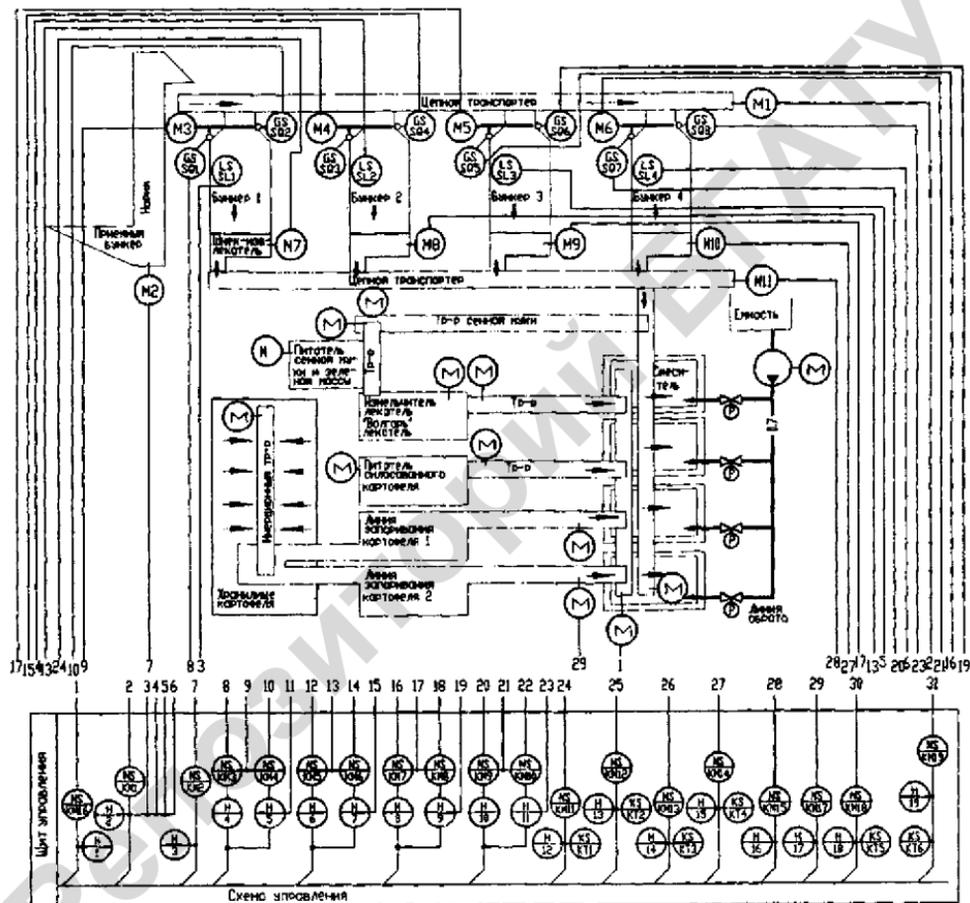


Рис. 4.50 Схема автоматизации САУ приготовлением в кормоцехе для свиноферм

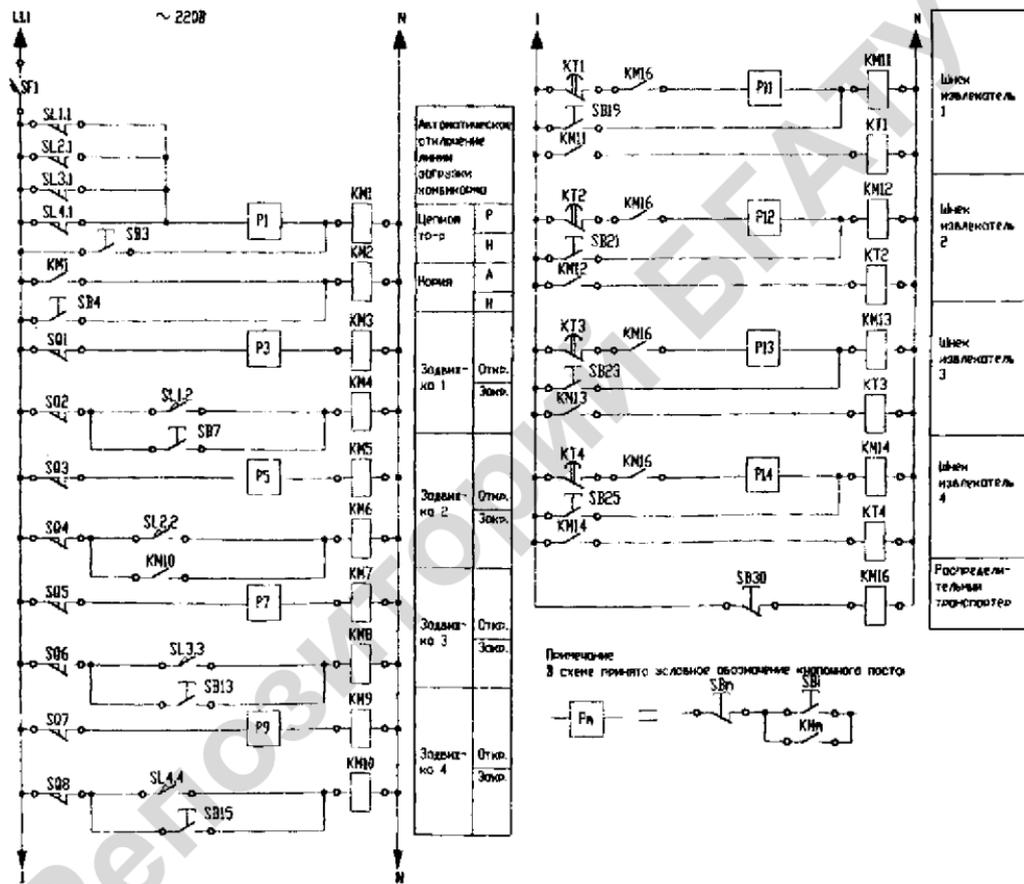


Рис. 4.51 Упрощенная принципиальная электрическая схема САУ накопления комбикорма

Когда бункеры окажутся заполненными кормами, замыкаются контакты датчиков уровней *SL1.2–SL4.2*, что приводит к автоматическому закрытию задвижек и размыканию контактов датчиков *SL1.1–SL4.1* в цепи пускателя *KM1*. Линия загрузки концентратов останавливается. Конечные выключатели *SQ1–SQ8* отключают электроприводы задвижек в крайних положениях.

Чтобы подать определенную дозу корма в смеситель, необходимо нажать кнопку «Пуск» электродвигателя цепного и распределительного транспортеров. Затем кнопками «Пуск» поочередно включают электродвигатели шнеков-извлекателей. Дозировкой управляет реле времени *KT1–KT3* (рис. 4.51). Линию зеленой массы и силосованного картофеля пускают кнопками «Пуск» соответствующих кнопочных постов.

4.6 Автоматизация кормления и раздачи кормов животным и птице

4.6.1 Технологические основы кормления животных и птицы

На раздачу животным обычно поступают кормосмеси, иногда двумя фракциями, как, например, грубые совместно с сочными, а концентрированные отдельно.

Содержание в кормосмеси различных питательных веществ, витаминов и микроэлементов определяются с одной стороны физиологическими данными и возрастом животного, а с другой стороны — его текущей продуктивностью: причем следует иметь в виду, что излишки какого-либо вещества (ингредиента) почти полностью безвозвратно теряются, тогда как все недостающее влечет отрицательное последствие и недобор продуктивности.

Очевидно, главным условием оптимальности кормления является сбалансированность корма и точность дозы его выдачи одному или группе содержащихся совместно животных.

Если в помещении содержатся разновозрастные группы животных одинаковой продуктивности, то состав кормосмеси будет одного модуля и задача дозирования сводится к выдаче порций на количество животных в группах. В птичниках, как правило, содержится разновозрастная птица, кормление которой производится комбикормом разного рецептурного состава и величины нормы в зависимости от возраста птицы и породы.

Когда в помещении содержатся разновозрастные, отличающиеся собственной массой и текущей продуктивностью животные, то задача нормированного кормления усложняется. Самым простым для этого случая решением является введение двухмодульной кормосмеси и соответственно двухвариантной раздачи. Например, в течение суток два кормления (первое и третье) осуществляется кормосмесью «модуль А», рассчитанной по содержанию питательных в расчете на единицу массы животного, а одно кормление (второе) — кормосмесью «модуль Б» в расчете на единицу продуктивности. Тогда управление первой и третьей раздачей может осуществляться в функции массы животных и возраста, а второе — в функции текущей продуктивности (удоев, количества поросят и т.п.).

Длительность промежутков между кормлениями диктуется физиологическими особенностями животных и четко определяется зоотехническими требованиями.

Следует иметь в виду, что отклонение от принятого распорядка кормления может вызвать стрессовые ситуации и отрицательные последствия для продуктивности животных.

По результатам расчетов и обоснований составляется диаграмма кормления животных, являющаяся законом функционирования процесса кормления во времени суток.

При составлении диаграммы раздачи кормов необходимо учитывать, что влажные и полужидкие корма и их остатки в кормушках портятся в результате прокисания и загнивания. Использование таких кормов может привести к отравлениям животных. Поэтому установленные технологическими нормами время хранения и использования жидких кормосмесей также должно учитываться при разработке закона функционирования процесса.

От общих затрат труда по обслуживанию животных раздача кормов занимает 30–40%. К кормораздающим устройствам предъявляют следующие требования:

- *равномерно выдавать корм в кормушки* (отклонение массы от нормы установленной на голову, не должно превышать $\pm 15\%$);
- продолжительность раздачи корма не должна превышать 30 мин при использовании мобильных и 20 мин, если применяются стационарные средства раздачи;
- возвратные потери не должны превышать 1% (невозвратные потери не допускаются);
- *производительность кормораздающего устройства должна изменяться и обеспечивать норму выдачи корма на одну голову от минимальной до максимальной* в зависимости от принятого рациона, продуктивности животных и птицы;
- не раскладывать корм по фракциям, не загрязнять его смазочными веществами, а также не травмировать животных;
- не создавать излишнего шума в животноводческом помещении, легко очиститься от остатков корма и других загрязнений.

Промышленность поставляет сельскому хозяйству различные кормораздающие устройства, обеспечивающие раздачу кормов животным всех видов. Существуют передвижные и стационарные кормораздающие устройства. Тип кормораздатчика зависит от технологии, принятой на ферме, размера фермы.

Передвижные кормораздатчики могут быть тракторные, автомобильные и самоходные с приводом от электродвигателя. Обычно они состоят из бункера, установленного на ходовую часть рабочего органа, забирающего корм из бункера, и рабочего органа, который принимает этот корм и выгружает его в кормушки. Необходимое количество корма, как правило, выдает механизм, забирающий корм из бункера, и рабочего органа, который принимает этот корм и выгружает его в кормушки, т.е. он является дозирующим устройством.

Стационарные кормораздатчики представляют собой транспортеры различного типа в сочетании с загрузочным бункером и дозирующим устройством. Они могут применяться на любых животноводческих и птицеводческих фермах.

На современных животноводческих фермах и комплексах, а также птицефабриках получили два основных вида кормления животных и птицы — ненормированное и нормированное.

Для обеспечения принятого в хозяйстве вида кормления из выпускаемых промышленностью кормораздающих устройств комплектуются технологические линии структура которых схематически изображена на рис. 4.52.

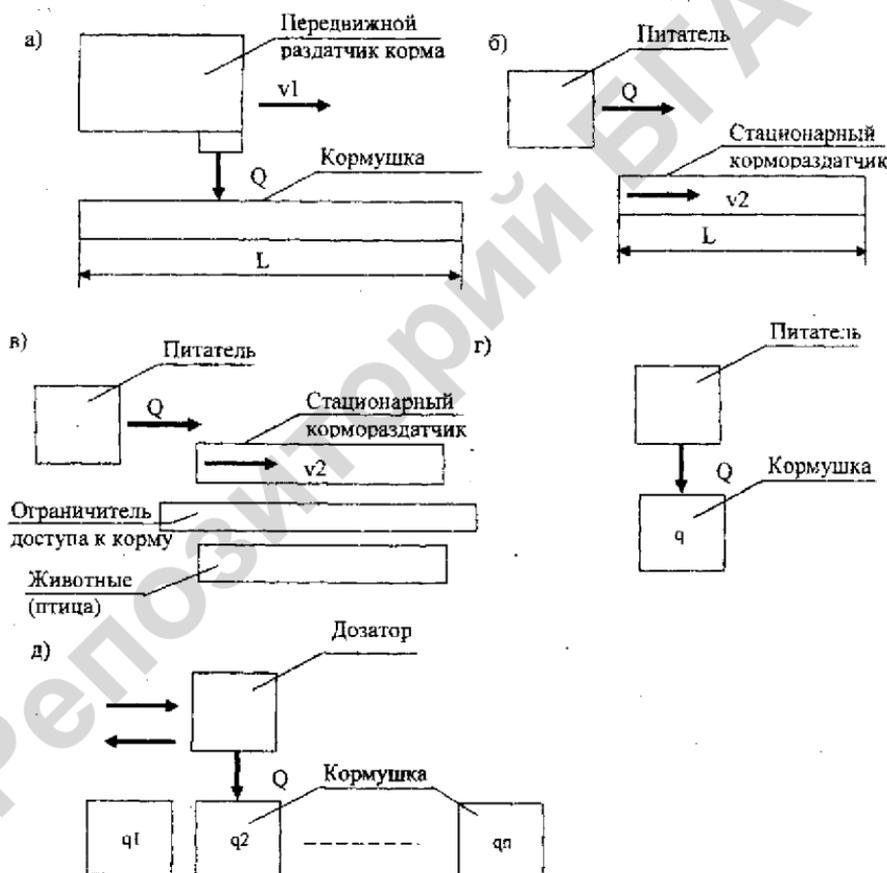


Рис. 4.52 Структурные схемы технологических линий раздачи корма: v_1 — скорость передвижения мобильного раздатчика корма; Q — производительность агрегата; v_2 — скорость передвижения корма в стационарном кормораздатчике; q — количество корма, загружаемого в кормушку

4.6.2 Автоматизация раздачи кормов на фермах и промышленных комплексах крупного рогатого скота

Получили распространение два основных вида кормления крупного рогатого скота — ненормированное и нормированное. В первом случае количество корма не нормируется, а во втором — каждому животному в зависимости от его продуктивности и некоторых других факторов выдается определенная индивидуальная доза корма. Чаще всего с целью упрощения технологии кормления молочных коров и крупного рогатого скота на откорме применяют групповое нормирование кормосмеси грубых и сочных кормов и индивидуальное нормирование концентрированных кормов молочным коровам в период лактации.

Нормирование корма осуществляется при помощи автоматизированных кормораздатчиков.

На крупных молочно-товарных комплексах кормосмеси, по заданному рецепту, приготавливают в кормоцехах типа КОПК 15, загружают в прицепной кормораздатчик КТУ-10 и доставляют на ферму. Раздачу корма производят по схеме (рис. 4.52, а, б, д или е).

В технологических схемах «б» и «в» в качестве питателя используется передвижной кормораздатчик, устанавливаемый в торце стационарного кормораздатчика. При раздаче корма включается привод стационарного кормораздатчика и затем привод выгрузного устройства передвижного раздатчика. Корм начинает перемещаться от начала стационарного кормораздатчика к его концу. При заполнении стационарного кормораздатчика кормом его привод отключается и подается сигнал оператору на отключение привода выгрузного устройства передвижного кормораздатчика.

Недостатком технологической линии реализуемой по схеме «б» перед схемой «в» является то, что в первом варианте происходит поедание корма животными в процессе ее раздачи, и в конце стационарного кормораздатчика количество корма на одно животное уменьшается.

Этот недостаток можно устранить, используя для выгрузного устройства регулируемый электропривод с увеличением частоты вращения от момента начала раздачи до момента ее окончания.

Качество работы технологической линии раздачи корма зависит от настройки. Для варианта «а» количество выгруженного в кормушку корма будет равно:

$$G = \frac{QL}{v},$$

Если по фронту кормления располагается n голов животных (птицы) и норма выдачи корма на одну голову — q , можно записать:

$$nq = \frac{Q \ln}{v},$$

где l — фронт кормления на одну голову.

Так как привод транспортного средства и выгрузного устройства кормораздатчика общий и связан жесткой передачей с соотношением i , правомерно равенство $Q = iv$ и можно записать, что

$$i = \frac{q}{l}.$$

Фронт кормления животных определяется зоотехническими нормами и является величиной постоянной.

Из вышесказанного следует, что передаточное отношение i зависит от нормы выдачи корма одному животному.

В передвижном кормораздатчике КТУ для настройки линии раздачи корма служит кулачковый храповый механизм.

При отдельных электроприводах питателя и стационарного кормораздатчика настройку линии нормированной раздачи корма можно обеспечить путем использования в системе частотно-регулируемого электропривода.

Индивидуальное нормирование концентрированных кормов на молочных фермах осуществляется дояркой вручную с помощью мерных емкостей.

Основная причина снижения удоев коров при переходе к промышленным условиям содержания — их обезличка. Если на мелких фермах доярки, скотники и другой персонал знали животных, визуально контролировали их состояние, вручную замеряли и записывали надой молока, то в промышленном стаде персонал уже не в состоянии собирать и обрабатывать эту информацию. Возникла необходимость автоматизации операций сбора и обработки информации об удоях, болезнях, охоте и т.д. Наиболее трудоемкой операцией является сбор первичной информации, который лучше всего выполнять на доильной установке, где животных можно фиксировать, всесторонне осматривать, вести учет количества и качества получаемой продукции, определять ранние стадии заболеваний и отделять больных животных от здоровых и т.д.

Разработана система сбора информации на доильной установке, которая предназначена для автоматического сбора, обработки на ЭВМ технологической информации и управления нормированием кормов на типовых доильных установках или в специализированных боксах.

В систему входит устройство распознавания номеров животных, устанавливаемое на выходе из доильной установки. Оно состоит из датчика, закрепленного на ошейнике животного и излучающего закодированный сигнал о номере при прохождении животным пункта распознавания, устройства распознавания номера, счетчиков индивидуального надоя молока устанавливаемых в каждом доильном станке, устройства для взвешивания животных (проходные весы); управляющую вычислительную машину, обеспечивающую регистрацию и обработку первичной информации.

Система обеспечивает сбор, обработку и хранения индивидуальной информации, передачу информации на вышестоящие уровни управления для проведения оперативной зоотехнической работы на ферме, расчета рецептов и других целей.

В кормушках каждого станка или специализированных боксах размещены приемные блоки устройства распознавания номера. Информация о номере коровы расшифровывается, микроЭВМ рассчитывает норму выдачи корма на данный период времени с учетом всей первичной информации и выдается в кормушку сигнал управления t . Выдача корма осуществляется по схеме «г» (рис. 4.52). Величина дозы равна $q = Q t$, где t — время работы дозатора.

Описанная система управления является адаптивной. Адаптация предусматривается в алгоритме действия системы и обеспечивается ЭВМ, входящей в контур управления.

Оно обеспечивает уменьшение расхода корма без снижения продуктивности.

Автоматизация раздачи кормов в коровнике. Для небольших ферм строить кормоцеха для приготовления кормов нерентабельно. В подобных случаях отдельные машины и механизмы объединяются в одну поточную автоматизированную линию по приготовлению и раздаче корма.

На рис. 4.53 показана схема автоматизации раздачи кормов в двухрядном коровнике. Все корма (сенаж, измельченные грубые корма, корнеклубнеплоды) загружаются в смеситель, перемешиваются и поступают на наклонный транспортер, который направляет корм на распределительный транспортер. С него корм попадает на один из раздаточных транспортеров (в зависимости от того, в какое положение поставлена заслонка). На раздаточные транспортеры может подаваться и концентрированный корм из бункеров-дозаторов комбикорма.

Работой всех механизмов управляют со щита управления. Необходимый режим задают при помощи универсального переключателя SA (рис. 4.54).

Раздача корма на ленточно-тросовые транспортеры производится последовательно: перед раздачей корма производится смешивание корма и возврат ленточно-тросового транспортера в исходное положение в ручном режиме управления.

Для раздачи корма в автоматическом режиме на ленточно-тросовый транспортер NI переключатель SA ставят в положение 5. Кнопкой «Пуск» кнопочной станции PI вводится катушка магнитного пускателя $KM1$. Автоматически и последовательно подается напряжение на электроприводы наклонного транспортера бункера-смесителя и реле времени $KT1$. Через некоторое время, необходимое для того, чтобы корм достиг ленточного раздатчика, замыкается контакт $KT1$ в цепи магнитного пускателя $KM4$, включающего электропривод бункера-дозатора концентрированных кормов. Одновременно контакты $KM4$ замкнут цепь тока электропривода ленточно-тросового транспортера $KM6$. По окончании раздачи срабатывает конечный выключатель $SQ1$, который лишает питания катушку магнитного пускателя $KM6$. Ленточный транспортер остановится, включится промежуточное реле $KV1$ и своим размыкающим контактом разорвет цепь катушки магнитного пускателя $KM1$. В результате вся линия отключится.

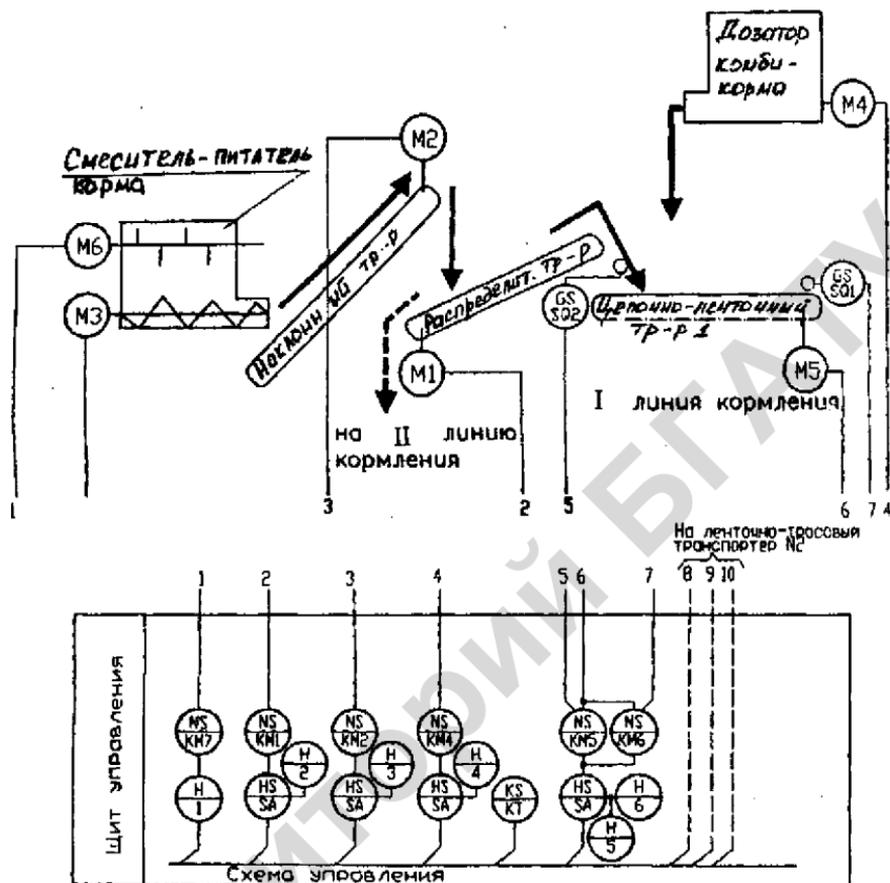
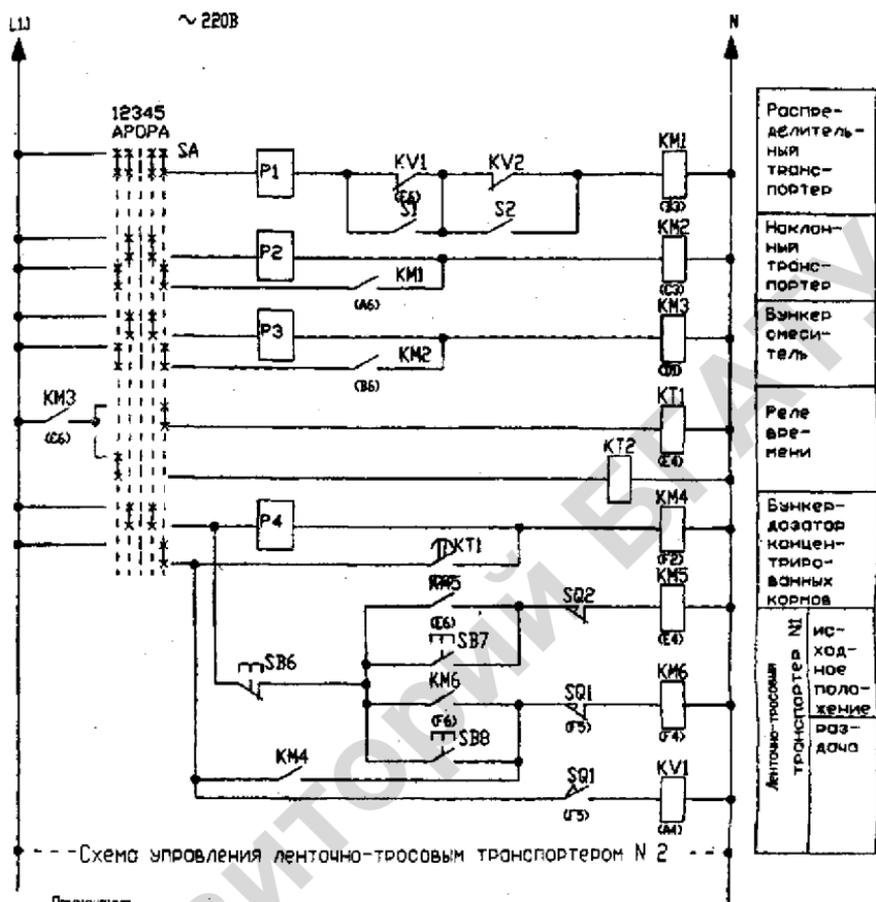


Рис. 4.53 Схема автоматизации раздачи корма в двухрядном коровнике

Когда универсальный переключатель *SA* установлен в положение 1 и тумблер *S* замкнут, запускается линия раздачи корма на ленточно-тросовый кормораздатчик *N2* (цепи управления на рис. 4.54 не показаны). Процесс развивается аналогично описанному выше, только магнитный пускатель *KM3* подает питание на реле времени *KT2*.

В режиме ручного управления универсальный переключатель *SA* устанавливают в положение 2 или 3. Работой машин кормораздаточной линии управляют при помощи кнопочных станций.



Примечание

В схеме принято условное обозначение контактного поста

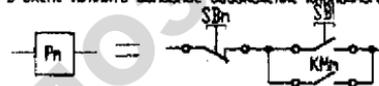


Рис. 4.54 Упрощенная принципиальная схема управления раздачи кормов в двухрядном коровнике

4.6.3 Автоматизация раздачи кормов на свиноводческих фермах и комплексах

Для раздачи корма на свинофермах применяют передвижные (мобильные) и стационарные кормораздатчики. Выбор типа кормораздатчика зависит от способа кормления, зональных особенностей, условий содержания свиней, организации работ на ферме и других факторов.

Кормят животных многократно. Например, в свиноводческом откормочнике крупного свиного комплекса, свиней кормят 5 раз в сутки (4, 8, 12, 16 и 20 ч).

Корм выдается малыми порциями, нормированно для каждой группы. Нормирование производится объемными дозаторами; норма корма — 1–3,5 кг за выдачу. За все циклы кормораздатчика в станок подается полная норма. По мере роста животных норму корма увеличивают.

Передвижной кормораздатчик предназначен для смешивания и раздачи полужидких кормов в свинарниках. Он состоит из самоходной рельсовой тележки с двумя парами колес, бункера, механизмов привода, механизмов управления и электрооборудования. Электродвигатель подключается к сети кабелем размещенным в специальном желобе.

В бункере, в его верхней части имеется отверстие, через которое загружается корм, внутри бункера установлена мешалка с лопастями и выгрузные шнеки.

Управление раздатчиком полуавтоматическое с помощью кулачковых муфт, переключаемых оператором и обеспечивающих включение и выключение мешалки, выгрузного шнека и управление перемещением кормораздатчика.

Норма выдачи кормов регулируется поворотом заслонок в местах присоединения выгрузных шнеков. При необходимости выдачи кормов на одну сторону заслонка одного из шнеков переключается полностью.

При групповом способе содержания свиней часто используется стационарный кормораздатчик РК-3000, который обеспечивает равномерную раздачу сухих, сочных и полужидких (влажностью до 70%) кормов для 3000 свиней за 20–30 мин.

Готовый корм поступает в питатель (рис. 4.55) с учетом разовой дачи кормов на все поголовье свиней. Отсюда корм подается на наклонный, а затем на горизонтальный (раздаточный) транспортеры. Раздаточный транспортер поочередно загружает секции 1 и 2 раздатчика кормов. Раздаточная платформа каждой секции раздатчика корма совершает возвратно-поступательное движение на расстояние, равное половине длины кормушек.

Когда платформа движется влево, на нее поступает корм. Скребки, подвешенные на шарнирах, поворачиваются вверх и не мешают продвижению платформы с кормом. При обратном ходе платформы скребки опускаются, задерживают корм и сбрасывают его в кормушки.

В это время кормом загружается правая половина платформы.

Электрическая схема управления кормораздатчиком (рис. 4.56) предусматривает автоматическое и ручное управление.

В режиме автоматического управления кормораздатчик вступает в работу по сигналу программного реле времени. В заданное время замыкается контакт КТ1.1 в цепи катушки магнитного пускателя КМ1 включающего распределительный транспортер.

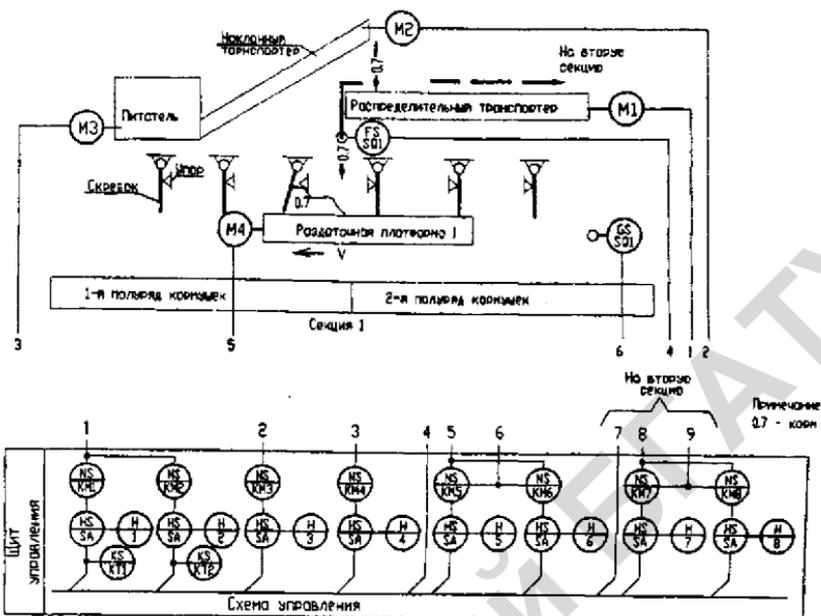


Рис. 4.55 Схема автоматизации САУ оборудованием кормораздатчика РКС-3000

Автоматически последовательно включаются электроприводы наклонного транспортера и питателя кормов. Когда корм начнет поступать, замкнется контакт $SQ1$ датчика наличия корма и промежуточное реле $KV1$, получив питание, включит пускатель $KM5$ платформы первой секции раздатчика. Когда же она будет заполнена кормом и займет крайнее положение, конечный выключатель $SQ2$ реверсирует привод платформы, в результате чего корм сбрасывается в первый полуряд кормушек. Одновременно платформа заполняется кормом для второй секции кормушек. В крайнем положении платформы конечный выключатель $SQ2$ опять переключится, и корм заполняет второй полуряд кормушек.

Аналогичным образом происходит управление второй секцией кормораздатчика.

В откормочных секторах свинокомплексов доставку корма и его раздачу целесообразно осуществлять непосредственно трубопроводным транспортом. Для доставки и раздачи влажных кормовых смесей по трубам существуют два способа: пневматический и гидравлический.

К недостаткам пневматических установок следует отнести их большую удельную металлоемкость и то, что корм при выгрузке в кормушки разбрызгивается.

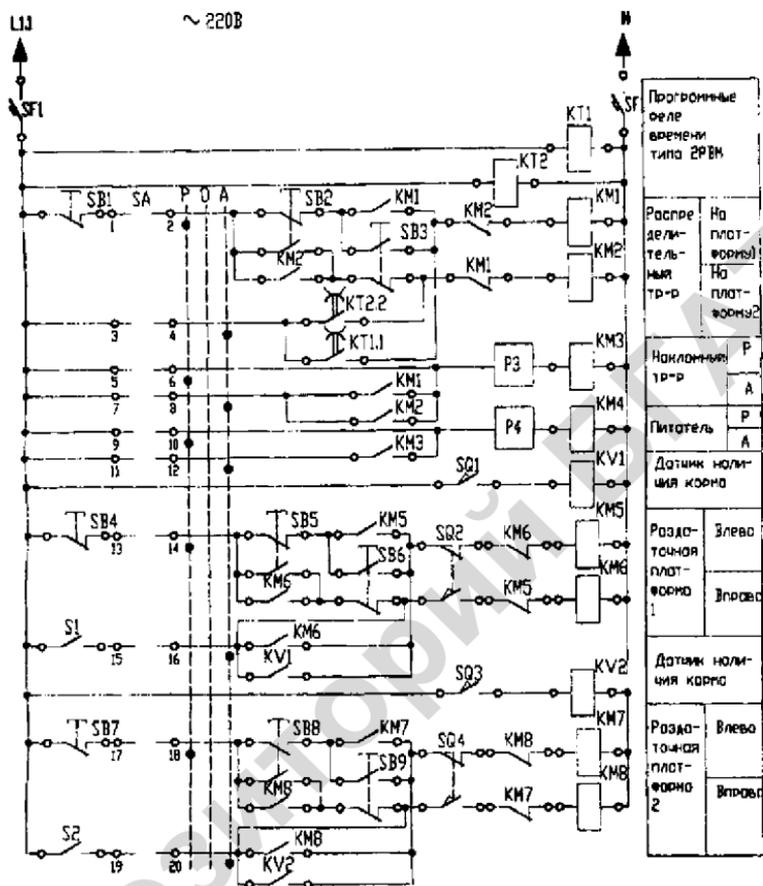


Рис. 4.56 Принципиальная электрическая схема управления кормораздатчиком РКС-3000

При транспортировке кормосмесей с влажностью 74% и выше используют центробежные насосы типа НФ. Однако, они очень чувствительны к изменению влажности и противодавлению в системе.

Варианты схем автоматизации раздачи корма с использованием трубопроводного транспорта приведены на рис. 4.57. В варианте раздачи, жидких кормов (рис. 4.57, а) корм из бункеров-накопителей шнековым накопителем подается на автоматические весы и затем в чан-смеситель. В чане все составляющие корма заливают теплой водой. Приготовленный корм по трубам подают в групповые кормушки.

Автоматическое управление раздачей корма в групповые кормушки обеспечивается расходомером FS. Переключающее устройство открывает перекидной клапан и открывает доступ корма в групповую кормушку. После заполнения кормушки до установленной нормы клапан закрывается и открывается следующий клапан. Таким образом, происходит последовательное заполнение групповых кормушек. Недостаток этой схемы в раздельном управлении процессом смешивания и раздачи корма, а также в неравномерности распределения корма между групповыми кормушками, связанное с объемным дозированием.

За рубежом получили распространение системы управления процессами дозирования, смешивания и раздачи весового корма с использованием датчика WE и управляющей ЭВМ. (рис. 4.57, б) что позволяет устранить указанные недостатки, исключить из системы управления дорогостоящие весовые устройства комбикорма и расходомеров жидкого корма и воды, однако требует конструктивной доработки существующих в республике технологических линий приготовления и раздачи влажных кормов на свиноккомплексах.

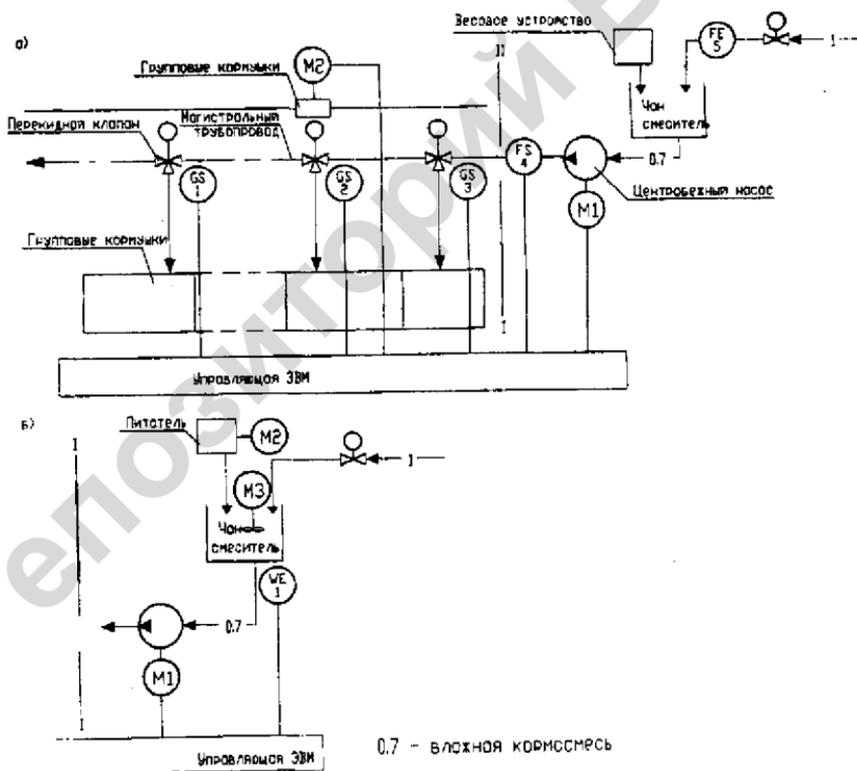


Рис. 4.57 Схемы автоматизации раздачи влажной кормосмеси в свиноводниках: а - объемное дозирование; б - весовое дозирование

4.7 Автоматизация установок микроклимата

4.7.1 Автоматизация процесса кондиционирования воздуха

Установка кондиционирования воздуха применяется для создания нормальных условий работы людей и техники, проведения технологических процессов.

Сырье и готовая продукция обладают гигроскопичностью и являются биологически активными, поэтому стабилизация и регулирование параметров окружающей среды необходимы на всех стадиях производства. Кроме того, в ряде производств, для непосредственного ведения технологических процессов и создания благоприятных условий труда и производства продукции необходим воздух с заданными параметрами, как, например, при выращивании шампиньонов.

Таким образом, совокупность комфортного и технологического кондиционирования воздуха — обязательное условие высокого качества продукции и высокой экономической эффективности производства.

В основу расчета установок кондиционирования воздуха положена I-d-диаграмма влажного воздуха. С точностью, достаточной для технических расчетов, можно считать, что влажный воздух подчиняется всем законам смеси идеальных газов.

Процессы автоматического регулирования параметров воздуха представляют в I-d-диаграмме следующим образом. Состояние воздуха изображается точкой, а показания приборов — в виде линий (например, изотерма является линией всех состояний воздуха при заданной температуре). Регулирующее воздействие на состояние воздуха изображается условным вектором. На рис. 4.58, а показаны регулирующие воздействия: I — охлаждение и осушение; II — охлаждение; III — охлаждение и увлажнение; IV — увлажнение; V — нагревание и увлажнение; VI — нагревание; VII — осушение; VIII — осушение и нагревание.

Из этих регулирующих воздействий четыре: охлаждение, увлажнение, нагревание, осушение — являются основными, а остальные — смешанными, возникающими при одновременном действии двух или более основных воздействий. Интенсивность основных регулирующих воздействий может изменяться, в результате чего вектор смешанного воздействия, состоящий из этих основных воздействий, будет поворачиваться вокруг точки начального состояния воздуха.

При современном состоянии техники возможны следующие процессы обработки воздуха, обеспечивающие все 8 регулирующих воздействий.

Нагревание воздуха. При нагревании воздуха влагосодержание не изменяется, а температура и энтальпия повышаются. В установках кондиционирования воздуха в зависимости от их назначения и производительности, нагревание осуществляется паром, горячей водой или электричеством (в экспериментальных установках), а также с помощью холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса.

Увлажнение воздуха водой. При этом процессе производится разбрызгивание воды в потоке воздуха, вода испаряется и вследствие этого температура воздуха понижается. Влагосодержание и относительная влажность увеличиваются, энтальпия I несколько повышается. Положительная разность температур между температурой капелек воды и воздуха вызывает явный теплообмен, сопровождающийся повышением температуры воздуха. Полная энтальпия воздуха увеличивается по сравнению с начальной благодаря как явному, так и скрытому теплу, переданному к воздуху вместе с водяным паром.

Увлажнение воздуха паром. Процесс осуществляется вдуванием пара в поток воздуха. Энтальпия I , влагосодержание d и относительная влажность увеличиваются, температура остается почти постоянной.

Охлаждение воздуха. Воздух охлаждается при прохождении через среду с более низкой температурой. Состояние воздуха изменяется при постоянном влагосодержании. Охлаждение воздуха может осуществляться водой (поверхностный охладитель) или в холодильной машине, при этом испаритель также используется в качестве поверхностного охладителя. Чтобы температура воздуха не слишком понижалась, необходимо правильно выбрать мощность холодильной машины и скорость воздуха.

Осушка воздуха охлаждением. Процесс осушки осуществляется так же, как и охлаждение, но температура воздуха при этом ниже точки росы. Мощность холодильной машины в этом случае выбирается высокой или поток воздуха через испаритель перераспределяется с помощью байпаса так, чтобы небольшая поверхность испарителя холодильной машины обеспечивала удаление влаги из воздуха, проходящего через испаритель.

Направление условного вектора этого воздействия зависит от отношения мощностей применяемых устройств и от состояния воздуха (т.е. от положения точки, определяющей состояние воздуха на I - d -диаграмме). При состоянии воздуха, показанном на рис. 4.58, a , вектор V расположен между вектором IV и прямой, параллельной касательной к линии $\phi = 100\%$ в точке росы.

Осушка воздуха нагреванием. Это воздействие осуществляется охлаждением с последующим нагреванием. Охлаждение может осуществляться при контакте воздуха с поверхностным охладителем и разбрызгиванием в потоке воздуха холодной воды. Нагревание производится в калорифере второго подогрева. Для нагревания также может быть использована холодильная машина с испарителем в качестве поверхностного охладителя, а конденсатор размещается на пути потока холодного воздуха, прошедшего через испаритель. Температура воздуха повышается, влагосодержание d и относительная влажность ϕ уменьшаются, энтальпия I изменяется незначительно.

Автоматически изменяя состояние воздуха с помощью одного или нескольких основных регулирующих воздействий, можно обеспечить заданные параметры воздуха. Линии предельных допустимых отклонений температуры и относительной влажности воздуха образуют зону допустимых отклонений параметров воздуха (заштрихованная площадь).

На рис. 4.58, b показана зона допустимых отклонений параметров воздуха при использовании сухого и влажного термометров.

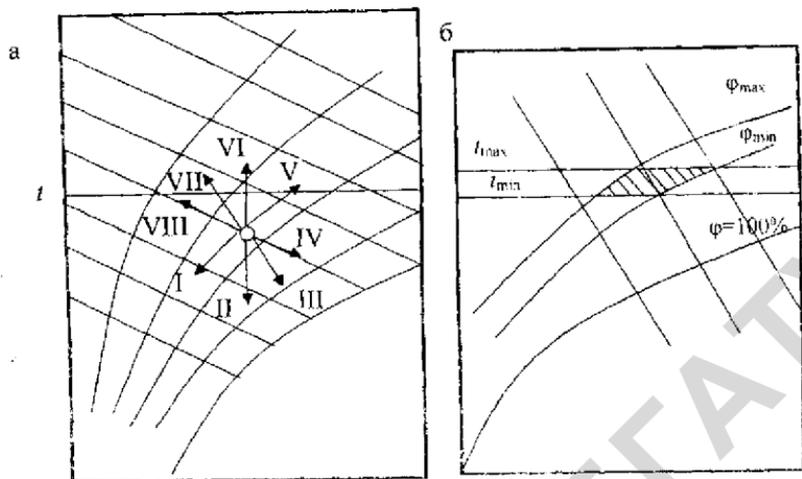


Рис. 4.58 Регулирующие воздействия в I-d-диаграмме: а - схема воздействий; б - зона допустимых отклонений

Наибольшее применение нашли кондиционеры серии *КН*, схема которого изображена на рис. 4.59. Наружный воздух всасывается через входной патрубок в смешительную камеру, где в зимнее время смешивается с циркуляционным воздухом из помещения. Соотношение между расходами наружного и циркулирующего воздуха определяется положением заслонок на патрубках. Далее воздух очищается фильтром от пыли, нагревается калорифером первого подогрева и попадает в форсуночную камеру, в которой разбрызгивается вода. Здесь воздух в зимнее время увлажняется, а в летнее время охлаждается.

Вода к форсункам подается насосом из поддона форсуночной камеры. Температура в поддоне поддерживается путем циркуляции воды через холодильный агрегат. Влажный воздух, состояние которого характеризуется «точкой росы», пройдя через брызгоотделитель, подогревается в зимнее время калорифером второго подогрева, где приобретает заданные температуру и влажность. Из расположенной за калорифером второй смешительной камеры вместе с добавкой второй рециркуляции воздух всасывается вентилятором и подается в помещение. Добавка воздуха второй рециркуляции применяется, как правило, в летнее время.

Эффективность работы установки кондиционирования воздуха определяется точностью поддержания выходных параметров — температуры и влажности воздуха в помещении, а также расходом энергии на нагревание и увлажнение или охлаждение воздуха. Эти показатели зависят от многих входных и промежуточных величин: температура и влажность наружного воздуха, температура воды в поддоне форсуночной камеры, краткость воздухообмена, температура насыщенного воздуха после брызгоотделителя и других факторов.

Для обеспечения наилучших условий протекания процесса кондиционирования воздуха в помещении необходимо поддерживать влажосодержание воздуха после брызгоотделителя на заданном уровне, стабилизировать температуру воздуха, подаваемого в помещение. Насыщение воздуха влагой обеспечивается мелким разбрызгиванием воды в форсуночной камере. В зимнее время при недостаточной температуре насыщенного воздуха его низкое влажосодержание не позволит достичь необходимой относительной влажности воздуха в помещении, а повышенная температура после брызгоотделителя вызовет переувлажнение воздуха.

В летнее время при отклонениях температуры насыщенного воздуха от заданного значения затрудняется поддержание температуры воздуха в помещении за счет 2-й рециркуляции. Необходимость стабилизации температуры воздуха во второй смесительной камере обусловлена распределенностью параметров объекта — кондиционируемого помещения, в результате чего параметры воздуха в помещении вблизи точек введения регулирующего воздействия могут выйти за границу области допустимых значений.

Рассмотрение особенностей работы установки кондиционирования воздуха во взаимодействии с кондиционируемым помещением позволяет сформулировать основные требования к ее автоматизации: стабилизация температуры насыщенного воздуха после брызгоотделителя, стабилизация температуры воздуха в кондиционируемом помещении с учетом температуры воздуха во второй смесительной камере.

Система кондиционирования воздуха, в состав которой входят кондиционер и помещение, как объект автоматизации обладает рядом свойств, осложняющих задачу построения автоматических систем регулирования: распределенность параметров помещения и кондиционера, значительные постоянные времени и чистое запаздывание помещения по каналам регулирования температуры, обусловленные большими размерами помещения; взаимосвязанность большинства параметров кондиционера, в результате чего изменения одной из входных величин вызывают изменения сразу нескольких промежуточных и выходных параметров; значительные сезонные изменения параметров наружного воздуха, требующие различных способов введения регулирующих воздействий: зимой наружный воздух необходимо нагревать и увлажнять, летом — охлаждать и осушать.

В связи с противоречивостью требований регулирования необходимо предусматривать возможность изменения схемы автоматического регулирования в соответствии с сезонными изменениями технологического процесса кондиционирования. В летнее время поддержание относительной влажности воздуха в помещении достигается охлаждением наружного воздуха путем разбрызгивания холодной воды в форсуночной камере. Температура воды в поддоне форсуночной камеры поддерживается с помощью холодильной установки. Первая циркуляция и калориферы в летнее время отключены, поэтому нагрев воздуха до заданной температуры осуществляется путем добавления к наружному воздуху во второй смесительной камере теплого воздуха 2-й рециркуляции из помещения. В зимнее время 2-я рециркуляция отключается.

ется, а температура воздуха поддерживается путем воздействия на подачу теплоносителя к калориферам.

Принятый способ косвенного регулирования относительной влажности воздуха в помещении предполагает высокую точность поддержания состояния «точки росы» после брызгоотделителя. Для обеспечения желаемой точности стабилизации температуры в таком сложном объекте с несколькими возмущающими воздействиями следует применять многоконтурные АСР с использованием дополнительной информации об изменении промежуточных величин.

Рассмотрим систему автоматизации процесса кондиционирования воздуха в помещении, приведенную на рис. 4.59.

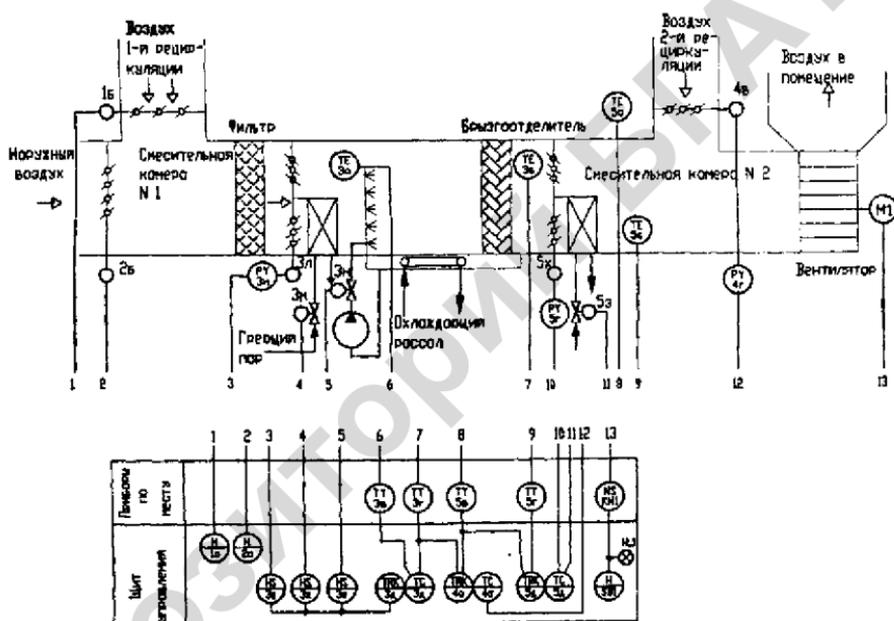


Рис. 4.59 Схема автоматизации системы кондиционирования воздуха

Автоматическое регулирование температуры насыщенного воздуха после брызгоотделителя осуществляется с целью поддержания влагосодержания воздуха в помещении путем изменения подачи воды к форсункам. В зимнее время одновременно вводится воздействие по расходу теплоносителя в калорифер первого подогрева и соотношению расходов воздуха, проходящего через калорифер и по обводному патрубку. Для обеспечения необходимого качества регулирования применена двухконтурная структура АСР с использованием в качестве дополнительного сигнала изменения температуры воздуха после калорифера первого подогрева. Регулирующий блок ПРЗ.34 3д воспринимает сигнал об изменении температуры после калорифера и выра-

батывает регулирующий сигнал, направленный на компенсацию возникающего изменения входных и промежуточных параметров. Если этого воздействия оказывается недостаточно для стабилизации выходной величины, регулирующий блок 3д вырабатывает добавочный корректирующий сигнал для доводки выходного параметра до заданного значения. Температура воздуха после калорифера и после брызгоотделителя измеряется газовыми манометрическими термометрами 3а и 2б типа ППГ-4 с пневматической дистанционной передачей. Регулирующий блок 3д, установленный на вторичном приборе ПВ10.1Э, формирует пневматический регулирующий сигнал, который через панели управления МБПДУ 3е, 3ж и 3з поступает к мембранным исполнительным механизмам 3м и 3н. Регулирующие воздействия вводятся одновременно секционной заслонкой с помощью мембранного исполнительного механизма 3л типа МИМ и регулирующими клапанами 25ч30нж 3м и 25ч32нж (ВО) 3н. В летнее время исполнительные механизмы 3л и 3м отключаются с помощью панелей 3ж и 3з.

Автоматическое регулирование температуры воздуха в кондиционируемом помещении осуществляется в зимнее время путем изменения подачи теплоносителя к калориферу второго подогрева и соотношения расходов воздуха, проходящего через калорифер и по обводному патрубку. В летнее время регулирование осуществляется путем изменения подачи воздуха 2-й рециркуляции из помещения в смесительную камеру № 2. Для обеспечения требуемого качества поддержания температуры, а, следовательно, и влажности воздуха в помещении применена двухконтурная система регулирования с использованием в качестве дополнительного сигнала в зимнее время изменения температуры воздуха в смесительной камере № 2 после калорифера второго подогрева, а в летнее время — температуры воздуха после брызгоотделителя.

Температура воздуха измеряется манометрическими термометрами 3б, 5а и 5б типа ППГ-4 с пневматической передачей. В зимнее время регулирующий блок 5д типа ПР3.34, установленный на вторичном приборе ПВ10.1Э, воспринимает пневматические сигналы изменения температуры воздуха в смесительной камере № 2 и в кондиционируемом помещении, вырабатывает стабилизирующее воздействие в зависимости от второго сигнала. Полученный таким образом выходной сигнал регулирующего блока 5д передается мембранному исполнительному механизму 5ж, переставляющему секционную заслонку перед калорифером второго подогрева, и регулирующему клапану 5з типа 25ч30нж на подаче теплоносителя в калорифер.

В летнее время регулирующий блок 5д отключают, а поддержание температуры в помещении осуществляют с помощью регулятора, состоящего из датчиков температуры 3г и 5г типа ППГ-4, регулирующего блока 4а типа ПР3.34, установленного на вторичном приборе ПВ10.1Э, усилительного элемента-позиционера 4б-типа ПР10.100 и исполнительного механизма 4в, переставляющего секционную заслонку на трубопроводе подачи в смесительную камеру воздуха 2-й рециркуляции. Работает описанный регулятор так же, как и регулятор зимнего режима.

Автоматический контроль параметров процесса кондиционирования и дистанционное управление исполнительными механизмами осуществляются с помощью приборов, примененных в автоматических системах: приборов ПВ10.1Э, панелей дистанционного управления 3е, 3ж и 3з типа МБПДУ-А предназначенных для отключения исполнительных механизмов при переходе от одного сезонного режима работы к другому.

Управление мембранными исполнительными механизмами 1б и 2б. переставляющими секционные заслонки на патрубках 1-й рециркуляции и поступления наружного воздуха, осуществляется с помощью панелей дистанционного управления ПДУ-А 1а и 2а.

Сигнализация работы вентилятора обеспечивается лампой 1л с помощью блокировочных контактов магнитного пускателя электродвигателя привода вентилятора.

4.7.2 Автоматизация микроклимата в животноводческих помещениях и птичниках

Исследованиями установлено, что продуктивность животных на 50–55% определяется кормами, на 20–25% — генетическими признаками и уровнем селекционно-племенной работы и на 20–30% — условиями микроклимата. И при неудовлетворительном микроклимате потенциальная продуктивность животных используется лишь на 20–30%, а срок их племенного и продуктивного использования сокращается.

Технологические требования к микроклимату в помещениях. Для нормального течения физиологических процессов в организме животных и птицы необходим чистый воздух в помещении по своим физико-химическим свойствам, близкий к атмосферному.

Крупный рогатый скот, содержащийся в помещениях с нерегулируемым микроклиматом, снижает продуктивность. У молочных коров при температуре выше 23 °С уменьшается удой, выше 26 °С — содержание жира в молоке, у животных учащается пульс и дыхание, затрудняется теплоотдача. С понижением температуры до минус 5 °С потребление кормов увеличивается в 1,5–2 раза.

Повышенная влажность воздуха также отрицательно сказывается на продуктивности. Установлено, что при повышении влажности на каждые 5% выше 85% у высокопродуктивных коров суточный удой уменьшается на 1,22–1,43 кг. Влияние температуры и влажности воздуха может усиливаться или ослабляться в зависимости от скорости воздуха.

Высокая влажность и повышенная концентрация вредных газов в помещениях снижают резистивность организма. Животные чаще заболевают туберкулезом, стригущим лишаем и др.

Молодняк особенно чувствителен к условиям микроклимата. Резкие колебания температуры, сквозняки и сырость в телятниках и родильных отделениях животноводческих ферм вызывают большую смертность телят, особенно в первые недели жизни. При температуре выпле 25 °С снижаются при-

веса, замедляется рост и развитие молодняка. Влажность в помещениях 90% и выше предрасполагает телят к заболеванию легких.

В одинаковых условиях кормления, но при пониженной температуре, высокой влажности и большой скорости движения воздуха привесы молодняка снижаются на 15–20%.

В помещениях для молодняка рекомендуется, кроме общей системы вентиляции, устанавливать над станками и клетками инфракрасные и ультрафиолетовые облучатели для обеспечения локального микроклимата.

Оптимальные параметры микроклимата для различных групп крупного рогатого скота регламентируются нормами технологического проектирования.

Для обеспечения высокой продуктивности свиней необходимо, кроме полноценного кормления, создать оптимальные условия микроклимата в помещениях в соответствии с потребностями каждой возрастной категории животных.

Температура воздуха в помещении — важнейший фактор, определяющий физиологическое состояние свиней. При снижении температуры в свинарниках на 8–10 °С ниже оптимальной, среднесуточные привесы откормочного поголовья уменьшаются на 40–60 г, а расход корма повышается на 0,3–0,5 корм. ед. Неблагоприятна для взрослых свиней и высокая температура. Если в помещении выше 21 °С, снижается темп роста, а выше 32 °С — животные резко худеют. Поэтому летом, особенно в жаркие дни, следует увлажнять полы и кожный покров свиней, усиливать в помещении скорость движения воздуха дополнительным вентилятором. Поросята, наоборот, очень нуждаются в тепле. В первую неделю их жизни температура должна поддерживаться на уровне плюс 30 °С, во вторую — плюс 26 °С, в третью — плюс 24 °С, в четвертую — плюс 22 °С.

Если не соблюдать правильный температурный режим в промышленных комплексах на 100 тысяч откармливаемых свиней в год, потери могут достигать 12–15 т в сутки, что составляет ежегодно более 4 000 т мяса.

Другой параметр микроклимата — влажность воздуха. Зимой при содержании в неблагоприятных сырых помещениях свиньи заболевают бронхитами, воспалением легких, мышечным ревматизмом, расстройством пищеварения. Особенно страдают молодые и ослабленные животные. При большой влажности воздуха в свинарниках увеличивается число патогенных микроорганизмов, грибов, плесени. Поверхность тела свиней бывает мокрой и грязной.

Очень важно соотношение между температурой воздуха в помещении и скоростью его движения. Воздух одной и той же температуры ощущается холодным, если он движется со скоростью более 1 м/с и нормальным при скорости движения 0,2–0,25 м/с.

В помещениях для свиней содержание в воздухе углекислоты, аммиака, сероводорода не должно превышать максимально допустимых концентраций.

Птица отличается от животных более интенсивным обменом веществ.

Цыплята на 1 кг массы выделяют теплоты и поглощают кислорода примерно в 5–6 раз больше, чем крупный рогатый скот. Птица не может быстро

приспособляться к резким изменениям температуры, так как у нее недостаточно развита терморегуляция из-за плотного оперения и отсутствия потовых желез. В помещениях с неудовлетворительным микроклиматом привесы бройлеров уменьшаются на 6–7%, возникают заболевания органов дыхания, зрения, сердца, печени, крови и птица гибнет. Продуктивность кур снижается до 40–50%, расход кормов на единицу продукции повышается на 30–40%, заболеваемость, особенно молодняка, увеличивается в 3–4 раза.

Благоприятное или неблагоприятное действие температуры на организм зависит от ее интенсивности, длительности, а также от сочетания с другими факторами внешней среды. Так низкая температура вызывает увеличение теплоотдачи и, следовательно, усиленное теплообразование, что связано с изменением обмена веществ, газообмена и уровня окислительно-восстановительных процессов. Так как теплообмен и терморегуляция у птицы взаимообусловлены, то температура, как один из основных факторов микроклимата, играет важную роль при этих процессах. При изучении влияния пониженных температур воздуха на яйценоскость кур в зимнее время установлено, что при средней дневной температуре воздуха минус 4 °C яйценоскость кур снижается на 0,47 яйца на несушку. Температура минус 10°C способствует резкому снижению яйценоскости кур. С понижением температуры воздуха в течение семи дней до минус 17–0 °C яйценоскость кур уменьшается до 0,12–0,13 яйца на голову, или в 3,5–4 раза. При повышении температуры до плюс 1 °C яйценоскость кур увеличивается в среднем до 0,51 яйца на голову в день. При установлении нормальной температуры (16–18 °C) яйценоскость кур восстанавливается в течение трех–десяти дней.

Термонеutralной зоной для кур русской белой породы считается +15–25 °C. При температуре воздуха более 26 °C у кур повышается температура тела. Вес яиц снижается при температуре воздуха 38 °C и составляет только 89% веса, который был при температуре 21 °C. Только через две–три недели при нормальном температурном режиме вес яиц и толщина скорлупы достигают нормы. При температуре воздуха в птичнике плюс 38–40 °C наблюдается гибель кур от перегрева. Особенно опасно резкое повышение температуры, а также сочетание высокой температуры с высокой влажностью воздуха. При высоких дневных температурах яичная продуктивность кур снижается значительно меньше, когда жаркий день чередуется с прохладной ночью. Если в течение суток температура постоянно изменяется от плюс 13 °C до плюс 32 °C, то яичная продуктивность, качество яиц и оплата корма оказываются лучшими, а смертность птицы меньшая, чем в условиях постоянной температуры.

При клеточном содержании кур в птицеводческих хозяйствах на промышленной основе особенно нежелательны резкие колебания температуры.

Источником повышения влажности в птичниках являются: легочное дыхание птицы, испарение влаги с поверхности поилок, мокрого пола, кормушек и других конструкций помещения.

Поскольку влажность воздуха как фактор микроклимата неразрывно связана с температурой и движением воздуха, то и влажность в птичниках может повышаться или понижаться. С повышением влажности воздуха испа-

рение влаги органами дыхания птицы уменьшается. Кроме того, влага, насыщая воздух птичника, изменяет его теплоемкость и теплопроводность.

Высокая влажность воздуха в птичнике способствует снижению перевариваемости питательных веществ корма, понижению отложения азота и уменьшению содержания гемоглобина в крови. Поэтому пребывание птицы в помещениях с высокой влажностью и низкой температурой часто вызывает простудные заболевания. При высокой влажности и температуре теплоотдача у птиц сильно затруднена, вследствие чего наступает перегревание организма и тепловой удар.

Воздух влажностью 50% считается сухим, вызывает раздражение слизистых оболочек дыхательных путей и глаз птицы, повышает хрупкость пера, усиливает потерю влаги организмом.

В воздухе птицеводческих помещений сероводород накапливается в результате разложения органических веществ. В одинаковых условиях кормления, но при пониженной температуре, высокой влажности и большой скорости движения воздуха привесы молодняка снижаются на 15–20%.

В связи с тем, что в настоящее время на птицефабриках с клеточным содержанием кур уборка помета из клеточных батарей механизирована, сероводород в птичниках почти не накапливается.

Углекислота в птичниках накапливается в результате дыхания птицы. Степень выделения углекислоты зависит от плотности посадки и уровня газообмена у птицы. Большая концентрация углекислоты раздражает кожу и слизистую оболочку глаз птицы. При этом резко снижается поедаемость кормов и продуктивность кур.

Движение воздуха при температуре более низкой, чем температура тела птицы, может вызвать переохлаждение организма.

Движение воздуха, усиливая испарение и увеличивая теплоотдачу, воздействует на водный и тепловой обмен организма птицы, поэтому скорости движения воздуха придают такое же значение, как температуре и влажности. Допустимым пределом скорости движения воздуха в помещениях для птицы считается 0,15–0,2 м/с.

При высоких температурах увеличение скорости движения воздуха предотвращает перегрев тела птицы.

Рекомендовано применять следующие скорости движения воздуха в птичниках в зависимости от температуры: (25–28 °C) — (0,5–1 м/с); (28–31 °C) — (1,0–0,5 м/с); (31–34 °C) — 1,0–2,0 м/с; (34–37 °C) — (2,0–2,5 м/с). При температуре выше 37 °C воздух в птичниках охлаждают.

Органические вещества в птичниках под действием тепла разлагаются и выделяют много аммиака. В воздухе птицеводческих помещений при неудовлетворительной работе вентиляции, в результате дыхания птицы, в больших количествах накапливается аммиак (NH_3) — от 0,3 до 0,6 мг/л. Попадая в легкие и кровь, он снижает окислительные свойства гемоглобина, в результате чего возникает кислородная недостаточность у птицы. При температуре +10–18 °C аммиак накапливается преимущественно на высоте 155–160 см от пола.

Параметры воздушной среды помещений для содержания крупного рогатого скота, свиней и птицы принимаются в соответствии с нормами технологического проектирования.

Таблица 4.4

**Нормативные температура и влажность воздуха
для различных групп животных и птицы**

Группа животных	Тип содержания	Температура, θ ,	Влажность воздуха, φ %
Коровы, молодняк старше 1 года, скот на откорме	Привязное и боксовое, групповое беспривязное на решетчатых полах	10	40–75
Коровы и молодняк всех возрастов молочных пород, мясные коровы до и после отела	Беспривязное на глубокой подстилке	3	40–85
Коровы глубокотельные и новотельные	Привязное	15	40–75
Телята до 20-дневного возраста	В клетках	20	40–75
Телята от 4–6 до 12-ти месяцев	Групповое беспривязное и боксовое	12	40–75
Холостые свиньи и супоросные матки	В стойках	16	40–75
Поросята-отъемыши и ремонтный молодняк	В стойках	20	40–75
Свиньи на откорме	В стойках	18	40–5
Тяжелосупоросные и полсосные матки	В стойках	20	40–70
Взрослые куры	Напольное (в клетке)	16–18	60–70
Молодняк кур в возрасте, недель: 1–4 5–11 12–22	Напольное (в клетке)	24–28 (24–33)	60–70
	Напольное (в клетке)	16–18 (18)	60–70
	Напольное (в клетке)	16	60–70
Цыплята-бройлеры в возрасте, недель: 1 2–3 4–6 7–9	Напольное (в клетке)	26–28 (28–32)	65–70
	Напольное (в клетке)	22 (24–25)	65–70
	Напольное (в клетке)	20 (20)	65–70
	Напольное (в клетке)	18 (18)	65–70

Концентрация вредных газов в воздухе не должна превышать для телят: углекислоты — 0,15%, аммиака 0,01 мг/л, сероводорода — 0,05 мг/л, для молодняка крупного рогатого скота и взрослого скота соответственно: 0,2%, 0,02 и 0,01 мг/л, для птицы соответственно: 0,25%, 15 и 5 мг/м.

Оптимальная скорость движения воздуха в коровниках 0,2–0,3 и в птичниках от 0,3 (в холодный период года) до 1,0 м/с (в теплый период года).

Организация воздухообмена в помещениях для содержания крупного рогатого скота, свиней и птицы. В помещениях, где содержатся животные и птица, накапливается большое количество вредно действующих газов:

углекислоты, аммиака, сероводорода, которые являются продуктами жизнедеятельности самих живых организмов.

Задача вентиляции — вытеснить из помещения отработанный воздух свежим в таком количестве, чтобы обеспечить нормативную концентрацию вредных газов в помещении. Вентиляционная система должна функционировать оптимально. О последствиях плохой вентиляции было сказано выше. **Избыточная вентиляция увеличивает затраты на вентиляцию воздуха и его нагревание в холодный период.** Чтобы контролировать воздухообмен в помещениях, необходимо использовать следующие данные объёма вентиляции: максимальное количество воздуха, которое требуется для удаления из помещения избыточной влаги и углекислого газа, в зимний и переходный периоды года, лишнего тепла — летом.

Опыт эксплуатации систем вентиляции животноводческих помещений, при эффективно действующих системах удаления навоза и помёта показал, что обеспечение нормативной концентрации углекислого газа в воздухе, при этом, также обеспечивает допустимую концентрацию остальных вредных газов, в связи с чем объём приточного воздуха зимой рассчитывают по содержанию углекислого газа и находят по формуле:

$$\alpha_{CO_2} = \frac{C}{C_1 - C_2} + \frac{C}{C_1 - C_2},$$

где α_{CO_2} — количество воздуха, которое необходимо подать в помещение и удалить из него за 1 ч/м³;

C — общее количество углекислоты, выделяемой всеми животными или птицей за 1 ч, л/ч;

C_1 — допустимое содержание углекислоты в 1 м³ воздуха, л/ч;

C_2 — содержание углекислоты в наружном воздухе вблизи птичника, л/м³.

При этом величину C определяют из выражения:

$$C = C_0 n q,$$

где C_0 — количество углекислоты, выделяемой животными или птицей за час на 1 кг живого веса;

n — число животных (птицы) в помещении;

q — вес одного животного (птицы), кг.

При расчёте воздухообмена по влажности исходят из нормативов температуры и влажности воздуха в помещении и учёта количества влаги, выделяемой животными (птицей) в парообразном виде, а также испаряющейся с пола, клеток, поилок, помёта и других ограждений помещения.

Количество водяных паров, выделяемых животными (птицей), находят по таблицам.

Влажность наружного воздуха учитывают в переходный период, то есть когда влажность воздуха сравнительно высокая, а температура близка к 0 °С. Сведения о температуре и влажности наружного воздуха можно брать из климатических таблиц или узнавать в ближайшей метеорологической стан-

ции средние показатели режимов за много лет. Затем объём вентиляции по влажности рассчитывают по формуле:

$$\alpha = \frac{Q}{q_1 - q_2},$$

где α — количество воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), которое необходимо подать в помещение и удалить в течении часа;

Q — количество влаги (г), выделяемой птицей в парообразном виде и испаряющейся с поилок, пола в час;

q_1 — абсолютная влажность воздуха помещения ($\text{г}/\text{м}^3$), при которой относительная влажность остаётся в пределах норматива;

q_2 — абсолютная влажность вводимого в птичник атмосферного воздуха ($\text{г}/\text{м}^3$).

Воздухообмен по углекислому газу рассчитывают для холодного периода, по влажности — для переходного времени года.

Однако если животных (птиц) содержат в помещении круглый год, необходимо учитывать удаление избыточной теплоты при высоких наружных температурах воздуха в летний период.

Воздухообмен при условии выделения свободного тепла животными (птицей) определяется по формуле:

$$\alpha_0 = \frac{Q}{C (t_в - t_н)},$$

где α_0 — количество воздуха (м^3), которое необходимо подать в помещение или удалить из него, чтобы поддерживать в нём рекомендованные параметры температуры, влажности и газового состава воздуха;

Q — избыточное свободное тепло, выделяемое животными (птицей), ккал/ч;

C — теплоёмкость 1 м^3 воздуха, постоянный показатель, который равен $0,3$ (ккал/ м^3 , град);

$t_в$ — температура воздуха в птичнике, °C;

$t_н$ — температура наружного воздуха, °C.

Значения оптимального воздухообмена для крупного рогатого скота, свиней и птицы с учётом вредных выделений и сезона года сведены в таблицах 4.5, 4.6, 4.7.

Таблица 4.5

Воздухообмен для животных по сезонам года

Помещение	Воздухообмен, м ³ /ч на 1 ц живого веса		
	зимой	в переходный период	летом
Для привязного и беспривязного (боксового) содержания коров и молодняка старше года	17	35	70
Для беспривязного содержания на глубокой подстилке	17	35	70
Родильное отделения	17	35	70
Профилакторий (телята до 20 дней)	20	40	80
Для выращивания телят от 20 до 60 дней	20	40	80
Для выращивания телят от 60 до 120 дней	20	40	80
Для молодняка от 4 до 12 месяцев	17	35	70
Для тёлоч старше года	17	35	70
Для свиней:			
• холостые легкосупоросные матки	35	45	60
• хряки-производители	45	60	70
• глубокосупоросные матки	35	45	60
• подсосные матки с поросятами	35	45	60
• поросята-отъёмыши	35	45	60
• ремонтный молодняк	45	55	65
• откормочное поголовье до 165 дней	35	45	65
• откормочное поголовье старше 165 дней	35	45	65

Таблица 4.6

Воздухообмен для кур по сезонам года

Сезон года	Оптимальный воздухообмен на 1 кг живого веса в м ³ для кур возраста, месяцев		
	5-6	9-10	14-18
Зимний	0,8-1,0	1,0-1,4	3,8-4,2
Переходный	2,4-2,8	2,8-3,4	4,4-4,8
Летний	3,8-4,2	4,4-4,8	4,0-4,4

Таблица 4.7

Примерное количество свежего воздуха, подаваемого в птичники, для местных цыплят, м³ на 1 кг живого веса

Возраст цыплят, дней	Период года		
	холодный	переходный	теплый
10	0,8	2,1	14,8-12,2
20	0,8	1,4	8,1-8,0
30	1,0	3,4	6,7-6,4

Ассимиляция и удаления выделяющихся в помещении вредностей требует организации эффективной системы вентиляции.

Указанные ранее нормативные параметры микроклимата должны быть обеспечены в зоне размещения животных, т.е. в объеме воздуха высотой 1-1,5 м от пола, для птицы этот объем ограничен высотой клеточных батарей или, при напольном содержании, высотой 0,8 м от пола (рис. 4.60, 4.61).

В настоящее время используется четыре типа вентиляционных систем:

- естественная приточная — естественная вытяжная;
- естественная приточная — вытяжная с механическим побуждением;
- приточная с механическим побуждением;
- естественная вытяжная;
- приточная и вытяжная с механическим побуждением.

Выбор системы вентиляции (с естественным или механическим побуждением) производится исходя из особенностей вентилируемого помещения, его размеров, вида находящихся в нём животных, технологии их содержания и т.д.

В животноводческие помещения шириной менее 18 метров в зонах с мягким климатом, к которым относится Беларусь, свежий воздух поступает через подоконные щели. Из помещения воздух удаляется через одну или две вытяжные шахты. Они имеют поворотные клапаны для регулирования количества удаляемого воздуха. Работа системы зависит от разности наружной и внутренней температур воздуха, количества тепла, выделяемого животными, и скорости ветра. При правильной эксплуатации эта система обеспечивает удовлетворительное состояние микроклимата в коровниках.

В зданиях шириной 18 м и более применяются приточные системы с механическим побуждением подачи воздуха. Удаление воздуха производится через вытяжные шахты, при проектировании которых предусматривается постоянный подпор воздуха, чтобы через неплотности стен и окон внутрь помещения не попал наружный холодный воздух, пылевые частицы и болезнетворные микробы.

В животноводческих помещениях при содержании животных на решетчатых полах навоз удаляют самотечно-сплавным или гидравлическим способами. В таких помещениях предусматривают механическое удаление воздуха (не менее 30–50% зимнего воздухообмена) из подпольных навозосборников.

Устройство канала-спутника для удаления загрязненного воздуха требует больших капитальных вложений и трудозатрат при эксплуатации и не оказывает заметного влияния на параметры воздушной среды в животноводческих помещениях. Поэтому отказались от устройства неэффективной вытяжки из каналов навозоудаления из-под щелевого пола.

Систему вентиляции животноводческого помещения необходимо строить с учетом характера распределения естественных параметров воздушной среды. Исследования показывают, что температура внутреннего воздуха нарастает с увеличением высоты. При этом максимальное влагосодержание наблюдается в нижней зоне, вследствие высокой гигроскопичности. Аммиак, в основном, концентрируется в зоне дыхания животных.

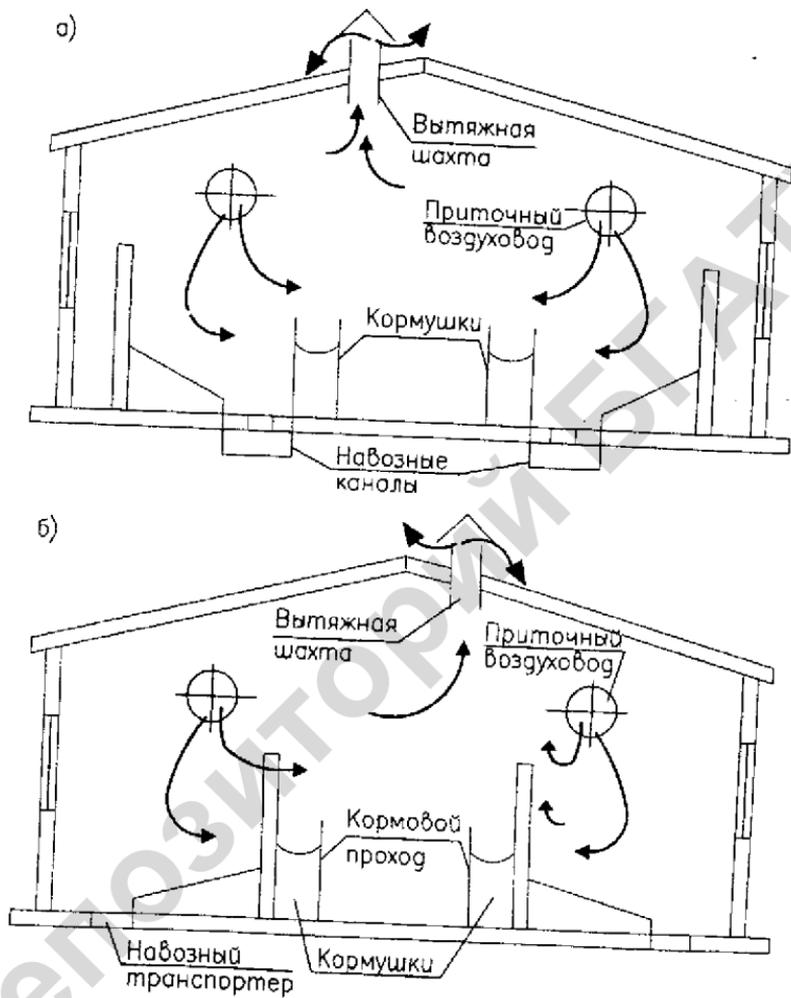


Рис. 4.60 Организация воздухообмена в: а – свиарнике; б – коровнике

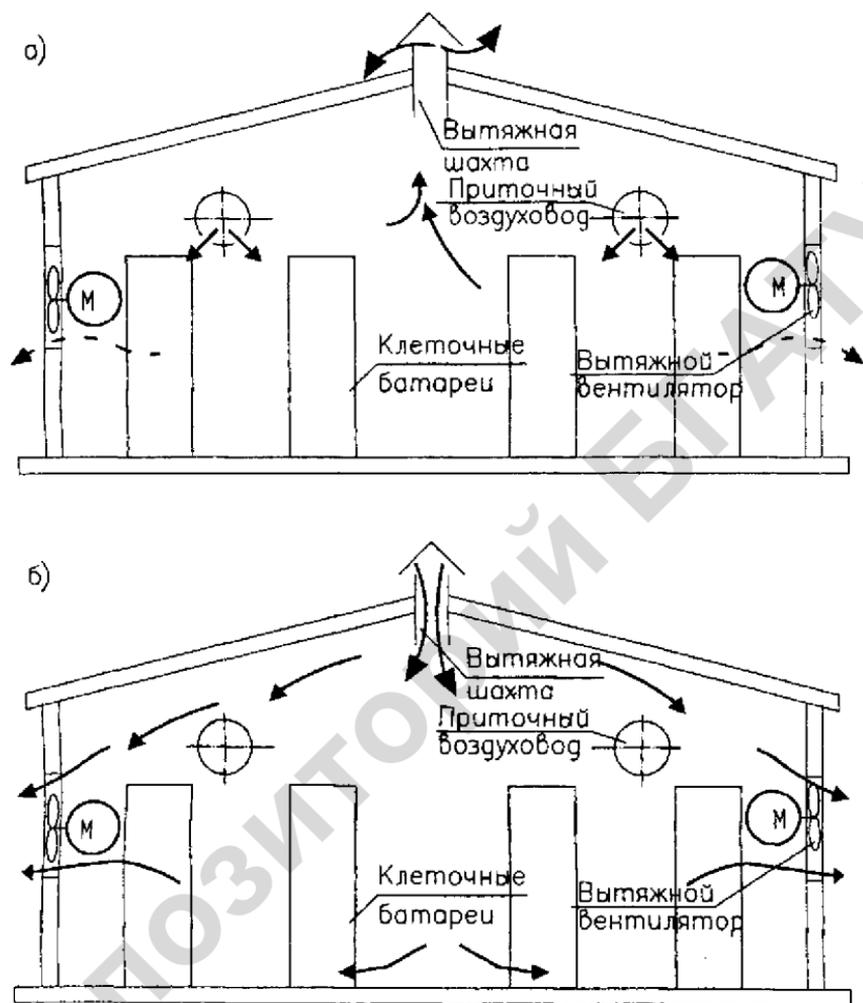


Рис. 4.61 Организация воздухообмена в птичнике: а – в зимний и переходный период; б – в летний период

В птичниках в жаркое время года, за счет тепла, выделяемого птицей, в помещении образуется значительный его избыток. Приточная система вентиляции птичника работает в режиме вытеснения из помещения углекислого газа и влаги. Для увеличения воздухообмена в птичнике летом с целью удаления избытка тепла используется принудительная вытяжная система вентиляции, при этом поступление воздуха в птичник происходит не только через приточные воздухообмены, но и вытяжные шахты, смонтированные в перекрытии в шахматном порядке.

Производительность принудительной вытяжной вентиляции регулируется автоматически по температуре воздуха внутри птичника.

На температуру внутри помещения влияют: температура поступающего в помещение воздуха, изменение передачи теплоты через ограждение, тепловыделения животных и другие возмущения, в связи с чем в теплый период температура внутри помещения может превышать температуру наружного воздуха и увеличение воздухообмена не дает положительного результата.

В соответствии с нормами технологического проектирования температура внутри помещения не должна превышать температуру наружного воздуха более, чем на 5°C и ограничена, например, для цыплят значением 36°C независимо от наружной температуры.

Для критических ситуаций, в самое жаркое время, рекомендуется применять систему охлаждения и увлажнения приточного воздуха. Увлажнение воздуха обеспечивается шестеренчатым насосом, который забирает холодную воду из магистрального водопровода и подает ее через форсунки под давлением $3\text{--}5 \text{ кгс/см}^2$ в распределительный трубопровод. Форсунки введены непосредственно в приточные каналы перед жалюзийными решетками, увеличивающие в данном случае площадь контакта разбрызгиваемой воды с воздухом. Чтобы исключить аварийный режим работы насоса при отсутствии воды, в водопроводе устанавливается электроконтактный манометр, автоматически отключающий электродвигатель насоса при понижении давления воды до $0,4 \text{ кгс/см}^2$.

Расход воды при развиваемом насосом давлении $3\text{--}5 \text{ кгс/см}^2$ составляет $40\text{--}50 \text{ л/мин}$.

Система охлаждения и увлажнения может работать в режиме при котором насос отключен, но в этом случае необходимо, чтобы давление в магистральном водопроводе находилось в пределах $0,8\text{--}1,0 \text{ кгс/см}^2$.

Проведенные исследования по определению эффективности работы системы охлаждения им увлажнения показали, что при ее работе температура воздуха внутри помещения снижается в среднем на 3°C , а относительная влажность повышается на $9\text{--}10\%$ по сравнению с теми же параметрами воздуха при отключенной системе. Следует отметить, что летом важно не только понизить температуру воздуха внутри помещения, но и повысить относительную влажность, так как при отключенной системе увлажнения относительная влажность воздуха в самое жаркое время понижается до $+30\text{--}35\%$, то есть ниже минимально допустимой нормы.

Исследования и практика показали, что в широкогабаритных зданиях даже кратковременный выход из строя систем вентиляции (2,0–4,0 ч) вызывает значительный экономический ущерб из-за резкого снижения продуктивности, а иногда и гибель животных и особенно птицы, так при отключении приточной вентиляции в свинарнике на 1,5–24 концентрации аммиака в помещении повышается до предельно допустимой величины. Птица погибает от теплового удара. Поэтому *системы вентиляции в животноводческих помещениях должны иметь высокую надежность: они должны быть многовентиляторными.*

Для предотвращения внезапного накопления в воздухе животноводческого помещения больших количеств вредных газов, например, в случае перерыва подачи энергии должна предусматриваться аварийная вентиляция.

Обеспечение метеорологических требований при объемно-планировочных решениях и застройке помещений, удовлетворение общих технологических и специфических требований к системе вентиляции и организации воздухообмена выдвигают достаточно сложную задачу, пути решения которой состоят в следующем:

- созданию в помещении необходимой степени дробления приточно-вытяжных струй, обеспечивающих равномерное смешение приточного и внутреннего воздуха;
- обеспечении активной ассимиляции тепловыделений, вредно действующих газов;
- созданию в помещении однородных температурных влажностных и газовых полей;
- обеспечение равенства объемов вытяжки для всех зон помещения независимо от их месторасположения и недопустимости образования в нем «мертвых» зон и сквозняков.

Варианты планировочных решений многовентиляторных систем приведены на рисунке 4.62. При выборе варианта планировочных решений вентиляционных систем, прежде всего, учитывают расположение оборудования внутри помещения и количество одновозрастных групп животных.

Учитывая недостаточный уровень квалификации обслуживающего персонала в животноводстве, важнейшим требованием к системе вентиляции следует считать удобство эксплуатации и ремонта. Поэтому различные усложнения при проектировании вентиляции (размещение устройств на недопустимой от пола высоте или наоборот, их заглубление) нежелательны. С этой точки зрения целесообразно размещение всего вентиляционного оборудования централизованно в одной венткамере.

Из венткамеры воздух подается по приточному металлическому воздуховоду разветвляющемуся в помещении на две ветви, выполненные из пленки, и через круглые отверстия в воздуховоде равномерно распределяется по помещению.

При проектировании приточной системы вентиляции придерживаются следующих требований и рекомендаций:

- *изменение воздухораздачи через один воздуховод не должно быть более двухкратного;*
- *в связи с изменением интенсивности дыхания животных и птицы ночью вентиляцию воздуха уменьшают.*

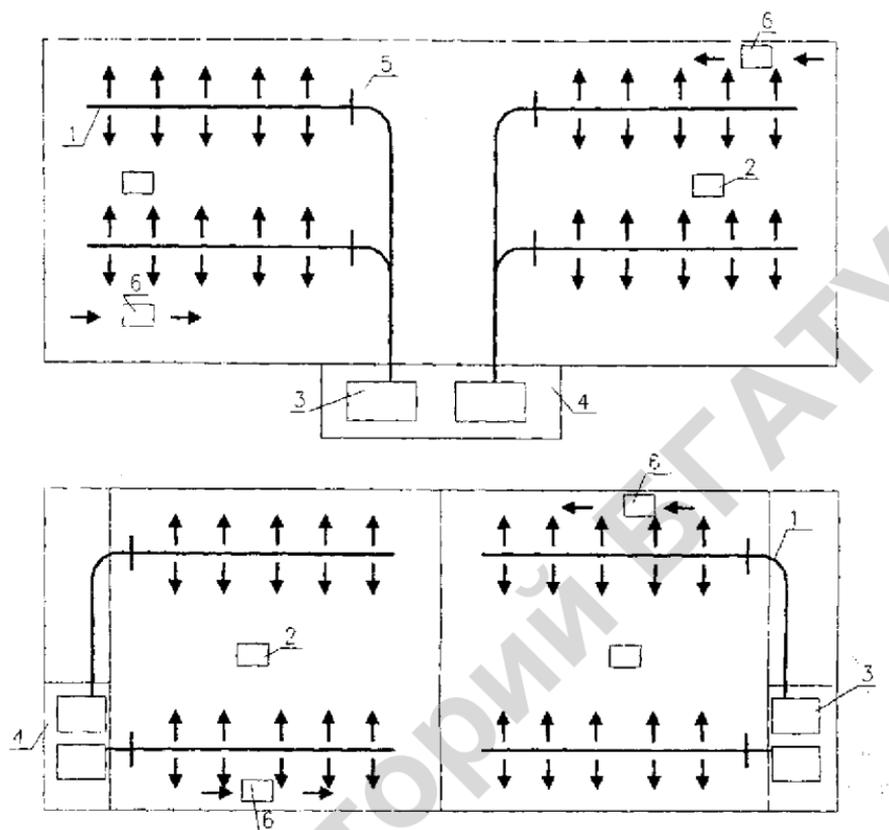


Рис. 4.62 Варианты схем распределения приточного воздуха в животноводческих помещениях: 1 – воздуховод; 2 – вытяжная шахта; 3 – теплоventилиционная установка; 4 – венткамера; 5 – задвижка; 6 – теплоventилиционная установка дымовой завесы

С учетом выполнения требования многовентиляторности в животноводческих помещениях, при превышении кратности воздухообмена более двух, схема воздухооборудования представлена на рис. 4.63.

Приточные системы вентиляции с механическим побуждением, как правило, совмещаются с системой воздушного обогрева.

В зависимости от климатических условий, наличие местных источников энергии, типа и внешности зданий, вида и возраста животных и птицы, технологии содержания применяют централизованные или децентрализованные системы обогрева.

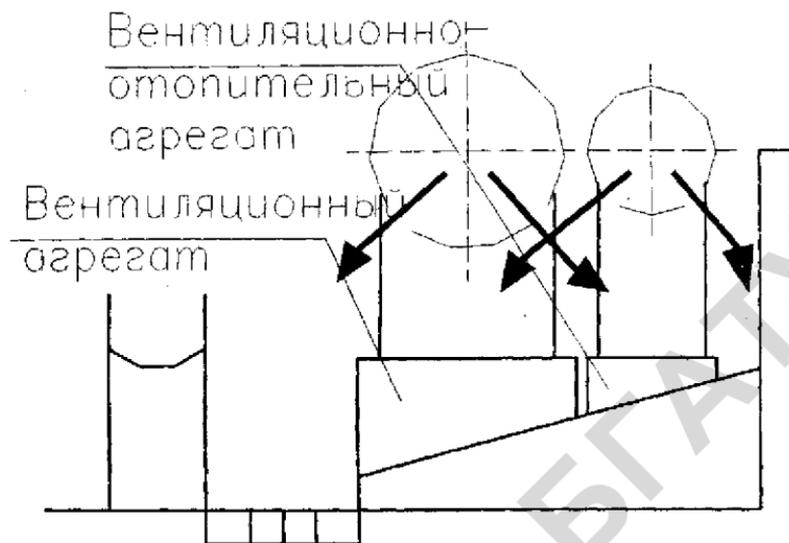


Рис. 4.63 Схема воздухораспределения по двум воздуховодам

На крупных промышленных фермах и птицефабриках используют системы микроклимата, работающие от центральных источников теплоснабжения (котельных). На менее крупных фермах, удаленных от центральных источников теплоснабжения, целесообразнее и экономичнее применять децентрализованные системы микроклимата на базе отдельного тепловентиляционного оборудования (электрокалориферов, теплогенераторов).

Схематично, размещение отопительно-вентиляционного оборудования в венткамере показано на рис. 4.64.

Теплопроизводительность отопительного агрегата определяется по формуле:

$$Q_{от} = 4,2 \times 0,24G(\theta_{от} - \theta_{мин}),$$

где G — количество подаваемого воздуха, кг/ч;

$\theta_{от}$ — оптимальная температура воздуха внутри помещения, °С;

$\theta_{мин}$ — минимальная температура наружного воздуха.

Если воздухообмен рассчитывается не по массе воздуха, а по его объему L (м³/ч), необходимо учитывать зависимость между плотностью воздуха и его температурой.

В этом случае

$$G = \frac{V}{t},$$

где V — объем 1 кг воздуха, м³/кг.



Рис. 4.64 Размещение оборудования в вентиляционной камере

Теплопроизводительность дополнительного отопительного агрегата устанавливаемого внутри помещения и обеспечивающего тепловую завесу определяется из формулы

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{исп} + Q_{вент} - Q_{ж},$$

где $Q_{огр}$ — потери тепла через ограждения;

$Q_{вент}$ — потери тепла с вентилируемым воздухом;

$Q_{исп}$ — расход теплоты на испарение влаги;

$Q_{ж}$ — тепловыделения от животных.

Теплопотери через ограждения конструкций определяют по формуле

$$Q_{огр} = K_{огр} S_{огр} (\theta_{в} - \theta_{н}),$$

где $K_{огр}$ — коэффициент теплопередачи ограждения;

S — площадь ограждений;

$\theta_{в}$ — температура внутри помещения;

$\theta_{н}$ — температура внешней среды.

Расход теплоты на испарение является функцией количества испаряемой влаги

$$Q_{и} = (597 + 0,45\theta_{в}) W_{и}.$$

Количество испаряемой влаги определяется по нормативным источникам как сумма испарения влаги с пола, поилок, кормушек и других увлажненных поверхностей.

Если к полученному количеству влаги $W_{и}$ прибавить влаговыделения животных $W_{ж}$, то получится баланс влаги в помещении по каналам возмущений.

Потери тепла с вентилируемым воздухом, кДж/ч:

$$Q_{\text{вн}} = 4,2 \times 0,24 \frac{L}{V} \theta_{\text{вн}},$$

где $\theta_{\text{вн}}$ — температура удаляемого воздуха.

Таким образом, *снижение энергозатрат вентиляционной системой можно обеспечить путем:*

- организацией воздухообмена с подачей свежего воздуха в зону нахождения животных;
- минимизацией подачи воздуха в помещение по CO_2 зимой;
- устройством тепловых завес;
- снижением температуры удаляемого из помещения воздуха путем утилизации тепла в теплообменниках.

Управление приточными вентиляционными установками в животноводческих помещениях.

Различают два способа управления вентиляционными установками.

Ручное управление основано на ручных воздействиях персонала на органы управления соответствующей установки. При таком управлении персонал ориентируется на показания термометров, психрометров и в соответствии с заданными значениями температуры и относительной влажности управляет установками для вентиляции помещений.

Ручное управление заключается в том, что состав и порядок действия вентиляционных установок определяются заблаговременно при помощи ручного переключателя режимов работы. Последний имеет две позиции, соответствующие теплomu и холодному периодам. Исходные значения воздухообмена в холодный период выбирается из условий удаления избытков углекислоты. Это — минимальный уровень воздухообмена, определяемый расчетным путем в соответствии с действующими нормами для холодного периода.

В переходный период относительная влажность наружного воздуха повышается и для обеспечения относительной влажности воздуха внутри помещения в соответствии с нормативной необходимо увеличивать воздухообмен относительно уровня воздухообмена в холодный период.

В переходный период вентиляционная система может работать по схеме «холодного» или «теплого» периодов в зависимости от показаний психрометра, установленного внутри помещения.

В теплый период из-за тепловыделений животными температура внутри помещения становится выше наружной температуры воздуха и заданной.

В положении «теплый период» система вентиляции усиливает воздухообмен в 2–3 раза.

В птичниках воздухообмен может быть увеличен в 4–6 раз с помощью дополнительной вытяжной системы вентиляции, которая работает автоматически под воздействием регулятора температуры непрерывного действия.

Управление режимом работы вентиляционной системы с помощью переключателя позволяет изменять величину воздухообмена ступенчато. Плавное изменение воздухообмена в системе осуществляется с помощью шибера руч-

ную, что увеличивает потерю энергии в воздуховоде.

Качественное управление воздухообменом в животноводческих помещениях требует круглосуточное участие в управлении оператора, что является существенным недостатком системы управления.

Одним из возможных вариантов реализации системы автоматического управления приточной вентиляцией в животноводческих помещениях представлен на рис. 4.65 и 4.66.

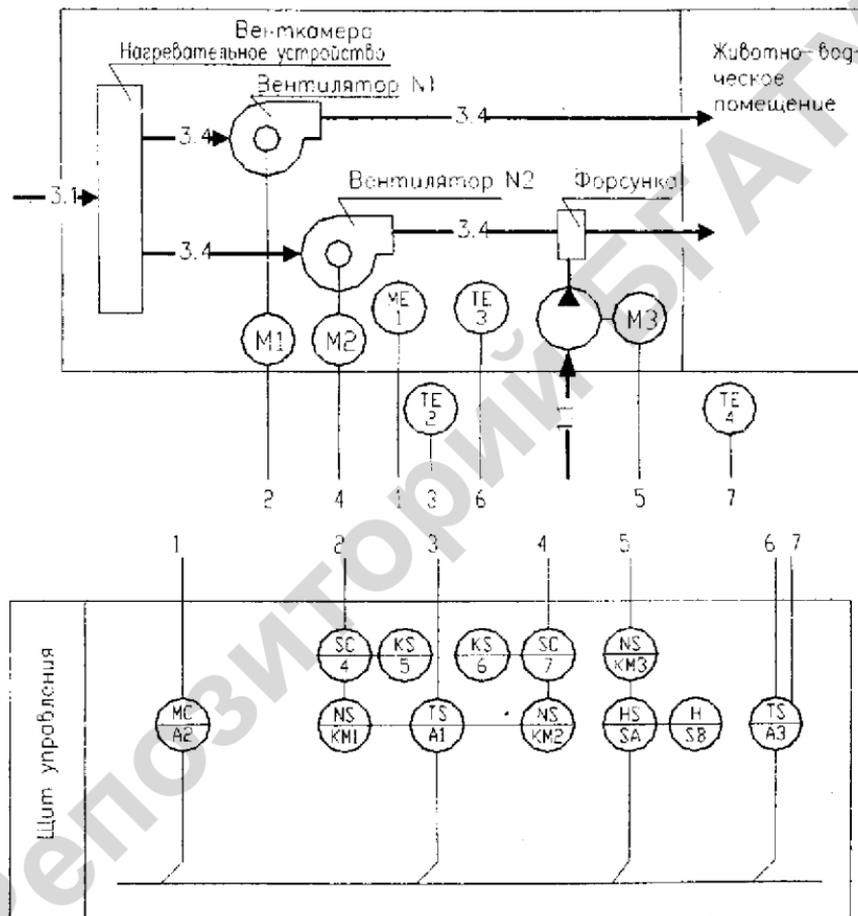


Рис. 4. 65 Схема автоматизации приточной системы вентиляции и влажности воздуха в животноводческих помещениях

Отсутствие дешевых экспресс-датчиков содержания CO_2 в воздухе и датчиков влажности, работающих в аммиачной среде животноводческих помещений, позволяет только реализовать САР воздухообменом действующих по возмущению и имеющих соответствующие недостатки.

В приведенной на рис. 4.65 системе автоматизации автоматическим переключателем режима воздухообмена является трехпозиционный регулирующий прибор температуры *A1*.

В холодный период года срабатывает переключающий контакт регулирующего прибора *A1.1* «ниже» и подает напряжение на катушку магнитного пускателя *KM1* вентилятора с минимальным воздухообменом (рис. 4.66).

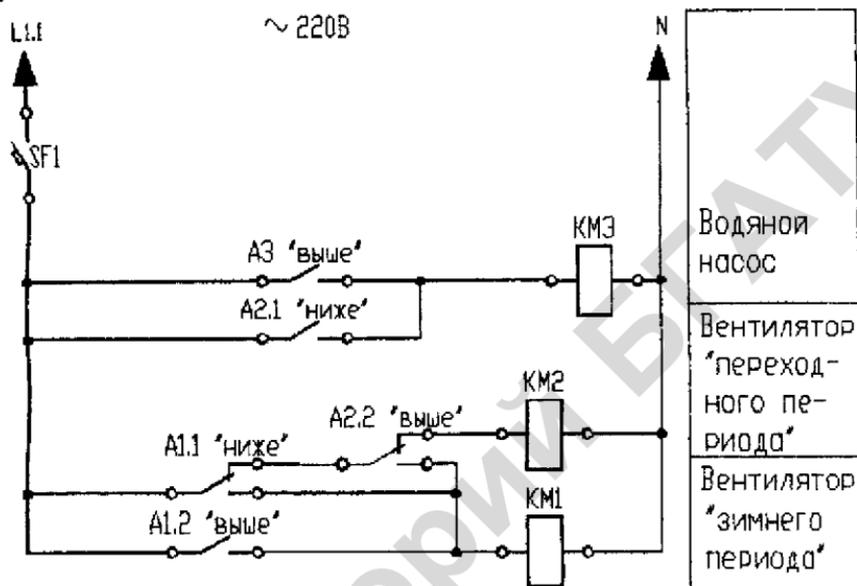


Рис. 4.66 Неполная упрощенная принципиальная электрическая схема управления приточной вентиляцией и влажностью воздуха в животноводческих помещениях

В переходный период года, что соответствует состоянию регулирующего прибора *A1*— «норма», контакт *A1.1* устанавливается в исходное положение. Катушка магнитного пускателя *KM1* обесточивается, а напряжение подается на катушку магнитного пускателя *KM2* более воздухопроизводительного вентилятора.

В теплый период года срабатывает *A1.2* «выше» и в систему воздухообмена дополнительно подключается вентилятор *N1*.

Недостатком САР воздухообменом по возмущению является сложность определения диапазона температуры наружного воздуха с повышенной относительной влажностью наружного воздуха, что затрудняет настройку регулирующего прибора на соответствующий диапазон температур.

Для частичной компенсации возможных погрешностей регулирования в систему управления вводится трехпозиционный регулирующий прибор влажности воздуха, датчик которого устанавливается в приточном воздуховоде непосредственно после вентилятора. Если в переходный период относительная

влажность наружного воздуха будет превышать допустимое значение, работа вентилятора *N2* становится нецелесообразной и происходит переключение контактом *A2.2* «выше» системы воздухообмена на пониженный режим воздухообмена.

При снижении относительной влажности наружного воздуха ниже допустимой срабатывает контакт *A2.1* «ниже» и включает водяной насос увлажнения воздуха.

Система увлажнения воздуха служит также для снижения температуры воздуха внутри помещения, если она в теплый период года превышает температуру наружного воздуха на 5 °С.

Регулирующий прибор *A3* сравнивает температуру наружного воздуха и воздуха внутри помещения и выдает сигнал на срабатывание магнитного пускателя *KM3* посредством контакта *A3*.

Для плавного изменения воздухопроизводительности вентиляторов приточной системы вентиляции используются частотные преобразователи питающего напряжения. Включение частотных преобразователей в работу осуществляется контактами магнитных пускателей *KM1* и *KM2*, изменение частоты вращения электродвигателей вентиляторов — вручную задатчиками, отградуированными на соответствующую воздухопроизводительность. Это позволяет избежать энергопотерь, существующих в шибберных устройствах и не использовать эти устройства при проектировании систем вентиляции в животноводческих помещениях.

Возможен вариант схемного решения при котором частотный преобразователь питающего напряжения в теплый период года используется как регулятор температуры воздуха внутри помещения.

Управление температурным режимом животноводческих помещений.

Как отмечалось ранее, для поддержания температурного режима в животноводческих помещениях используют системы микроклимата работающие от центральных источников теплоснабжения (котельных). На фермах, удаленных от центральных источников теплоснабжения применяют системы микроклимата на базе электрокалориферов и теплогенераторов.

Схемные решения систем микроклимата на базе электрокалориферов приведены на рис. 4.67 и 4.68.

Электрокалориферная вентиляционно-отопительная установка состоит из вентилятора и трехсекционного электрокалорифера (рис. 4.67).

В автоматическом режиме включение и отключение секций электрокалорифера осуществляется трехпозиционным регулирующим прибором *A1*. При низких температурах наружного воздуха срабатывает контакт регулирующего прибора *A1* «ниже» и через контакты *KM4*, переключателя *SA*, двухпозиционного термореле *SK* подает сигнал управления на катушку магнитного пускателя *KM3*. Подается напряжение на секцию *N3* электрокалорифера.

На секцию электрокалорифера *N1* сигнал управления поступает по цепочке. Контакты *KM4*, *SA*, *SK*, *KM3.2*, *A1* «выше». При срабатывании контакта *KM1.2* сигнал управления поступает также и на катушку магнитного пускателя *KM2* и, соответственно, включается секция электрокалорифера *N2*.

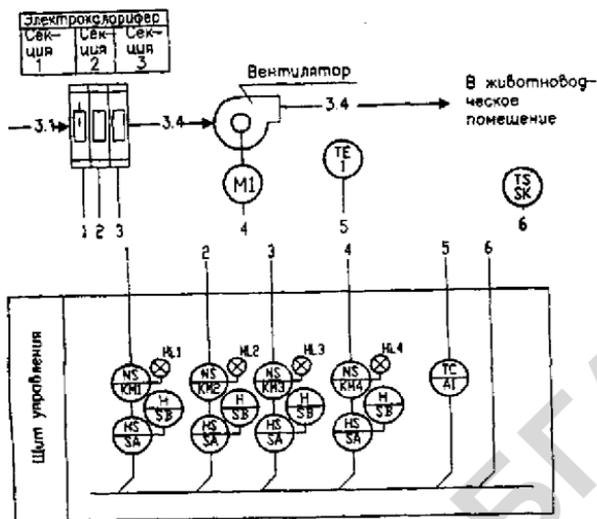


Рис. 4.67 Схема автоматизации электрокалориферной установки

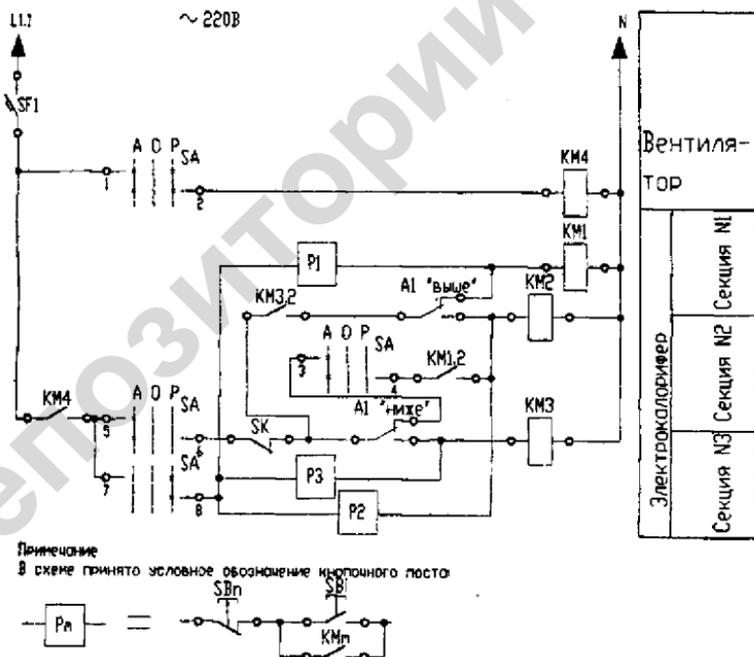


Рис. 4.68 Неполная (упрощенная) принципиальная электрическая схема управления электрокалориферной установкой

При повышении температуры воздуха до величины соответствующей настройке регулирующего прибора «норма» контакты $A1$ «ниже» размыкаются и секция $N3$ электрокалорифера отключается. Сигнал управления на катушку магнитного пускателя $KM2$ поступает уже не через контакт $KM3.2$, а через нормально замкнутые контакты $A1$ «ниже».

При дальнейшем увеличении температуры воздуха до величины соответствующей настройке регулирующего прибора «выше» срабатывает контакт $A1$ «выше» и обесточивает катушку магнитного пускателя $KM1$ и секция $N1$ электрокалорифера отключается. Отключение секции $N2$ электрокалорифера происходит при размыкании контактов SK двухпозиционного релейного регулятора температуры установленного внутри помещения. Настраивается регулирующий прибор $A2$ на срабатывание контактов SK при температуре соответствующей нормативному ее значению для данного помещения ($\theta_{ном}$). Таким образом, при настройке регулирующего прибора $A1$ диапазон изменения температуры от $\theta_{мин}$ до $\theta_{ном}$, где $\theta_{мин}$ — минимальное значение температуры наружного воздуха, следует разбивать на три равных участка:

$$\theta_{мин} - \theta_1 - \theta_2 - \theta_{макс}$$

Величина температуры θ_2 устанавливается рукояткой задатчика регулирующего прибора, величина θ_1 — рукояткой «дифференциал».

В ручном режиме работой нагревательных секций электрокалорифера управляют при помощи кнопочных станций $P1-P3$.

Ввод электродвигателей в действие в ручном и автоматическом режимах возможен лишь после включения вентилятора (контакты $KM4$).

Схемные решения управления тепловым режимом в помещении систем микроклимата на базе водяных калориферов приведены на рис. 4.69 и 4.70.

Источником тепла для нагрева приточного воздуха в рассматриваемой системе служит горячая вода, поступающая из котельной. Теплообмен между теплоносителем и воздухом происходит в калорифере. Интенсивность теплообмена при постоянной воздухопроизводительности вентилятора в полной мере зависит от скорости теплоносителя в системе, которая изменяется степенью открытия клапана регулирующего органа PO .

Тип регулирующего прибора $A2$ (позиционный, непрерывного действия) зависит от принципа управления регулирующим органом.

Двух- и трехпозиционное регулирование этой системы малоприспособно вследствие сравнительно малой теплоемкости калорифера по отношению к теплоемкости помещения, приводящее к резкому отклонению температуры приточного воздуха, возникновению холодного дутья и возможности замерзания воды в калориферах в холодное время года.

На практике наиболее широко распространено непрерывное регулирование.

Для повышения точности регулирования в систему вводят обводной клапан с ручным или автоматическим управлением.

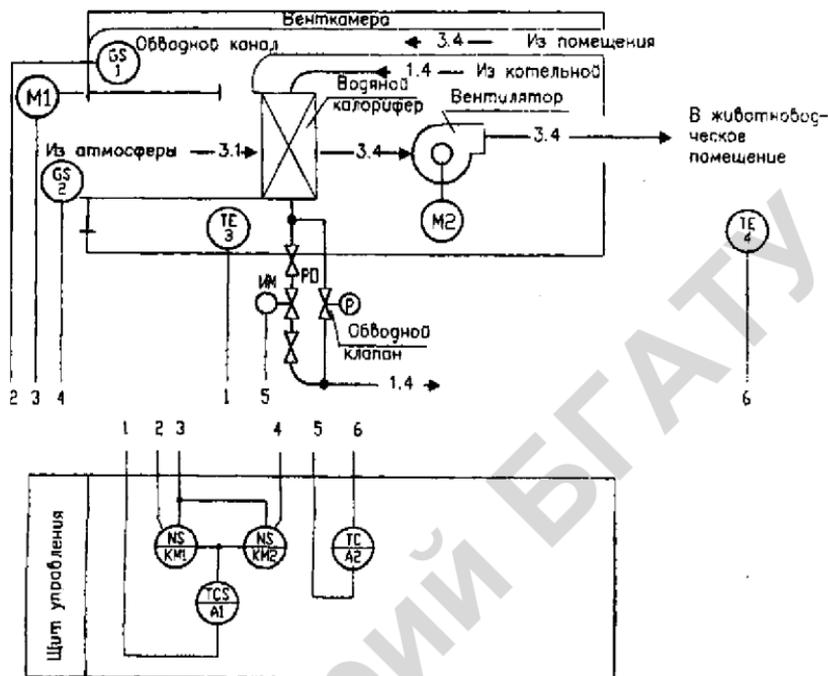


Рис. 4.69 Схема автоматизации тепловым режимом системы микроклимата животноводческих помещений на базе водяного калорифера

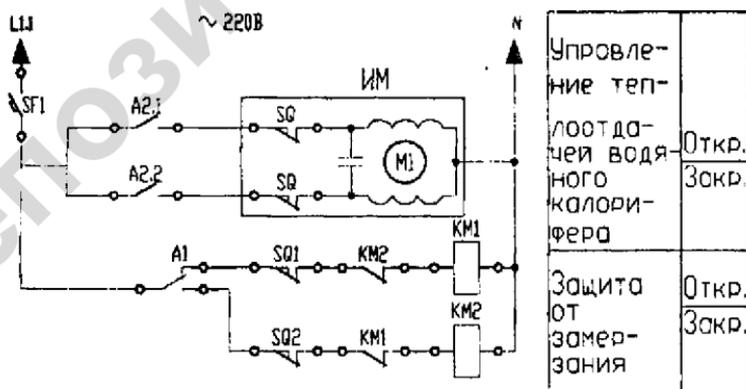


Рис. 4.70 Неполная (упрощенная) принципиальная электрическая схема управления температурным режимом системы микроклимата на базе водяного калорифера

Следует иметь в виду, что для замерзания воды в трубках калорифера требуется слишком мало времени (не более 1–3 мин), чтобы ограничиться ручным управлением защиты калорифера от замораживания, в которой предусматривается воздействие на заслонку обводного канала.

Здесь для управления однолопастной поворотной заслонкой используется двухпозиционный регулирующий прибор А1.

При снижении температуры воды на обратном трубопроводе ниже плюс 25 °С регулирующий прибор выдает сигнал на перестановку заслонки. Заслонка перекрывает поступление на водяной калорифер холодного воздуха и открывает доступ теплого воздуха из помещения. При прогреве калорифера до температуры плюс 80 °С заслонка автоматически переводится в предыдущее положение. Принципиальная электрическая схема управления заслонкой приведена на рис. 4.70.

Следует отметить, что защита калорифера от замерзания устанавливается в приточных системах вентиляции, а в системах заградительной вентиляции — нет.

При выборе и обосновании закона регулирования необходимо иметь данные по динамическим характеристикам объекта управления.

Животноводческие помещения по каналу температуры воздуха аппроксимируются передаточной функцией аperiodического звена первого порядка со звеном чистого запаздывания

$$W(P) = \frac{k}{TP + 1} e^{-\tau P},$$

численные значения коэффициентов которой приведены в табл. 4.8, из чего следует, что для реализации систем управления температурным режимом в животноводческих помещениях можно использовать регулирующие приборы позиционные и непрерывного действия с простейшими законами регулирования.

Таблица 4.8

Коэффициенты передаточной функции

Здание	K ₀	T ₀ , с	τ ₀ , с	
			K	Приточная система
Молочная ферма на 400 голов	1,4	500	40	8–10
Откормочник молодняка крупного рогатого скота 2-го периода	0,9	200	20	8–10
Свинарник-откормочник	1,5	300	30	8–10
Птичник на 10 тыс. голов	0,8	250	20	8–10

4.7.3 Оборудование обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях и птичниках

Для обеспечения воздухообмена в животноводческих помещениях и птичниках используют осевые и/или радиальные (центробежные) вентиляторы (табл. 4.9).

Радиальные вентиляторы бывают левого и правого вращения, одно- и двухстороннего всасывания, соединенные с электродвигателем или через клиноременную передачу. В зависимости от величины полного давления (напора), создаваемого при перемещении газовой среды плотностью $1,2 \text{ кг/м}^3$, вентиляторы делятся на группы: низкого давления — до 1 кПа, среднего — от 1 до 3 кПа, высокого — от 3 до 12 кПа.

Осевые вентиляторы обеспечивают сравнительно низкое давление, однако они требуют меньшей мощности привода, образуют с двигателем и воздухопроводом комплектный соосный агрегат и могут быть установлены непосредственно в воздуховоде.

Центробежные и осевые вентиляторы имеют номер, который соответствует диаметру рабочего колеса по внешней кромке, выраженному в дециметрах.

Крышные вентиляторы предназначены для систем общеобменной вентиляции сельскохозяйственных производственных помещений.

Наиболее распространены радиальные вентиляторы низкого давления (до 10^3 Па) типа В-Ц4-70. Осевые вентиляторы В-06 применяются при малых (до 200 Па) напорах и больших объемах подаваемого воздуха.

В системах отопления и вентиляции сельскохозяйственных производственных помещений используется различное оборудование: калориферы, вентиляторы, вентиляционно-отопительные агрегаты, тепловентиляторы и т.д. Часть этого оборудования выпускается в комплекте, часть собирается на месте эксплуатации в специально сооружаемой вентиляционной камере (рис. 4.62).

Таблица 4.9

Технические характеристики радиальных вентиляторов

Подача, $\text{м}^3/\text{ч}$	Давление, Па	Вентилятор			Электродвигатель	
		тип	номер	кдд	N, кВт	n, мин ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7
а) общего назначения						
5000	520	В-Ц4-70	5	78	1,5	1415
	800	В-Ц4-70	5	78	2,2	1425
7500	500	В-Ц4-70	6,3	80	2,2	930
	1000	В-Ц4-70	6,3	80	4	1430
10000	480	В-Ц4-70	6,3	76	2,2	950
	850	В-Ц4-70	8	74	5,5	965
15000	450	В-Ц4-70	8	76	4	720
	760	В-Ц4-70	8	80	5,5	965
20000	550	В-Ш-70	10	80	5,5	720
	820	В-Ц4-70	10	75	11	730
30000	610	В-Ц4-70	10	75	11	730
	820	В-Ц4-70	10	75	11	975
б) крышные						
1500	170	ВКР4.00.25. 6	73	0,25	900	1500

1	2	3	4	5	6	7
2500	180	ВКР4.00.45.6		73	0,37	910
	60	ВКР4.00.45.6		73	0,25	900
3500	250	ВКР5.00.25.6		73	0,55	910
	80	ВКР4.00.45.6		73	0,37	910
5000	250	ВКР5.00.45.6		69	0,75	915
	30	ВКР5.00.25.6		73	0,55	910
7000	400	ВКР6.30.25.6		73	1,5	935
	140	ВКР5.30.45.6		73	0,75	915
10000	400	ВКР6.30.45.6		69	2,2	950
в) осевые						
2500	70	В-06-300-4		60	0,12	1375
3500	50	В-06-300-4		66	0,12	1375
	110	В-06-300-5		68	0,37	1365
5000	300	В-06-300-4		66	0,75	2840
	50	В-06-300-5		66	0,37	1365
7000	120	В-06-300-4		66	0,75	2840
10000	180	В-06-300-6,3		70	0,75	1390
15000	100	В-06-300-8		75	0,75	915
20000	300	В-06-300-8		75	3,0	1435

Теплогенераторы типа ТГ (табл. 4.10) предназначены для воздушного отопления и вентиляции животноводческих, птицеводческих и других производственных помещений, а также теплиц.

Нагрев воздуха осуществляется продуктами сгорания печного топлива без смешивания продуктов сгорания с нагреваемым воздухом.

Таблица 4.10

Технические характеристики теплогенераторов ТГ

Характеристика	Тип теплогенератора		
	ТГ-1,5	ТГ-2,5А	ТГ-3,5
Тепловая мощность, кВт, не менее	175	290	405
Подача нагретого воздуха (приведена к стандартным условиям), тыс. м ³ /ч	10-14	17	22,5 ± 2,2
Температура нагрева воздуха, °С	35-50	50 ± 5	53 ± 6
Давление воздуха при максимальной подаче, Па, не менее	150	150	180
Расход топлива, кг/ч	16,8	28-30	38
кпд, %	88	89	90-93
Суммарная установленная мощность электродвигателей, кВт	4,5	4,6	8,5

Из расположенной вне нагреваемого помещения емкости (рис. 4.71) топливо самотеком через фильтр-отстойник поступает к топливному насосу 10, приводимому во вращение электродвигателем вентилятора, а затем, через электромагнитный клапан к форсунке П. Тщательно перемешанная рабочая смесь топлива и воздуха поджигается искрой от трансформатора зажигания.

Продукты сгорания, проходя по каналам теплообменника 3, отдают теплоту воздуху, который нагнетается главным вентилятором 6 в обогреваемое помещение. Температура нагрева воздуха регулируется за счет изменения его подачи с помощью жалюзийной заслонки 8, имеющей ручной привод.

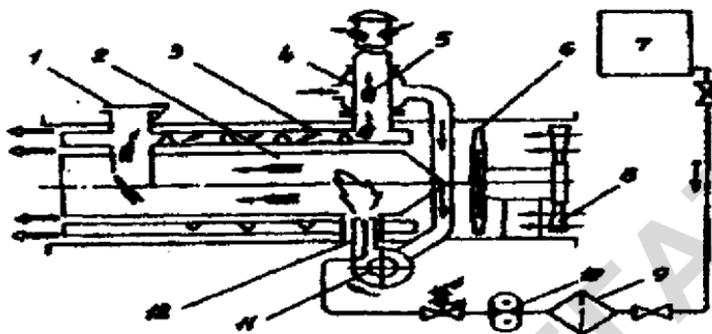


Рис. 4.71 Схема теплогенератора ТГ-1,5: 1 – взрывной клапан; 2 – камера сгорания; 3 – теплообменник; 4 – рекуператор, 5 – дымовая труба; 6 – вентилятор; 7 – емкость для топлива; 8 – жалюзи; 9 – фильтр-отстойник; 10 – топливный насос; 11 – форсунка; 12 – распылитель топлива

Продукты сгорания отводятся в атмосферу через дымовую трубу 5. Экономические показатели теплогенератора зависят от качества регулировки горелочного устройства, достигаемого установкой шиберов на всасывающей патрубке вентилятора горелки в положение, при котором дымовые газы будут прозрачны.

КПД теплогенератора увеличивается при подаче в горелку воздуха, нагретого в рекуператоре 4. Теплопроизводительность теплогенератора определяется настройкой редукционного клапана, стабилизирующего давление топлива в диапазоне от 0,59 до 1,17 МПа. При аварийных нарушениях в работе теплогенератора подача топлива к горелке автоматически прекращается. Система управления теплогенераторами типа ТГ обеспечивает включение устройства в следующем порядке: продувка камеры сгорания в течение 5–30 с — подача топлива в форсунку — включение зажигания — включение двигателя главного вентилятора после прогрева камеры сгорания до 35–40 °С.

Отключение теплогенератора: прекращение подачи топлива и воздуха на горение — отключение двигателя, главного вентилятора после остывания камеры сгорания до 25–30 °С. Теплогенератор автоматически отключается в следующих случаях: при достижении заданной температуры воздуха в помещении (нормальное отключение); при перегреве корпуса (аварийное отключение); при нерозжиге горелки в течение 20–25 с; при обрыве факела в процессе нормальной работы, если попытка повторного розжига горелки в течение 5–10 с не дала результата; при отказе элементов схемы управления и срабатывании защиты электродвигателей.

Тепловентиляторы КПС, КПП, КВ предназначены для отопления и вентиляции помещений крупных комплексов для откорма свиней (54 и 108 тыс. голов в год) или молодняка КРС (10 тыс. голов в год).

Тепловентиляторы КПС и КПГ подразделяются на два типа, первый из которых предназначен для воздушного отопления помещений в холодное время года и для вентиляции — в теплое, второй — только для отопления в холодное время года.

Тепловентиляторы ТВ (табл. 4.11) разработаны взамен тепловентиляторов КПС и КПГ. Типоразмерный ряд тепловентиляторов типа ТВ включает шесть модификаций: ТВ-6, ТВ-9, ТВ-12, ТВ-18, ТВ-24 и ТВ-26 (цифра показывает максимальную подачу воздуха в тыс. м³/ч).

Основу конструкции тепловентилятора (рис. 4.72) составляют радиальный вентилятор *б* двустороннего всасывания с приводом через клиноременную передачу от двухскоростного электродвигателя *8* и calorиферный блок *2*, образованный четырехрядным биметаллическим calorифером. Возможна замена четырехрядного calorифера на трехрядный, а также объединение в блок двух calorиферов, что увеличивает поверхность нагрева вдвое.

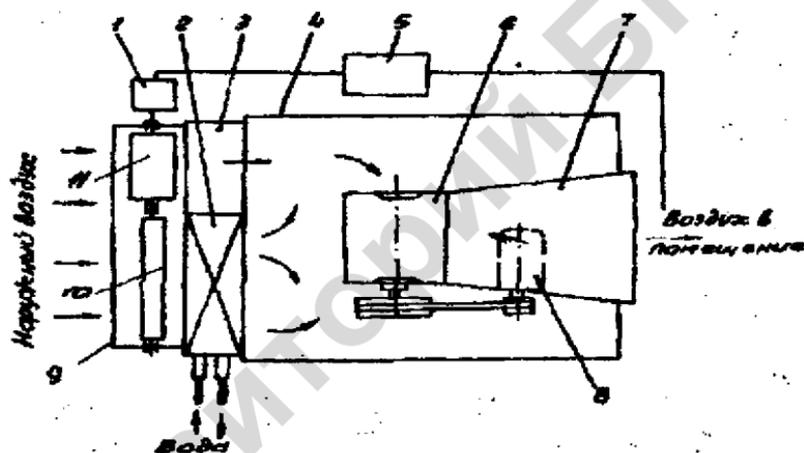


Рис. 4.72 Схема тепловентилятора ТВ: 1 — исполнительный механизм; 2 — calorиферный блок; 3 — обводной канал; 4 — корпус; 5 — устройство управления; 6 — вентилятор; 7 — нагнетательный патрубок; 8 — электродвигатель; 9 — жалюзийный блок; 10 — жалюзи calorифера; 11 — жалюзи обводного канала

В холодное время года жалюзи *11* обводного канала *3* закрыты, а жалюзи *10* calorиферного блока открыты, и весь подаваемый в помещение воздух проходит через calorиферный блок. При этом вентилятор *б* работает на первой скорости. В теплый период года вентилятор работает на второй скорости, жалюзи *11* обводного канала открыты полностью, а жалюзи *10* calorиферного блока закрыты.

При необходимости могут быть открыты одновременно оба жалюзи. Площадь живого сечения для прохода воздуха увеличивается при этом в два раза.

В переходный период года жалюзи находятся в промежуточном положении, направляя поток воздуха и в calorифер, и в обход его. Система

рычажных связей жалюзи с исполнительным механизмом выполнена таким образом, что при одновременной перестановке обеих жалюзи суммарная подача воздуха не изменяется.

Перестановку жалюзи в зависимости от температуры в помещении осуществляет исполнительный механизм 1, управляемый от устройства 5 «Приток-1», поставляемого комплектно с ТВ (одно устройство на два ТВ). «Приток-1» обеспечивает также изменение частоты вращения вентилятора, защиту электродвигателя от замораживания и световую сигнализацию аварийных режимов.

Таблица 4.11

Технические характеристики тепловентиляторов типа ТВ

Характеристика	Типоразмер					
	ТВ-6	ТВ-9	ТВ-12	ТВ-18	ТВ-24	ТВ-36
Подача воздуха, тыс. м ³ /ч	3 (6,0)	4,5 (9,0)	9 (02)	9 (18)	12 (24)	18 (36)
Тепловая мощность, кВт	70,0	93,0	128,0	186,0	209,3	267,4
Полное давление воздуха, Па	196 (392)	196 (392)	196 (392)	196 (392)	196 (392)	196 (392)
Площадь поверхности нагрева, м ²	17,57	20,88	24,19	30,82	48,38	48,38
Тип калорифера	КСк4-7	КСк4-8	КСк4-9	КСк4-10	КСк4-9	КСк4-9
Установленная мощность, кВт	0,55 (2,2)	2,3 (3,7)	3,2 (5,2)	4,2 (7,1)	6 (9)	9 (13)
Частота вращения вентилятора, мин ⁻¹	720 (1440)	560 (1120)	560 (1120)	460 (920)	325 (650)	365 (730)

Примечания: 1. В скобках указаны параметры для максимальной частоты вращения вентилятора. 2. Параметры горячей воды: температура на входе в калорифер 150 °С, давление до 0,6 МПа.

Приточно-вытяжная установка состоит из секций: воздухораспределения, электронагревателей, промежуточных и оголовка.

Секция воздухораспределения (для обслуживания может откидываться на специальных шарнирах) имеет в своей нижней части 8 каналов распределения приточного воздуха в радиальном направлении, причем сечение этих каналов может изменяться с помощью поворотных заслонок.

Система управления тепловентиляторами. Тепловентиляторы используются для обеспечения микроклимата в свинарниках-маточниках, свинарниках для поросят-откормышей, комплексах по производству свинины на 108 тыс. голов.

Фрагменты принципиальной схемы управления приведены на рис. 4.73 и 4.74.

Система управления предусматривает работу установок в двух режимах: «Автоматический» и «Ручной». В зависимости от времени года в автоматическом режиме имеются три периода: «Летний», «Переходной», «Зимний». Режим и период выбирают переключателем SA2, имеющим три положения: 1 — «Минимальная скорость»; 0 — «Отключено»; 2 — «Минимальная скорость» и переключателем SA3, имеющим пять положений: 1 — «Летний период»; 2 — «Переходный период»; 3 — «Отключено»; 4 — «Зимний период»; 5 — «Ручной режим».

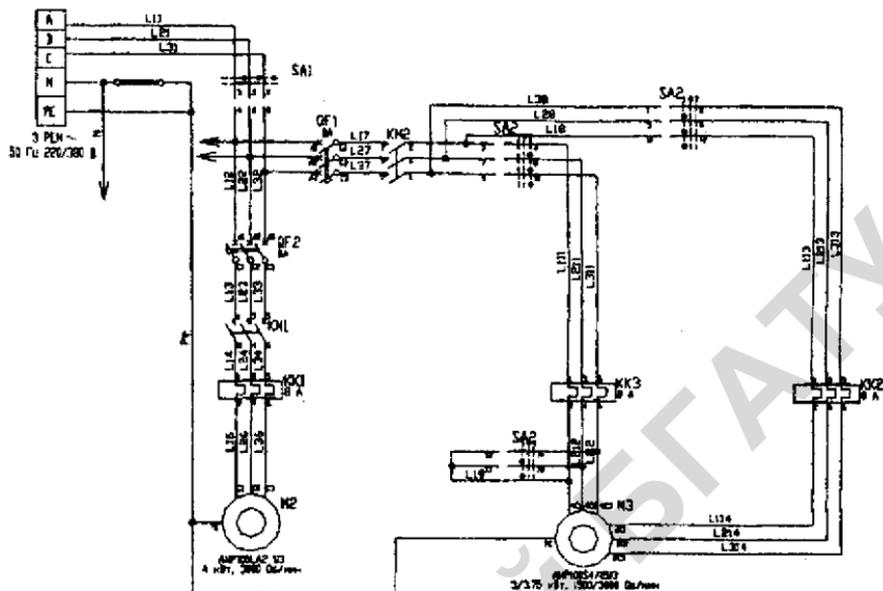


Рис. 4.73 Принципиальная электрическая схема управления тепловентиляторами (силовая часть)

В «Летний период» работают два двигателя. Один из них — двухскоростной, работает на максимальной скорости. В «Переходный период» двухскоростной двигатель работает также на максимальной скорости, второй двигатель отключен. В «Зимний период» работает только двухскоростной двигатель на минимальной скорости и подключается исполнительный механизм УА1 с регулирующим клапаном для регулирования количества теплоносителя.

Электрокалориферные установки СФОЦ (табл. 4.12) объединяют в одной конструкции электрический калорифер и центробежный вентилятор, установленный на виброизолирующем основании. Нагревательные элементы калорифера разделены на 3 секции равной мощности, состоящие из одного ряда ТЭНов каждая. Каждый вертикальный ряд нагревательных элементов представляет собой самостоятельную секцию, элементы которой соединены в звезду. Секции получают питание от сети напряжением 380/220 В.

Для управления установкой СФОЦ применяется тиристорное устройство «Электротерм ППУЗ», обеспечивающее плавное регулирование мощности калорифера в зависимости от средней температуры в помещении.

Комплекты вентиляционного оборудования «Климат-2» и «Климат-3» (табл. 4.13) предназначены для систем воздушного обогрева и вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений.

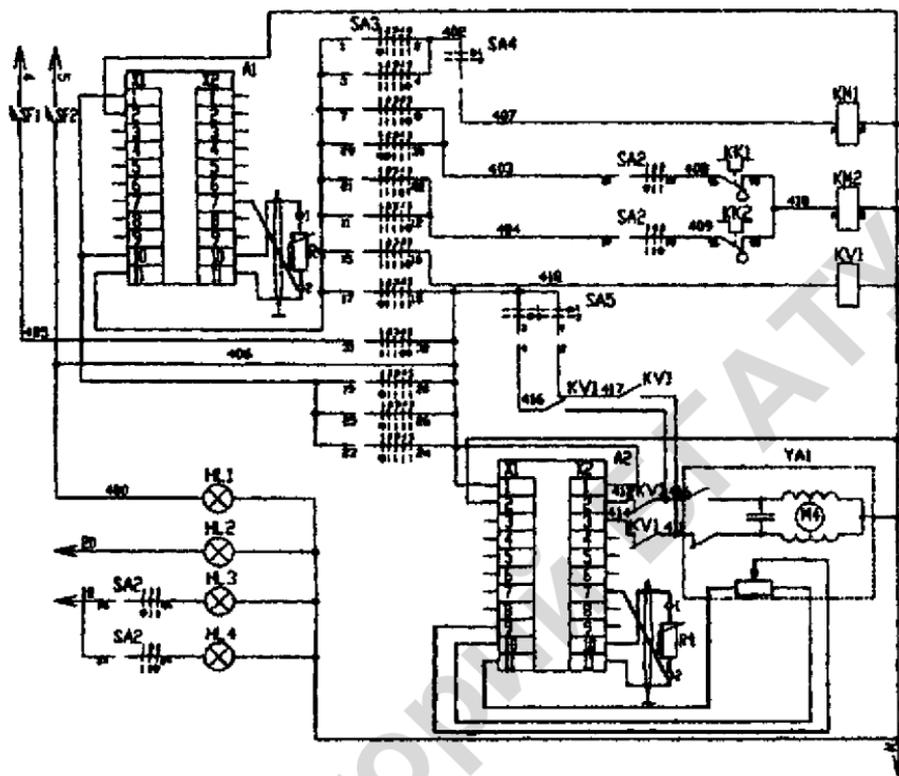


Рис. 4.74 Принципиальная электрическая схема управления тепловентиляторами (слабочная часть)

Таблица 4.12

Технические характеристики установок СФОЦ-Р/0,5-III

Характеристика	СФОЦ-25	СФОЦ-40	СФОЦ-60	СФОЦ-100
Номинальная мощность, кВт:				
общая	3,25	46,5	69	94
электрокалорифера	22,5	45,0	67,5	90
электродвигателя вентилятора	0,75	1,5	1,5	4
Подача воздуха, м ³ /ч	2500	3500	4000	5000
Нагрев воздуха, °С	35	50	65	70
Аэродинамическое сопротивление, Па	500	900	1000	1000
Число нагревателей	9	18	27	36

**Технические характеристики комплектов оборудования
«Климат-2» и «Климат-3»**

Типоразмер	Типовая мощность, кВт	Воздухопроизводительность, тыс. м ³ /ч			Подача воды для увлажнения, кг/ч
		холодный режим		теплый режим	
		приток	вытяжка	вытяжка	
«Климат-25-8» («Климат-5-8») с увлажнением	360-704	16,3-29	60-90	90-180	300
То же, без увлажнения	372-720	18,0-40,0	60-90	90-180	-
«Климат-27-8» («Климат-37-8») с увлажнением	360-704	16,3-29	45-75	75-150	300
То же, без увлажнения	372-720	18,0-40,0	45-75	75-150	-
«Климат-25-10» («Климат-35-10») с увлажнением	400-874	21,6-40,4	60-90	90-180	300
То же, без увлажнения	430-958	24-64	60-90	90-180	-
«Климат-27-10» («Климат-37-10») с увлажнением	400-874	21,6-40,4	45-75	75-150	300
То же, без увлажнения	430-958	24-64	45-75	75-150	-

Оборудование «Климат-2» и «Климат-3» имеет 16 типоразмеров, в обозначении которых первая цифра обозначает тип комплекта (2 или 3), вторая — номер вытяжного (осевого) вентилятора (5 или 7), третья — номер приточного (радиального) вентилятора (8 или 10).

В состав комплекта оборудования входят две приточные отопительные вентиляционно-увлажнительные установки ПОВУА76-8 (ПОВУА76-10) или две приточные отопительно-вентиляционных установки ПОВА76-8 (ПОВА76-10) регулирующие клапаны (только для «Климат») 25ч931нж с приводом от электрического исполнительного механизма ПР-1М для автоматизации регулирования подачи воды в водяные calorиферы.

Водяные calorиферы подбирают по проекту системы регулирования микроклимата конкретного помещения.

Calorифер от замерзания защищают входящим в комплект датчиком ТУ-Э-2 с пределами регулирования от 0 до 100 °С. Датчик монтируют на трубопроводе обратной воды. Наружный воздух проходит последовательно секцию нагрева, жалюзийный клапан и увлажнитель. На нагнетании вентилятора установлен каплеуловитель.

Увлажнение воздуха осуществляется путём распыления воды, подаваемой из напорного бака самотёком через электромагнитный клапан СВМ-25 на диск, приводимый во вращение с частотой 3000 мин⁻¹.

Вентиляционные установки оснащены трёхскоростными электродвигателями обеспечивающими изменение воздухопроизводительности в пределах указанных в табл. 4.14.

**Производительность приточных вентиляторов Ц4-70 оборудования
«Климат-2» и «Климат-3»**

Вентилятор	Производительность на ступенях, тыс м ³ /ч		
	первой	второй	третьей
N10	26	33	48
N8	13	22	26
N6	7	9	12

Комплект оборудования «Климат-2» и «Климат-3» включает комплект одной из модификаций вытяжных вентиляторов «Климат-4М».

Оборудование «Климат-4» имеет два типоразмера: «Климат-45М» и «Климат-47М», различающихся маркой осевого вентилятора ВО-Ф-5.6А или ВО-Ф-7ДА; каждый типоразмер имеет по 5 типоразмеров, различающихся числом осевых вентиляторов в комплекте (табл. 4.15).

Таблица 4.14

**Основные технические характеристики комплекта
оборудования «Климат-4М»**

Типоразмер	Число вентиляторов, шт.	Подача воздуха, тыс, м ³ /ч	Установленная мощность, кВт
Климат-45М	16	95 ± 6	7,0
Климат-45М-01	24	145 ± 0	10,0
Климат-45М-02	6	36 ± 2,4	2,5
Климат-45М-03	14	84 ± 5	6,0
Климат-45М-04	18	108 ± 7,2	7,5
Климат-47М	14	140 ± 15	10,0
Климат-47М-01	24	240 ± 15	15,0
Климат-47М-02	8	80 ± 5,0	5,0
Климат-47М-03	10	100 ± 7	6,25
Климат-47М-04	12	120 ± 8	7,5

Частота вращения вентиляторов автоматически устанавливается пропорционально температуре в вентилируемом помещении, причем устройство ТСУ-2-КЛ-УЗ «Климатика-1» обеспечивает плавное регулирование выходного напряжения в диапазоне 1 : 6.

Схемы управления оборудованием «Климат-2» и «Климат-3» приведены на рис. 4.75 и 4.76.

Комбинированные приточно-вытяжные установки ПВУ-М объединяют в одной конструкции систему удаления загрязненного и систему подгрева и подачи в помещение чистого воздуха.

Основной конструкции ПВУ-М (рис. 4.77) является вентилятор с рабочим колесом 2, имеющим два ряда лопаток. Внутренние лопатки обеспечивают удаление загрязненного воздуха по внутреннему воздуховоду 3 (вытяжной канал), а наружные — подачу в помещение наружного воздуха по кольцевому каналу между корпусом 5 и внутренним воздуховодом 3 (приточный канал).

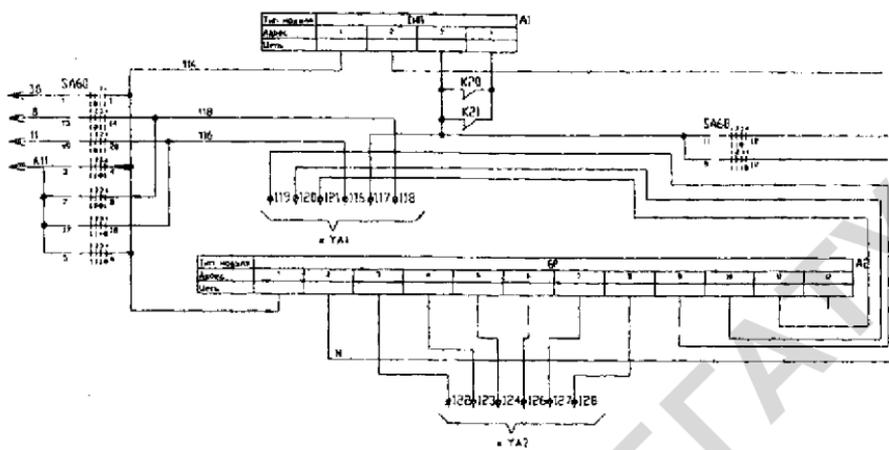


Рис. 4.75 Принципиальная электрическая схема комплекта «Климат-3»: управление вытяжными вентиляторами в зависимости от температуры и относительной влажности

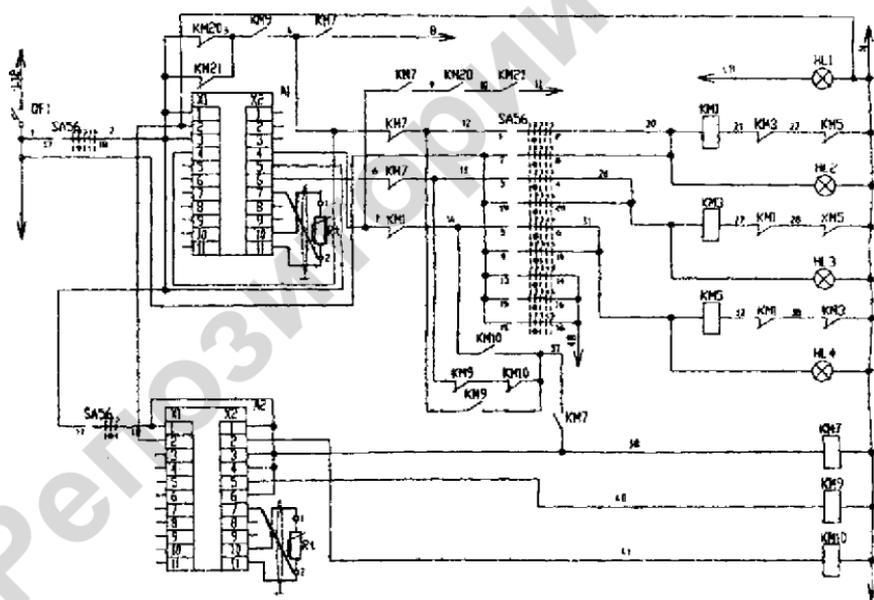


Рис. 4.76 Принципиальная электрическая схема комплекта «Климат-3»: управление исполнительными механизмами регулирующих клапанов

Требуемая температура приточного воздуха обеспечивается теплообменом между удаляемым и приточным воздухом через гофрированную стенку внутреннего воздуховода и за счет включения электродвигателей 4. Если этого

оказывается недостаточно — включается рециркуляция, т.е. подмешивание удаляемого воздуха к нагнетательному в помещение. Рециркуляция осуществляется через клапаны в теле вытяжного воздуховода, причем количество рециркуляционного воздуха может устанавливаться в диапазоне — 0-50% с помощью специального механизма.

Приточно-вытяжная установка состоит из секций: воздухораспределения, электронагревателей, промежуточных и оголовка.

Секция воздухораспределения (для обслуживания может откидываться на специальных шарнирах) имеет в нижней части 8 каналов распределения приточного воздуха в радиальном направлении, причем сечение этих каналов может изменяться с помощью поворотных заслонок.

В корпусе секции электронагревателей, кроме смесительных клапанов и шести электронагревателей, находится флажковый выключатель, отключающий питание нагревателей при выходе из строя вентилятора.

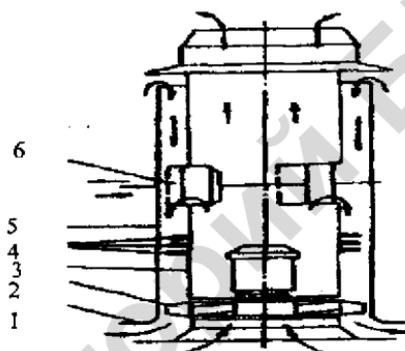


Рис. 4. 77 Схема приточно-вытяжной установки ПВУ: 1 — кольцевой канал; 2 — колесо вентилятора; 3 — внутренний воздуховод; 4 — электронагреватели; 5 — корпус; 6 — циркуляционные клапаны

Зона активного вентилирования каждой установки составляет по глубине не менее 2,5 м, по продольной оси помещения — 15-17 м, по поперечной оси — 8-0 м. В этой зоне обеспечивается скорость движения воздуха от 0,3-0,5 до 1 м/с.

Комплект приточно-вытяжных установок ПВУ-М состоит из шести вентиляционных установок ПВУ-4М, ПВУ-6М или ПВУ-9М. Установки ПВУ-4М регулируют подачу свежего воздуха за счет изменения количества рециркуляционного, а установки ПВУ-6М и ПВУ-9М за счет дросселирования выходных отверстий, причем эти установки могут эксплуатироваться как с рециркуляцией, так и без нее.

Эксплуатация ПВУ-М в режиме рециркуляции разрешается только в таких помещениях, как свиарники-откормочники, и в помещениях для откорма КРС.

В комплект из шести установок ПВУ-М входит также шкаф управления, два силовых шкафа, приводная станция и панель датчиков.

Приводная станция предназначена для приведения в действие заслонок и жалюзи секции воздухораспределения и клапанов рециркуляции. Все они системой тросов связаны с барабаном, имеющим привод от мотор-редуктора. При снижении температуры в первую очередь закрываются каналы секции воздухораспределения. Если этого оказывается недостаточно, то включаются электронагреватели, и далее открываются клапаны рециркуляции.

Установки местного обогрева в животноводстве и птицеводстве. В помещениях для содержания молодняка животных и птицы высокоэффективно используются установки местного обогрева, дополняющие систему общего отопления и вентиляции помещения.

В сельскохозяйственном производстве используется лучистый обогрев с помощью инфракрасных ламп, трубчатых и кварцевых нагревателей; конвективно-кондуктивный обогрев с помощью обогреваемого пола, панелей, ковриков и комбинированный обогрев.

Источниками инфракрасного излучения служат лампы накаливания, в спектре излучения которых инфракрасная область занимает до 75%. Таковы лампа-термоизлучатель ИКЗК-220-250 с окрашенной в красный цвет колбой, лампа накаливания КИ-220-1000, выполняемая в виде трубки из кварцевого стекла 0,10 мм и т. д.

Установка ИКУФ-1М предназначена для одновременного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных. В комплект установки входит 40 облучателей, каждый из которых снабжен двумя инфракрасными лампами ИКЗК-220-250 и размещенной между ними ультрафиолетовой лампой ЛЭ-15 с отражателем. Питание облучателей от сети 380/220 В, суммарная мощность инфракрасных ламп 20 кВт, ультрафиолетовых — 2 кВт.

Лампы обоих типов объединены в две группы, включаемые независимо по заданной программе или вручную.

Установка ИКУФ-2 «Комфорт» предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных и птиц, а также для ионизации воздуха в помещении.

В отличие от ИКУФ-1 в облучателе ИКУФ-2 инфракрасные лампы ИКЗК-220-250 установлены на подвижных кронштейнах, позволяющих изменять расстояние между ними от 550 до 1300 мм, лампа ЛЭ-15 заменена на ЛЭ-30. Ионизатор воздуха подвешивается рядом с облучателем. Число облучателей в комплекте может быть равно 40 или 60.

Комбинированная установка ЭРИКО-1 предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения поросят, телят, цыплят, а также освещения помещений, в которых они содержатся.

В комплект установки входит 125 облучателей с лампой ИКЗК-220-250, 70 ультрафиолетовых облучателей с лампой ЛЭ-30-1 и люминесцентными лампами ЛБ-30. Питание облучателей от сети 380/220 В, потребляемая мощность 35 кВт.

Установка «Луч» предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка.

В комплект установки входит 40 облучателей, каждый с двумя инфракрасными лампами ИКЗК-220-250 и ультрафиолетовой лампой ЛЭ-15. Питание облучателей от сети 380/220 В через два автотрансформатора АТ-10, потребляемая мощность 20 кВт. Мощность обогрева может изменяться по команде регулятора температуры воздуха в помещении путем изменения величины питающего напряжения.

Конструкция облучателя предоставляет возможность регулировать тепловой поток изменением высоты подвеса и путем установки инфракрасных ламп под разными углами к обогреваемой поверхности.

Электрообогреватель инфракрасный ЭИС-0,25-И1 «Ирис» мощностью 250 Вт использует в качестве нагревательного элемента керамический блок-диск со встроенной спиралью.

Температура на поверхности диска не более 500 °С, на уровне пола в зоне площадью 0,7 м² при высоте подвеса 0,6 м — не менее 8 °С. Срок службы до 10 тыс. ч. Обогреватель способен заменить инфракрасные облучатели типов ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч» и ССП-01-250 с лампой ИКЗК-220-250.

Брудер электрический БП-А предназначен для местного обогрева молодняка птицы в возрасте от 1 до 20 дней.

Брудер имеет форму правильной шестигранной пирамиды, площадь мягкой подстилки под ним обогревается четырьмя ТЭНами мощностью до 250 Вт. Высота подвеса брудера и температура под ним регулируются в зависимости от возраста птицы: брудер поднимается, а температура понижается с 35–35 до 25–28 °С. Управление температурным режимом автоматизировано.

Электрообогреватель ЭОКС-2/1,5-И1 мощностью 2 кВт представляет собой радиатор из сребренных алюминиевых труб, внутри которых размещены 3 ТЭНа мощностью по 0,63 кВт, соединенные в «звезду». Нагреватели защищены перфорированным металлическим кожухом.

Электрообогреватель ЭОКС-6/1,5 И1 представляет собой блок из трех нагревателей мощностью по 2 кВт. Два электрообогревателя этого типа комплектуются одним шкафом управления, в котором размещена аппаратура автоматического включения-отключения одного или двух электрообогревателей.

Электрообогреваемые полы используются главным образом в свинарниках-маточниках, свинарниках для отъемышей и в птичниках-бройлерниках с напольным содержанием. Полы (рис. 4.78) выполняются из нескольких тепло- и гидроизоляционных слоев и соответствующего, в основном бетонного, покрытия, в котором заделаны нагревательный провод (табл. 4.15) и защитная сетка, предназначенная для выравнивания потенциала в случае повреждения изоляции нагревательного провода.

Сетка сваривается из стальной проволоки диаметром 3–4 мм и соединяется с нулевым проводом питающей сети.

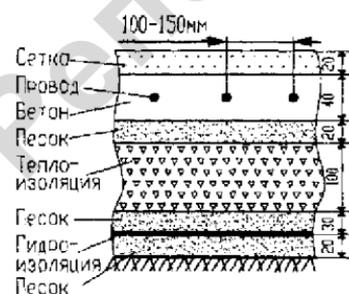


Рис. 4.78 Устройство электрообогреваемого пола

Удельная мощность P обогреваемого пола 150–200 Вт/м² достигается укладкой провода с линейной мощностью — Вт/м (табл. 4.15).

Таблица 4.15

Нагревательные провода

Характеристика	Тип провода			
	ПОСХВ	ПОСХП	ПОСХВТ	ПСО
Диаметр жилы, мм	1,1	1,1	1,4	4–6
Допустимая температура, °С	70	90	105	130
Линейная мощность, Вт/м	5–7	7–9	9–11	40–60
Рабочее напряжение, В	220	220	220	60

Питающие линии напряжением 220 В прокладываются в трубах. Питание неизолированных электронагревателей осуществляют от сети 380/220 В с глухозаземленной нейтралью через понижающий трансформатор мощностью до 60 кВА, причем коммутацию силовых цепей осуществляют на стороне высокого напряжения. Электрообогреваемый коврик ЭП-935 представляет собой мат из химстойкой резины размером 1000×600×20 мм, внутри которого размещен нагреватель мощностью 200 Вт из провода ПОСХ. Напряжение питания 36 В. Электрообогреваемые коврики выпускаются также в виде панели в металлической раме.

Установка ЭИС-11-И1 «Комби» предназначена для местного комбинированного обогрева порослят-сосунов. В комплект установки входят 30 обогревателей, каждый из которых имеет электрообогреваемую панель мощностью 120 Вт для обогрева порослят снизу и инфракрасный электрообогреватель-облучатель мощностью 250 Вт для обогрева сверху. Питание установки от сети 380/220 В, потребляемая мощность 11,5 кВт. Панель укладывается на пол логова, а облучатель подвешивается на кронштейне не ниже чем в 0,6 м над панелью, повышая температуру на уровне пола на 16 °С. Электропитание, управление и автоматическое регулирование температуры осуществляется с пульта управления, причем включение установки осуществляется по суточной программе с учетом времени кормления и отдыха порослят.

4.7.4 Автоматизация технологическими процессами в инкубатории

Промышленное птицеводство основывается на постоянном воспроизводстве поголовья птицы, которое связано с инкубацией яиц. Это специфический процесс размножения птицы, который базируется на выполнении определенных технологических операций.

Технология инкубации сложный процесс, и его правильное построение во многом зависит от знания основ инкубации. Знание основных характеристик сырья для инкубации – инкубационных яиц, процессов эмбрионального развития и условий, в которых развивается птичий эмбрион, дает возмож-

ность грамотно применять требуемые схемы и режимы инкубации. Для воспроизведения заданных режимов инкубации требуется обеспечить соответствующие параметры воздуха, поступающего в блок лотков. Эти параметры — температура, влажность и концентрация углекислоты

Влияние температуры воздуха на результаты инкубации. Наиболее сильно влияет на результаты инкубации температура воздуха. При постоянном в течение инкубации периода воздействия вывод цыплят можно получить при температуре от 35,6 до 39,7 °С. Результаты инкубации (% вывода и качестве молодняка), крайне низкие на границах указанного интервала, быстро улучшаются при приближении температуры к среднему значению.

В первые 12 ч развития куриный эмбрион переносит нагрев до 46,8 °С в течение получаса. В дальнейшем подобный перегрев оказывается для него смертельным.

На 2–3-ий день длительно действующие температуры выше 39 °С вызывают неправильное развитие эмбриона и уродство головы, на 4–5-ый — смещение внутренних органов и недоразвитие брюшной полости. В целом в первые дни инкубации эмбрион проявляет наибольшую чувствительность к уровню температуры, отвечая ускорением обмена веществ и роста на умеренный перегрев (до 38,3–38,5 °С) в течение продолжительного времени.

Во второй половине инкубации устойчивость эмбрионов к повышенным температурам воздуха возрастает. На рис. 4.79 показаны летальные экспозиции для нормально развитых 16-дневных куриных эмбрионов: чем выше температура, тем короче летальная экспозиция. Однако температуру около 39 °С они переносят без потерь выводимости и качества молодняка.

Эмбрионы хорошо приспособлены к понижению температуры

воздушной среды. Эмбриональное развитие не нарушается, если действие низкой температуры непродолжительное или её снижение небольшое. Снижение температуры до 20 °С в течение суток на любой стадии инкубации не уменьшает заметно выводимость. Кратковременные быстрые охлаждения яиц при повышенной температуре в инкубаторе после замыкания аллантаоиса положительно влияют на эмбриогенез.

С уровнем температуры воздуха связана продолжительность инкубации. В диапазоне 36,6–38,5 °С чем выше температура воздуха, тем короче срок инкубирования. Время инкубирования куриных яиц можно сократить по крайней мере на сутки за счёт снижения выводимости.

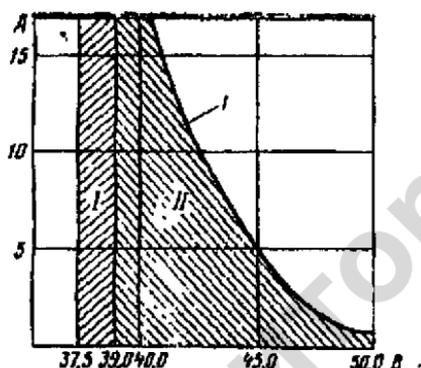


Рис. 4.80 Летальные экспозиции для 16-дневных куриных эмбрионов: I — зона комфорта; II — зона потерь выводимости и качества молодняка; А — экспозиция, ч; В — температура, °С; I — смертность 100%

Существует диапазон температур воздуха, внутри которого вариации этого параметра не влияют на выводимость. Нижняя граница неблагоприятной температуры с первого по восьмой день инкубации лежит около $37,5^{\circ}\text{C}$, а в дальнейшем — около $37,2^{\circ}\text{C}$. Верхняя граница изменчива, но не превышает $38,3^{\circ}\text{C}$ на 18-ый день инкубации и $38,7^{\circ}\text{C}$ перед выборкой цыплят (рис. 4.80).

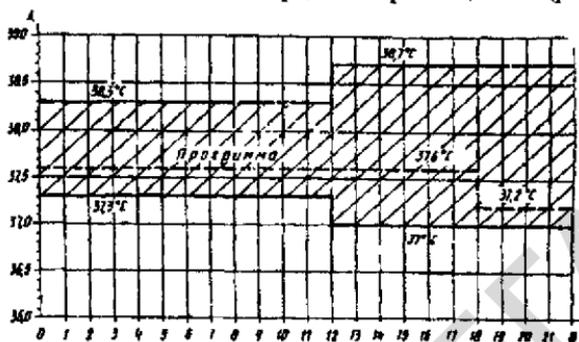


Рис. 4.80 Схема оптимальных температурных полей в промышленных инкубаторах: А — температура, $^{\circ}\text{C}$; В — сутки инкубации

Влияние относительной влажности воздуха на результаты инкубации. Реальный диапазон относительной влажности воздуха, при которой происходит инкубация яиц сельскохозяйственной птицы в промышленных инкубаторах, с учётом ошибок настройки, регулирования этого параметра превышает 20% (относительная влажность воздуха от 40 до 60%).

Данные, накопленные при испытаниях промышленных инкубаторов, совершенно определённо указывают на то, что относительная влажность воздуха второстепенный по сравнению с температурой, слабо воздействующий на результаты инкубации фактор, если она изменяется в оговоренных выше пределах. Это хорошо согласуется с тем, что мы знаем об условиях насиживания в естественных условиях: потовые железы у птицы отсутствуют, колебания влажности в гнезде очень велики и целиком определяются климатическим фоном, птицы успешно справляются с насиживанием в пустынях и влажных тропических лесах.

Стригательное влияние относительной влажности воздуха на результаты инкубации прослеживаются в том случае, когда на всём протяжении эмбрионального развития действующее значение параметра ниже 40% (низкая влажность) или выше 70% (высокая влажность).

При высокой относительной влажности воздуха увеличивается прежде всего опасность плесневого поражения инкубационных яиц, резко возрастает число «тумаков».

Низкая влажность воздуха в начале инкубации вызывает большие потери воды яйцами и повышает смертность зародышей. Наклёв и вывод начинаются преждевременно, но вывод затруднен, т.к. подскорлупные оболочки сухие и прочные. Выведенный молодняк мелкий, подвижный, хорошо опушен.

Уровень относительной влажности воздуха влияет на температурный режим инкубации, особенно в инкубаторах с воздушным охлаждением. Эффективность воздушного охлаждения возрастает с повышением относительной влажности воздуха, т.к. увеличивается его теплосодержание.

Влияние концентрации двуокиси углерода в воздухе инкубатора на результаты инкубации. При постоянном на всём протяжении инкубационного периода воздействии концентрации углекислого газа, превышающие 0,5%, угнетают рост и развитие эмбрионов. Выводимость снижается примерно на 15%, если с первого дня инкубации поддерживать концентрацию CO_2 на уровне 1% (контроль — 0,3%). При 5% CO_2 смертность эмбрионов достигает 100%.

Чувствительность эмбрионов к уровню углекислого газа разная на разных стадиях эмбрионального развития: в первые 96 часов инкубации она высокая, в дальнейшем эмбрионы проявляют хорошую устойчивость к воздействию этого фактора. Пороговые концентрации для большей части эмбрионального периода настолько высокие, что не могут быть достигнуты без введения дополнительных количеств CO_2 в объём инкубатора.

В выводной период высокая концентрация углекислого газа играет положительную роль в эмбриогенезе: она синхронизирует процесс наклёва и вывода, на 1–2% увеличивает выводимость, но главное, обеспечивает лучшее качество суточного молодняка, т.к. атмосфера, насыщенная углекислым газом подавляет двигательную активность цыплят, сохраняет и массу, уменьшает травматизм.

«Инкубаторы. Технические требования» устанавливает, что концентрация CO_2 не должна превышать 0,5% при порционной загрузке инкубационной машины и 1,0% при единовременной. В выводных инкубаторах концентрация CO_2 может достигать 2%.

Инкубация птицы происходит в инкубатории. Инкубаторий представляет собой отапливаемое помещение с относительно стабильной температурой θ , около 22 °С зимой и до 26 °С летом.

В помещении устанавливаются инкубационные и выводные шкафы. Выводные шкафы комплектуются на три или шесть инкубационных. Основной процесс инкубации происходит в инкубационных камерах, оборудованных поворотными лотками, в которых укладываются яйца. За три дня до вывода цыплят лотки переставляются в выходные шкафы, которые не имеют поворота лотков. В остальном устройство инкубационных и выводных камер аналогичное. Они представляют собой климатические шкафы размерами 5280×2730×2230 мм (инкубационный) и 1730×2730×2230 мм (выводной) с теплоизоляционными стенками, выполненными из рамы (сухое дерево, ель толщиной 70 мм), облицованной снаружи листовой пластмассой, внутри пенопласт ПВ-1, а изнутри — оцинкованным железом, имеющую два вентиляционных отверстия (приточное — на задней стенке и вытяжное — в потолке передней части с регулирующей заслонкой \varnothing 100 мм). Шкаф оборудован вентилятором, обеспечивающим равномерное перемешивание воздуха и равномерность температурно-влажностных полей, а также засасывание свежего

номерность температурно-влажностных полей, а также засасывание свежего воздуха в камеру через приточное отверстие и выброс загрязненного воздуха.

Для поддержания требуемых параметров микроклимата в инкубаторе предусмотрены системы обогрева и увлажнения (рис. 4.81). В систему обогрева входят электронагревательные элементы мощностью 20 кВт.

✓ Технологический эффект процесса инкубации обусловлен качеством закладываемых в инкубационный шкаф яиц и качеством управления процессом инкубации. Производственный опыт показывает, что при выполнении технологических требований вывод цыплят составляет 80–81% от количества заложённых в инкубационную камеру яиц.

Обмен воздуха в инкубаторе должен обеспечивать удаление углекислого газа для сохранения кислородного баланса.

Воздухообмен в инкубаторе обеспечивается вентилятором с постоянной частотой вращения. Величина воздухообмена регулируется вручную установкой положений заслонок. Заслонки на приточном и вытяжном отверстии связаны между собой тягами таким образом, чтобы изменения положения одной заслонки вызывало такое же положение другой заслонки.

В первый день инкубации устанавливается минимально допустимый воздухообмен. На 8–10-ый день воздухообмен увеличивается.

Конструкция вентиляционной системы обеспечивает равномерность температурно-влажностных полей, внутри шкафа в пределах допуска.

Вентилятор включен постоянно в процессе инкубации птицы. При открытых дверях вентилятор и нагревательные элементы отключаются конечным выключателем SQ1 (рис. 4.82).

Процесс инкубации яиц идет с выделением тепла и углекислого газа инкубационным яйцом. Температура яиц является труднодоступной для контроля, поэтому в качестве регулируемой величины принимается температура в камере.

Регулирующее воздействие в инкубационном шкафу осуществляется электронагревателями, мощность которых можно определить после решения уравнения теплового баланса и проведения анализа возмущающих воздействий.

При стабилизированной температуре всасываемого в инкубатор воздуха основным возмущающим воздействием является тепловыделение яиц. В первые дни инкубации тепловыделения настолько малы, что их не хватает на испарения выделяющейся влаги, и тепло, необходимое для изменения агрегатного состояния воды, изымается частично или полностью из окружающей среды. Лишь на седьмые сутки (для кур) или 11–12 сутки (для уток, гусей) испарение влаги может происходить за счет собственного биологического тепла, и начиная с этого момента инкубационные яйца могут отдавать излишки теплоты воздуху. Таким образом, мощность нагревательных элементов рассчитана на обеспечение температурного режима в начальный период инкубации. На седьмые сутки (для кур) или 11–12 сутки (для уток, гусей) воздухообмен в инкубаторе увеличивается перестановкой заслонки, что позволяет отводить избытки тепла на подогрев дополнительно поступившего внутрь воздуха и «облегчить» работу регулирующего прибора.

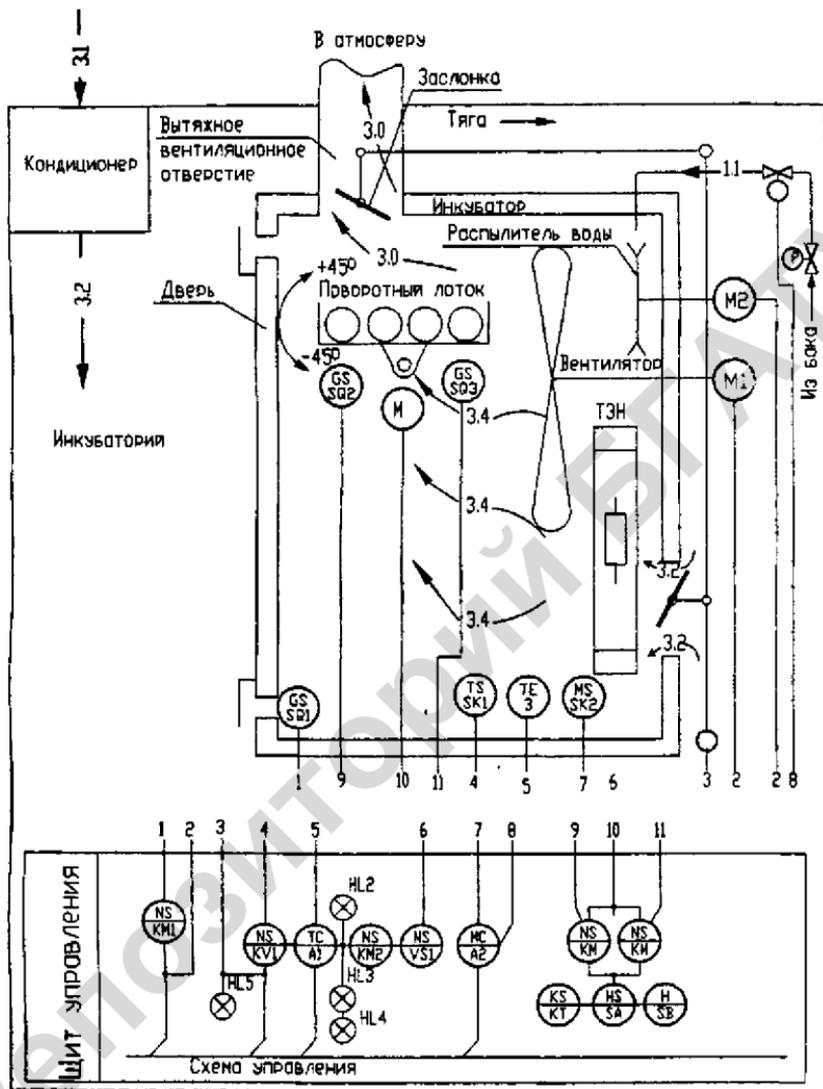
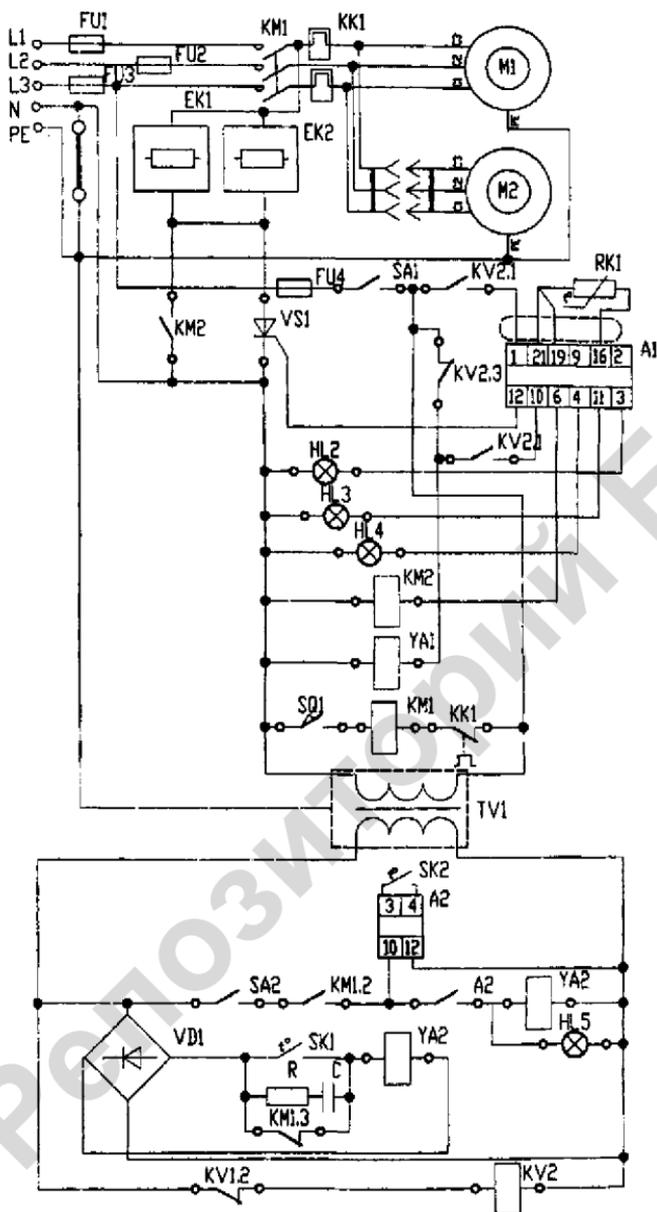


Рис. 4.81 Схема автоматизации инкубатора



Электродвигатель вентилятора	
Электропривод дросселя	
Регулятор температуры	Датчик температуры
	Трёхпозиционный регулятор РТИЗ
	Температурная индикация
	Охлаждение
Реле блокировки тиристора	Норма
	Разогрев
Соленоида охлаждения	
Управление вентиляторами	
Понижающий трансформатор	
Влажностерегулятор	Датчик
	Привод клапана
Защита превышения температуры свыше 38,3°C	
Размножение контактов	

Рис. 4.82 Принципиальная электрическая схема управления температурно-влажностным режимом инкубатора

Температурным режимом управляют при помощи трехпозиционного терморегулятора РТИ-35 с платиновым датчиком типа ТСП.

В автоматическом режиме при снижении температуры в камере терморегулятор (рис. 4.82) посылает сигнал на открытие тиристора *VS1*. Электрическое напряжение равное половине номинального, поступает на обогревательные элементы *EK1* и *EK2*. При дальнейшем снижении температуры терморегулятор подает напряжение на катушку магнитного пускателя *KM2*, который своими контактами шунтирует тиристор и подает на нагревательные элементы полное напряжение. При повышении температуры в шкафу сначала отключается *KM2*, а затем посылается сигнал, запирающий тиристор. Если температура превышает 38,3 °С, замыкается контакт термореле *SK1* и включает реле *KV1*, которое отключит промежуточное реле *KV2*, а соответственно и регулирующий прибор *A1* и включит соленоид охлаждения *YA1*, который полностью открывает заслонку и увеличивает дополнительное поступление более холодного воздуха в камеру, при этом включается световая и звуковая аварийная сигнализация, а также местная световая.

При снижении влажности воздуха (на 3%) влагорегулятор *A2* включает соленоид *YA2* и подает воду на диск механического распылителя с электроприводом *M2*. При этом загорается сигнальная лампа *HL5*. Световая сигнализация *HL4* показывает «Разогрев», *HL3* — «Температура в норме», *HL2* — «Охлаждение».

Поворот лотков осуществляется общим механизмом на три шкафа, приводимым в движение реверсивным электроприводом. Поворотом лотков управляют при помощи реле времени, которое в сочетании с двумя конечными выключателями выполняет челночный поворот вала на угол $\pm 45^\circ$. Автоматическое управление дублируется ручным.

4.8 Автоматизация энергоснабжения

Под энергоснабжением понимается надежное и бесперебойное обеспечение сельских потребителей электрической энергией, газом, горячим воздухом и водой, паром и холодом.

4.8.1 Автоматизация котлоагрегатов

Тепловая энергия в общем потреблении энергии сельским хозяйством составляет 60–80%. Она расходуется на отопление жилых, производственных и животноводческих помещений, приготовление пищи и корма, подогрев воды и получения пара, подогрев почвы и воздуха в сооружениях защищенного грунта и т.д.

Теплоснабжение сельского хозяйства осуществляется в основном от огневых котельных и отдельных котлов низкого давления, теплогенераторов и электронагревательных установок.

Основные котлы и теплогенераторы в сельском хозяйстве используются весьма широко, несмотря на их значительную металлоемкость и повышенную себестоимость тепловой энергии, большие потери теплоты при ее передаче от котельной к потребителям и высокую пожароопасность, высокую загрязненность отходами и трудности с автоматизацией. Повсеместный переход на теплоснабжение от электроустановок в существенной мере устраняет указанные недостатки, но сдерживается дефицитом электрической энергии и малой пропускной способностью сельских распределительных электросетей. Автоматизация огневых котлов и теплогенераторов существенно облегчает труд операторов и частично их сокращает, повышает надежность и оперативность работы оборудования и снижает себестоимость получаемой теплоты, уменьшает на 10% расход топлива. В то же время есть ряд потребителей теплоты, которые получают теплоснабжение только от электрической энергии, например, инкубатории, электросварочные установки, установки локального обогрева молодняка птицы и животных, электрокалориферы и электроплиты.

В сельском хозяйстве используются ряд огневых паровых котлов паропроизводительностью от 200 до 4000 кг/ч, давлением от 0,1 до 1,3 МПа, температурой от 110 до 190 °С.

В котельных тепличных комбинатов устанавливают пароводяные котлы. Эти котлы в водогрейном режиме подогревают воду до температуры от 70 до 95 °С, для обогрева теплиц, а в паровом режиме вырабатывают пар давлением 0,2 МПа температурой ≈ 130 °С для пропаривания почвы и собственных нужд.

В разное время для управления процессами образования горячей воды и пара в котлоагрегатах использовались такие комплекты средств автоматизации, как: ПМА, АГОК-66, АГК-2П, АМК, АМКО, «Кристалл», «Курс-101».

Опыт эксплуатации технических средств и САУ котлоагрегатов позволил выявить ненадежные узлы и системы. Развитие микроэлектроники и широкое применение ее изделий в промышленном производстве в устройствах и системах управления обеспечило разработку и внедрение унифицированных и более надежных систем управления котлоагрегатами.

Комплекты средств автоматизации паровых и водогрейных котлов предназначены для автоматизации паровых и водогрейных котлов производительностью от 0,2 до 35 мВт, работающих на газообразном, жидком и твердом топливе.

Комплекты средств автоматизации (КСУ) обеспечивают реализацию функций защиты, сигнализации, регулирования, контроля, программное управление пуско-остановочными операциями, связь с устройствами верхнего уровня иерархии управления и т.д.

КСУ отличаются блочно-модульным принципом исполнения, возможностью самоконтроля и диагностирования изделия и другими особенностями, обеспечивающими высокую надежность изделия.

Серийно выпускаемые и готовящиеся к выпуску модификации КСУ предназначены для следующих котлов:

- КСУ2П, КСУМ2П — для одnogорелочных паровых котлов производительностью 0,25–2,5 т/ч, работающих на газе (индекс Г) и жидком топливе (индекс Ж);
- КСУ-ДКВР — для двухгорелочных паровых котлов производительностью 2,5–20 т/ч (ДКВР и др.) с уравновешенной тягой, естественной циркуляцией, газомазутными паромеханическими горелками;
- КСУ1, КСУМ1 — для одnogорелочных водогрейных котлов, мощностью 0,5–3,5 мВт (Братск, Энергия, ВК и др.), работающих на газе и жидком топливе;
- 1КСУ-ГМ — для водогрейных котлов типа КМ-М мощностью до 35 мВт с одной газомазутной горелкой и уравновешенной тягой;
- 1КСУ-Т — для водогрейных котлов мощностью до 35 мВт, работающих на твердом топливе, с уравновешенной тягой и механизированной топкой.

Комплекты КСУ выпускаются в различных исполнениях, предназначенных для котлов, работающих под наддувом, с естественной вентиляцией и тягой, с уравновешенной тягой, с механическими и ротационными форсунками.

Функции, выполняемые разными модификациями КСУ, приведены в табл. 4.16.

В комплекты КСУ входят *приборы регулирующие* и устройства системы «Контур-2» предназначены для тех же целей, что и системы «Контур», используемые ранее, и могут заменить их.

Таблица 4.16

Перечень функций управления, осуществляемых КСУ

Функция комплекта	Модификация						
	КС2П	КСУМ2П	КСУ-ДКВР	КСУ1	КСУМ1	1КСУ-ГМ	1КСУ-Т
Автоматический пуск и останов котла	+	+	+	+	+	+	
Дистанционный пуск (с блокировкой от ошибок оператора) и останов котла			+			+	+
Аварийная защита	+	+	+	+	+	+	+
Автоматическое регулирование	+	+	+	+	+	+	+
Световая сигнализация первопричины останова котла	+	+	+	+	+	+	+
Звуковая сигнализация об аварийном останове котла	+	+	+	+	+	+	+
Световая предупредительная сигнализация		+	+	+	+	+	+
Звуковая предупредительная сигнализация			+			+	+
Световая рабочая сигнализация о ходе технологического процесса	+	+	+	+	+	+	+
Формирование информационных сигналов на устройство управления верхнего уровня	+	+	+	+	+	+	+
Прием управляющих сигналов с устройства управления верхнего уровня		+	+	+	+	+	+
Контроль технологических параметров		+			+		

Прибор РС29 с аналого-релейным преобразованием заменяет приборы Р25 и К26, а прибор РС29 с аналого-релейным и динамическим преобразованием заменяет приборы Р25, К26 и К16.

Приборы РС29 совместно с исполнительными механизмами постоянной скорости формируют пропорционально-интегральный и пропорционально-интегрально-дифференциальный законы регулирования. Приборы подключаются к исполнительным механизмам с двухфазным двигателем без тормоза через усилитель У29.2, а к исполнительным механизмам с электромагнитным тормозом через магнитный пускатель или усилитель У29.3.

Основные данные для выбора прибора системы «Контур-2» и комплекующих к ним датчиков приведены в табл. 4.17.

Таблица 4.17

Основные характеристики регулирующих приборов системы «Контур-2»

Тип прибора	Вид входных сигналов и датчиков	Количество входных сигналов и датчиков
1	2	3
РС 29.0	Унифицированные сигналы постоянного тока 0–5 мА, 0–10 В, 0–0,1 В, 0–1 В	3 или 4
РС 29.1	То же и дифференциально-транспортные датчики	3 или 4
РС 29.2	Унифицированные сигналы 0–5 мА, 0–10 В и термопреобразователи сопротивления гр. 50 М, 100 М или 23	3
РС 29.3	Унифицированные сигналы 0–5 мА, 0–10 В и термоэлектрические преобразователи РГ ХК и ХА	

Перечень регулируемых параметров и использованных законов регулирования приведен в табл. 4.18.

Таблица 4.18

Перечень регулируемых параметров

Регулируемый параметр	КС2П	КСУМ2П	КСУ-ДКВР	КСУ1	КСУМ1	КСУ-ГМ	КСУ-Т
Производительность	ПЗ	ПЗ	ПИ	ПЗ	ПЗ	ПИ	ПИ
Расход воздуха			ПИ			ПИ	ПИ
Разрежение в топке		ПЗ	ПИ		ПЗ	ПИ	ПИ
Температура мазута	ПЗ			ПЗ			
Уровень воды в барабане	ПЗ	ПЗ	ПЗ, ПИ				
Температура воды, поступающей в сеть						ПИ	
Расход воды через котел						ПИ	
ПЗ, ПИ — позиционный и пропорционально-интегральный закон регулирования							

Комплекты реализованы на элементах положительной логики.

Комплектные устройства работают совместно со следующими устройствами:

- контактными датчиками общепромышленного назначения (ДНТ-100, ДН-600, ЭКМ-IV, ДСП-72 (Сг, ТПГ-СК и т.д.);
- запально-защитными устройствами ЗЗУ-4;
- механизмами электрическими однооборотными МЭО;
- исполнительными механизмами электромагнитными.

Непрерывные регуляторы, реализующие ПИ-закон регулирования, выполнены на блоках агрегативного комплекса электрических средств регулирования АКЭСР.

При комплексной автоматизации котельных необходимо выполнять комплекс защитных устройств, входящих в так называемую *автоматику безопасности*.

Рассмотрим действие такой автоматики на примере системы «Кристалл». В аварийном, или близком к аварийному режиму происходит отсечка подачи топлива при помощи клапана ЦАУ2, если произошло одно из следующих нарушений: упало или повысилось давление в системах подачи топлива или воздуха, упало разрежение в топке, повысилось давление пара, понизился или повысился уровень воды в барабане, погасло пламя в топке. Для этого котел оборудуют соответствующими датчиками безопасности: давления газа или жидкообразного топлива $SP_{г}$, воздуха $SP_{в}$, разрежения газов в топке $SP_{г}$, давления пара $SP_{п}$, верхнего $SL_{в}$ и нижнего $SL_{п}$ уровней воды в барабане котла, наличия пламени ЗЗУ (рис. 4.83).

Схема управления котла ДКВР и его защиты. При подаче на схему напряжения срабатывает только реле $KV5$ через замкнутый контакт датчика $SP_{п}$, остальные реле сигнализации отключены. Переводом переключателя $SA1$ в нормальное предпусковое положение «Н» включают реле блокировки KB и реле выдержки времени $KT2$, исключающие ложное срабатывание реле защиты $KV1-KV6$ из-за срабатывания датчиков вследствие колебаний контролируемых параметров в период подготовки котла к пуску. Затем оператор кнопочными постами включает питательный насос, заполняющий барабан водой, дымосос, дутьевой вентилятор, продувку топливопроводов (на рис. 4.84 эти элементы не показаны).

По мере достижения указанными параметрами заданных значений срабатывают датчики $SL_{п}$, $SL_{в}$, $SP_{г}$, $SP_{в}$, и включают соответственно реле $KV6$, $KV3$ и $KV2$. Для розжига топки от запальников переключатель $SA1$ переводят в положение П — «Пуск», при котором срабатывают реле выдержки времени $KT1$ по цепи K (из схемы управления дымососом), $KV2:1$, $KV3:1$ и $KV6:1$; электромагнит $YA1$ клапана топлива на запальнике и электроискровой зажигатель $З$ (рис. 4.83). Одновременно отключаются реле KB и $KT2$, но реле KB вновь включается замыкающими контактами $KV1:3$.

Далее переключатель $SA1$ переводят в положение В — «Включено» и вручную полностью открывают электромагнит $YA2$ отсечного клапана на топливопроводе.

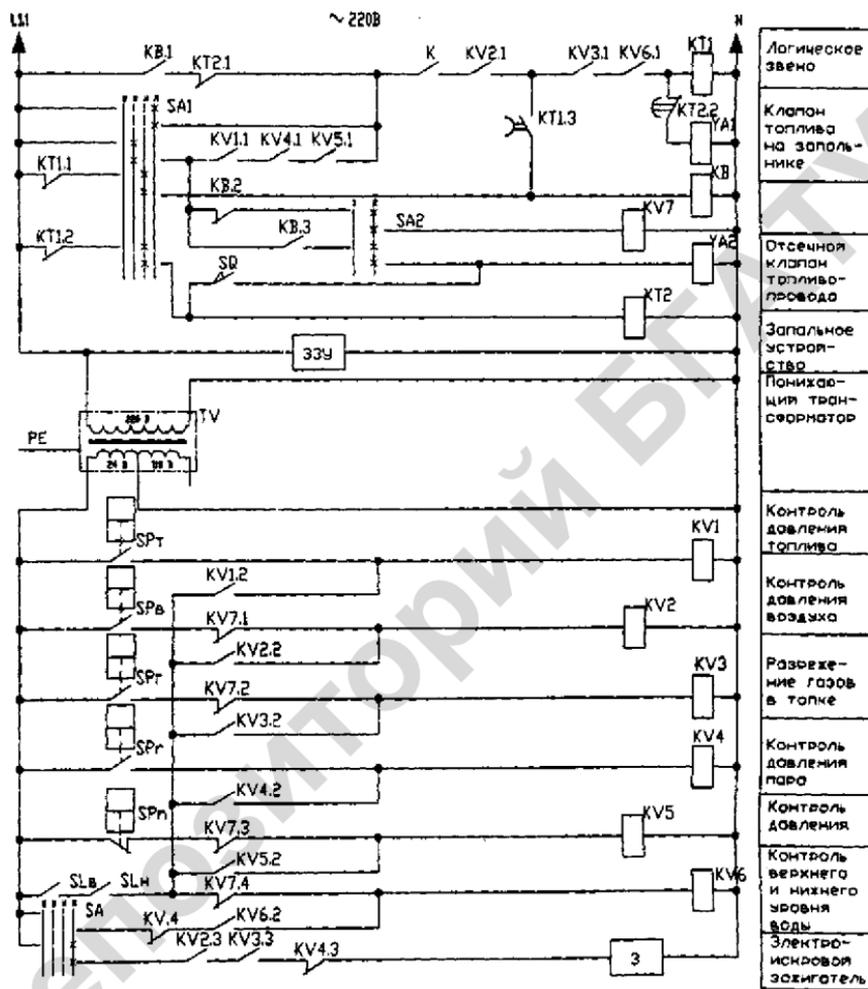


Рис. 4.83 Принципиальная электрическая схема управления котлоагрегатом и его защиты

При этом замыкаются контакты *SQ*. Одновременно срабатывает реле *KT2*, которое с выдержкой времени снимает напряжение с пускового электромагнита *YA1*, и последний закрывается. На этом пуск заканчивается.

Для нормального останова переводят переключатель *SA1* в положение *O* — «Отключено». Аварийный останов происходит при срабатывании соответствующих защит. Например, при снижении давления воздуха за дутьевым вентилятором размыкаются контакты *SP*, датчика давления, и реле *KV2* отключается. Затем отключаются другие элементы схемы.

Особенность системы световой сигнализации котельных установок — высвечивание табло с обозначением параметра аварийного отключения, что облегчает ремонтной бригаде поиск причины аварийного отключения (цели аварийной сигнализации на рис. 4.83 не показаны).

Автоматизация процесса производства пара. Исходным сырьем парового котла служат топливо, дутьевой воздух и питательная вода. Полученная при сжигании топлива энергия передается питательной воде, в результате чего вырабатывается перегретый пар. Отходы — охлажденные дымовые газы — выбрасываются в атмосферу.

Схема парового котла барабанного типа, которые наиболее распространены на предприятиях приведена на рис. 4.84. Топливо, как правило, мазут, поступает в смеси с воздухом через горелочное устройство в топку и горит в виде факела. Воздух нагнетается с помощью дутьевого вентилятора. Продукты горения — раскаленные дымовые газы, проходя через дымоходы, отдают тепло различным поверхностям теплопередачи и выбрасываются дымососом в дымовую трубу. Питательная вода, нагретая в водяном экономайзере, предварительно очищенная от накипеобразующих примесей и растворенного в ней воздуха, подается в барабан, вмурованный в топку котла. Вода испаряется в трубах, экранирующих топку изнутри. Насыщенный пар собирается в барабане над поверхностью воды и поступает в пароперегреватель, предназначенный для испарения брызг воды, содержащихся в насыщенном паре, и доведения его температуры до заданного значения.

Основными выходными величинами парового котла, характеризующими качество работы, являются давление, температура и расход перегретого пара, расход топлива и питательной воды. Эти показатели зависят от многих входных и промежуточных величин, таких, как химический состав питательной воды, калорийность топлива, давление дутьевого воздуха, разрежение в топке и дымоходе перед дымососом, уровень воды в барабане, и многих других факторов.

Наилучшие условия протекания процесса получения перегретого пара в паровом котле барабанного типа создаются путем стабилизации уровня воды в барабане и разрежения в топке, дозирования топлива и воздуха, стабилизации соледержания воды в барабане.

Отклонение уровня воды в барабане от номинального значения в сторону понижения может вызвать перегрев барабана и экранных труб, что связано с нарушением их прочности.

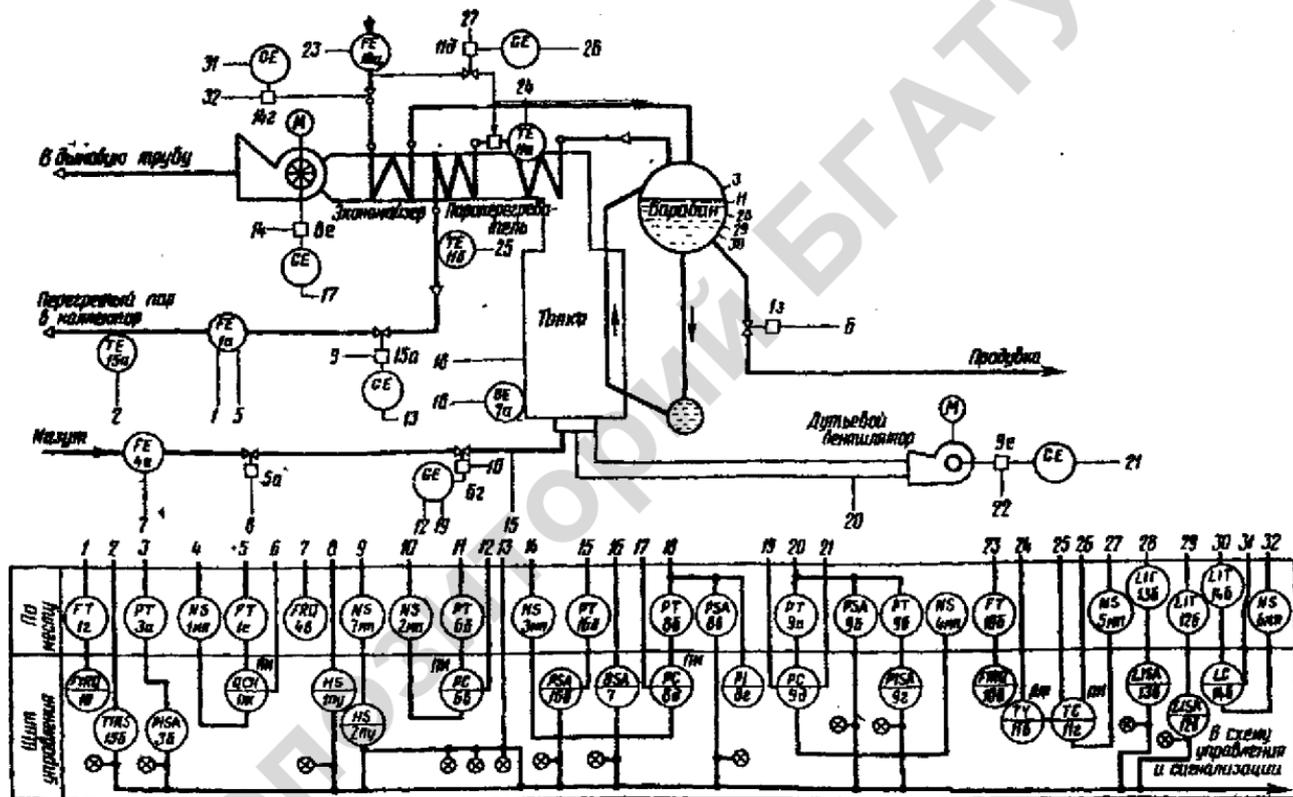


Рис. 4.84 Схема автоматизации котельного агрегата

При избыточном уровне воды произойдет чрезмерное увлажнение пара, не позволяющее поддерживать параметры перегретого пара на уровне, обеспечивающем работу паровой турбины.

Недостаточное разрежение в топке ухудшает конвективный теплообмен в топке и дымоходах из-за небольшой скорости дымовых газов и загрязнения поверхностей теплообмена. Повышенное разрежение ухудшает радиационный теплообмен из-за быстрого удаления продуктов горения и может привести даже к отрыву факела от горелочного устройства. Недостаток топлива, подаваемого к горелкам, приводит к снижению паропроизводительности котла, а избыток топлива — к недопустимому повышению давления в барабане, срабатыванию предохранительных клапанов и перерасходу топлива.

Количество воздуха, нагнетаемого в топку, должно соответствовать количеству топлива. В противном случае либо топливо будет сгорать не полностью при недостатке воздуха, либо температура топочных газов понизится вследствие избытка воздуха. При повышении солесодержания в котловой воде ускоряется образование накипи, ухудшающее теплопередачу. Понижение солесодержания связано с перерасходом питательной воды.

Рассмотрение особенностей процессов сгорания топлива, тепло- и массообмена, протекающих в барабанном паровом котле, позволяет сформулировать основные требования к его автоматизации: *стабильность уровня воды в барабане, поддержание заданных параметров перегретого пара, стабилизация разрежения в топке и дымоходе, поддержание заданного избытка воздуха для сжигания топлива.*

Барабанный паровой котел как объект автоматического регулирования характеризуется рядом свойств, осложняющих его автоматизацию. Это в первую очередь большое количество взаимосвязанных входных и промежуточных параметров, во-вторых, наличие глубоких возмущений по расходу пара, отбираемого потребителями, и, в-третьих, это высокие требования, предъявляемые к точности поддержания выходных и промежуточных величин, к надежности работы средств автоматизации.

Взаимосвязанность входных и промежуточных параметров определяется необходимостью поддержания теплового и материального балансов в процессе взаимодействия котельного агрегата и паровой турбины. Количество сжигаемого топлива должно соответствовать количеству вырабатываемого пара, которое в свою очередь должно соответствовать расходу пара, потребляемого паровой турбиной. Для экономичного сжигания необходимо поддерживать постоянным соотношение расходов топлива и дутьевого воздуха, а также обеспечить устойчивый факел в топке.

Нарушения теплового и материального балансов могут привести к значительным отклонениям параметров работы котельного агрегата от номинального режима, что создает опасность аварии и даже разрушения оборудования, угрозу здоровью обслуживающего персонала. Для защиты котлоагрегата и турбины от аварийных режимов необходимо предусматривать меры, позволяющие либо привести в допустимые пределы отклонившийся

от нормы параметр, либо приостановить процессы горения и парообразования. К таким аварийным и предаварийным режимам относятся, например, повышение давления в барабане котла, снижение и повышение уровня воды в барабане, понижение и повышение температуры перегрева пара, потускнение и погасание факела, останов дымососа и др.

Рассмотрим систему автоматизации барабанных котлов небольшой мощности типа ДКВР или ДКЕ, распространенных на предприятиях пищевой промышленности.

Схема автоматизации котельного агрегата приведена на рис. 4.84.

Автоматическое регулирование уровня воды в барабане котла осуществляется путем изменения расхода питательной воды, подаваемой в барабан. Уровень питательной воды измеряется дифманометром ДМ 146 с дифференциально-трансформаторным преобразователем. Регулирующий прибор 14в типа Р25.1.2 воспринимает сигнал и включает и выключает магнитный пускатель управления электродвигателем исполнительного механизма 14г типа МЭОК задвижки на трубопроводе подачи питательной воды. Длительность импульсов и промежутков между импульсами зависит от значений параметров настройки регулирующего прибора и от величины отклонения уровня от заданного значения. Так как динамические свойства канала расход питательной воды — уровень в барабане описываются уравнением интегрирующего звена, для увеличения запаса устойчивости в АСР регулирования уровня введена отрицательная обратная связь по положению регулирующего органа, переставляемого исполнительным механизмом 14г.

Автоматическое регулирование давления пара в барабане осуществляется с целью поддержания теплового и материального балансов котельного агрегата путем воздействия на расход топлива, как правило, мазута. Давление пара измеряется манометром МЭД 6б с дифференциально-трансформаторной передачей и подается на вход регулирующего прибора 6в. Регулирующее воздействие вводится в соответствии с ПИ-законом регулирования с помощью задвижки с электроприводом МЭОК 6г, установленной на трубопроводе подачи мазута к горелкам. Сигнал отрицательной обратной связи по положению регулирующего органа подается на вход регулятора 6в для увеличения запаса устойчивости.

Автоматическое регулирование температуры перегретого пара после второй ступени пароперегревателя осуществляется путем воздействия на расход впрыскиваемой после первой ступени воды. Высокие требования, предъявляемые к точности регулирования выходного параметра, наличие большого количества глубоких возмущающих воздействий и малая инерционность каналов «возмущение — выход» приводят к необходимости создания многоконтурной АСР температуры перегретого пара. В таких системах, как правило, применяют как принцип регулирования по возмущению, так и по отклонению регулируемой величины.

В рассматриваемой системе регулирующий прибор Р25.3.2 11г воспринимает сигнал о возмущении — величине и скорости изменения температуры на выходе из 2-й ступени пароперегревателя — и вводит стабилизи-

рующее воздействие путем изменения расхода впрыскиваемой воды. Так как этого воздействия при продолжительном возмущении одного знака недостаточно для обеспечения точности поддержания выходной величины, регулирующий блок *11г* вырабатывает корректирующее воздействие в зависимости от отклонения выходной величины от задания на тот же вход объекта с помощью того же регулирующего органа — задвижки с электроприводом *11д* типа МЭОК, установленной на трубопроводе подачи впрыскиваемой воды. Температура перегретого пара измеряется термометрами *11а* и *11б* типа ТХК-0515. Дифференцирующее устройство *11е* типа К16.3.2 вводит в сигнал, пропорциональный температуре перегретого пара после первой ступени, составляющую, пропорциональную скорости изменения этой величины.

Расход дутьевого воздуха регулируют путем воздействия на производительность дутьевого вентилятора с целью поддержания наиболее экономичных условий процесса горения топлива. Эти условия достигаются при стабилизации соотношения расходов топлива и воздуха.

С достаточной для практики точностью о расходах топлива и воздуха можно судить по положению исполнительных механизмов — электроприводов МЭОК *бг* — задвижки на трубопроводе подачи мазута и *9е* — направляющего аппарата дутьевого вентилятора. Регулирующий блок Р25.3.2 *9д* воспринимает сигналы датчиков перемещения регулирующих органов *бг* и *9е* и вырабатывает дискретный выходной сигнал, воздействующий на исполнительный механизм *9е*. Для увеличения запаса устойчивости в АСР соотношения расходов топлива и воздуха введена отрицательная обратная связь по давлению дутьевого воздуха после вентилятора. Давление воздуха измеряется дифференциальным тягомером ДТ-2-300 с дифференциально-трансформаторным преобразователем.

Автоматическое регулирование разрежения в верхней части топочной камеры осуществляется путем перемещения направляющего аппарата дымоcoca. Разрежение измеряется дифференциальным тягомером типа ДТ-2-50. Электрический сигнал, пропорциональный изменению разрежения, преобразуется регулирующим блоком в соответствии с ПИ-законом регулирования в дискретный выходной сигнал, воздействующий на исполнительный механизм МЭОК *8а*.

АСР соледержания котловой воды построена с использованием принципа регулирования по возмущению. Такой подход обоснован тем, что при постоянном соледержании питательной воды количество накипеобразующих солей в барабане котла находится в прямой зависимости от расхода отбираемого из барабана пара. Сигнал, пропорциональный расходу перегретого пара, измеренного комплектом из камерной диафрагмы ДК 40 — 150 *1а*, конденсационных сосудов СКМ *1в* и дифманометра ДМ *1е*, поступает на вход регулирующего блока Р25.1.2 *1ж*. Регулирующее воздействие вводится с помощью исполнительного механизма МЭОК *1з* задвижки, установленной на трубопроводе непрерывной продувки барабана. Для обеспечения статического закона регулирования в АСР введена отрицательная обрат-

ная связь по положению регулирующего органа. Автоматический контроль основных входных, промежуточных и выходных параметров позволяет осуществлять учет расходов топлива, питательной воды и перегретого пара, оценивать правильность проведения процессов горения и парообразования.

Расход перегретого пара и питательной воды измеряется камерными диафрагмами ДК40 1а, 10а в комплекте с мембранными дифманометрами ДМ 1г и 10б. Вторичные дифференциально-трансформаторные приборы КСД 1д и 10в записывают текущие значения расходов на круговую диафрагму и подсчитывают с помощью интегратора суммарное количество прошедшего через сужающее устройство вещества.

Расход мазута измеряется комплектом расходомера в составе сужающего устройства — сопла «четверть круга» 4а и соединенного с ним через разделительные сосуды 4б сильфонного самопишущего дифманометра ДСС-712Н 4в. Суммарное количество мазута определяется с помощью встроенного интегратора.

Давление пара в барабане и мазута перед горелками измеряется манометрами МЭД 3а и 1бб с дифференциально-трансформаторной передачей в комплекте с вторичными показывающими и сигнализирующими приборами КПД1 3б, 1бв.

Температура перегретого пара перед коллектором ТЭС измеряется термоларой ТХК0515 15а и записывается на диаграмме вторичного прибора КСП-2 15б с сигнализирующим устройством. Системы сигнализации и блокировки, предусмотренные в схеме автоматизации, обеспечивают безопасность работы котельного агрегата, связанного с ним оборудования и обслуживающего персонала ТЭС путем прекращения процесса горения в тех случаях, когда автоматические системы и оператор не справились с задачей поддержания нормального режима работы котельной установки. Одновременно с блокировкой подаются световые и звуковые сигналы, оповещающие о нарушениях процесса.

Одно из основных условий безопасности работы — бесперебойная подача дутьевого воздуха. Сигнал об остановке электродвигателя дутьевого вентилятора, подтвержденный сигналом об отсутствии избыточного давления воздуха после вентилятора, приводит к срабатыванию цепей блокировки, прекращающих подачу топлива и отбор перегретого пара. Сигнал о падении давления дутьевого воздуха — замыкание контактов электрических цепей — вырабатывается датчиком-реле напора ДН-250-11 9б, установленным по месту. Для повышения надежности защиты сигнал о падении давления воздуха дублируется вторичным прибором КПД1 9г, работающим в комплекте с датчиком давления ДМ 9а.

Прекращение подачи топлива выполняется быстродействующим отсекающим электромагнитным клапаном СВМ 5а. Отбор перегретого пара прекращается с целью защиты паровой турбины от попадания в нее пара недостаточно высокого потенциала путем закрытия главной паровой задвижки исполнительным механизмом МЭОК 15а. Такая же блокировка осуществляется и при падении давления в трубопроводе подачи топлива к

горелкам. Сигнал о падении давления топлива вырабатывается вторичным прибором КПД1 16в, работающим в комплекте с датчиком давления МЭД 16б.

Существует еще ряд условий, невыполнение которых приводит к возникновению различного рода аварийных ситуаций. Это потускнение и погасание факела в топке, остановка дымососа и отсутствие разрежения в верхней части топки, снижение или повышение уровня в барабане котла, повышение давления пара в барабане или понижение температуры перегретого пара до предельно допустимых значений и др. В этих случаях системы блокировки прекращают процесс горения в топке путем остановки дутьевого вентилятора, что, в свою очередь, вызывает прекращение подачи топлива и отбора перегретого пара.

Сигнал о потускнении и погасании факела вырабатывается защитно-запальным устройством ЗЗУ-1 7а, б, чувствительные элементы которого — фотодиоды реагируют на изменение яркости свечения пламени. Сигнал о падении разрежения в топке вырабатывается датчиком-реле напора и тяги ДТН-100-11 8в, установленным по месту. Сигналы о снижении и повышении уровня в барабане котла вырабатываются вторичными приборами КСД-2 и КСП-1 12в и 13в, работающими в комплекте с дифманометрами ДМ 12б и 13б, измеряющими уровень воды в барабане. Дублирование приборов оправдано важностью контролируемого параметра. Давление в барабане измеряется манометром с дифференциально-трансформаторным преобразователем МЭД 3а. Вторичный прибор КПД-1 3б воспринимает непрерывный сигнал об изменении давления пара и вырабатывает дискретный электрический сигнал в виде замыкания контактов цепей блокировки при достижении предельно допустимого давления пара в барабане.

Сигнал о понижении температуры перегретого пара вырабатывается потенциометром 15б.

4.8.2 Автоматизация малых котлов

К ним относят паровые котлы Е-1/9, чугунные секционные паровые и водогрейные котлы «Энергия», «Универсал», «Минск», КВ-300, широко используемые в сельском хозяйстве.

Котлы Е-1/9-Г, работающие на газообразном топливе, полностью автоматизированы и поставляются комплектно с системой автоматики типа АМК. Система осуществляет автоматический пуск котла, защиту его при аварийных отклонениях основных параметров, сигнализацию этих отклонений, а также поддержание в заданных пределах подачи воздуха в топку в соответствии с подачей топлива, давления пара и уровня воды в барабане. Они работают с наддувом, поэтому регулирование разрежения не требуется. Требуемая точность поддержания регулируемых параметров обеспечивается двухпозиционными регуляторами, что связано с большой инерционностью котла. Для регулирования давления пара в системе автоматики предусмотрены два клапана: «малого» и «большого горения».

Регулятор уровня получает команду от двух электродов, установленных в уровнсмержной колонке.

Паровые котлы Е-1/9-Ж, работающие на легком жидком топливе, также комплектуются системой АМК, однако без соленоидных клапанов подачи топлива. Для поддержания давления, уровня и соотношения «топливо-воздух» предусмотрен дополнительный регулятор электронагревателя топливопровода.

Котлы Е-1/9, работающие на твердом топливе, оснащаются пультом управления, регулятором уровня воды в котле.

Секционные паровые и водогрейные котлы «Энергия», «Универсал», «Минск» часто оборудуются системой автоматического управления регулирования и защиты АМКО*, аналогичной системе АМК, но с общекотельным позиционным регулятором ПРП для поддержания температуры сетевой воды на выходе из котельной, либо давления пара в коллекторе.

Комплект автоматики КА широко используется для автоматизации работы сельскохозяйственных паровых котлов низкого давления, работающих на газообразном и жидком топливе, в открытых сетях теплоснабжения. Автоматика обеспечивает зажигание топливо-воздушной смеси, пропорциональное регулирование подачи топлива и воздуха, регулирование уровня воды в котле, остановку котла и сигнализацию аварийных режимов работы (затухание пламени, аварийное повышение давления пара в котле). Электрический регулятор горения состоит из электромагнитного (или соленоидного) клапана и подвижного диффузного распылителя, связанного с электромагнитом, изменяющего соотношение подачи топлива и воздуха.

Принципиальная схема управления котлом-парообразователем КВ-300М (рис. 4.85) включает: электроконтактный манометр SP, электродные датчики аварийного S1, верхнего SLн и нижнего SLl уровня воды в котле, реле K5 контроля пламени, высоковольтный трансформатор TV, переключатель режимов SA и S2, пускозащитную и световую арматуру.

Система автоматического управления предусматривает: запуск и остановку горелки, питание котла водой, регулирование расхода топлива и давления пара в котле, контроль горения факела топлива, защиту от аварийных режимов (утечка воды, превышение давления пара, затухание пламени).

Пуск и остановка агрегата — программным аппаратом автоматически в заданное время. Когда потребители не расходуют тепло, установка автоматически отключается.

4.8.3. Автоматизация теплогенераторов

Теплогенераторы предназначены для создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях, в теплицах и парниках, для предпускового нагрева двигателей тракторов и автомобилей, для досушивания сена, зерна, семян и т. п.

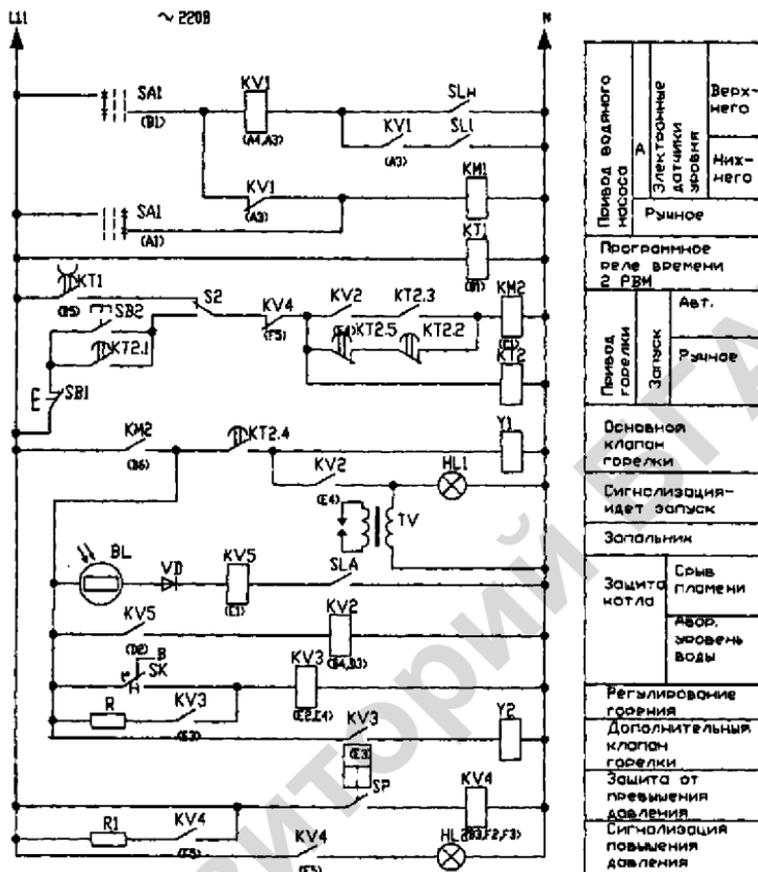


Рис. 4.85 Принципиальная электрическая схема управления котлом КВ-300М

Они представляют собой тепловые установки для нагревания воздуха непосредственно продуктами сгорания жидкого топлива, либо с использованием рекуперативного (поверхностного) теплообменника (типа ТГ, ВПГ), либо путем подмешивания воздуха продуктами сгорания (типа УТ).

Теплогенераторы состоят из следующих основных узлов: корпуса с камерной топкой, теплообменника (или без него), вентилятора воздуха, форсунки, станции управления и приборов контроля и защиты.

Технические характеристики, необходимые для выбора и расчета динамических свойств теплогенераторов, представлены в табл. 4.19. Зависимость технических характеристик от режима тепловой нагрузки теплогенератора на примере ТГ-800 представлена в табл. 4.20 и 4.21 (топливо-тракторный керосин; $Q_w^p = 425$ МДж/кг). Этими данными можно

воспользоваться для расчета средних статических характеристик (коэффициентов усиления) теплогенераторов. Например, коэффициент (средний) усиления ТГ-800 по расходу топлива $k_0 = 11,65$ кВт/кг/ч и т. д.

Основные динамические звенья структурной алгоритмической схемы теплового тракта теплогенераторов аналогичны описанным для водогрейных котлов, учитывая однако, что теплоносителем является не вода, а воздух.

Общую массу металла поверхностей нагрева можно принять равной 30–40% от общей массы теплогенераторов, приведенных в табл. 4.19.

Таблица 4.19

Марка	Тепловая мощность, кВт	Подача воздуха, м ³ /ч	Температура нагретого воздуха, °С	Тип вентилятора	Расход топлива, кг/ч	Масса, кг
ТГ-75	87,5	5300	60	Центробежный	8-9	530
ТГ-150	175	7400	78	То же	17-18	625
ТГ-1	117	5740	59	Осевой	12,4	340
ТГ-2,5	333	15430	52	То же	30	660
ТГП-400	117	6000	65	-//-	12,8	440
ТГП-1000	202	19000	50	-//-	30	890
ВПТ-400	250	25000	50	-//-	40	1000
ВПТ-600	358	40000	50	-//-	60	1400

Аналитические и экспериментальные исследования воздушнонагревателей показали, что в САУ они являются аperiodическими звеньями первого порядка с передаточной функцией

$$W_{\varphi}(P) = \frac{\Delta\theta_s(p)}{\Delta G_r(p)} = \frac{k}{TP+1} e^{-\tau p},$$

где θ_s — температура воздуха, °С;

G_r — расход топлива, кг/ч.

Динамические параметры различных воздушнонагревателей приведены в табл. 4.20 и 4.21.

Таблица 4.20

Наименование параметра	Режим тепловой нагрузки, %				
	100	87	83	75	70
Тепловая мощность, кВт	967	840	794	727	675
Подача вентилятора, тыс. м ³ /ч	31	28,1	24,6	22,6	20,8
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	30,4	26,9	25,7	23,6	20,5
Расход топлива, кг/ч	83	72	68	62	58
Температура, °С:					
нагретого воздуха	92	92	92	94	94
продуктов сгорания за камерой	420	410	402	302	302

Таблица 4.21

Воздухонагреватель	k , °С/кг	T , с	τ , с
1	2	3	4
К зерносушилке СЗС-8	1,3–1,45	150–200	1–3
К барабанной сушилке СЗСБ-8	2,2–2,5	145–185	2–4
К зерносушилке «Петкус»	2,5–2,7	600–720	30–50
Теплогенераторы:			
NU-800	1,3–1,5	70–90	1–2
ГТ-150	4,0–4,5	200–250	10–20

Воздухонагреватели, работающие на жидком и газообразном топливе, являются взрывоопасными установками, что связано с возможным накоплением в топке топливно-воздушной смеси и мгновенным ее воспламенением.

Исходя из технологических требований защиты и пуска воздухоподогревателей, к основным расчетным параметрам относятся: t_3 — время зажигания топливно-воздушной смеси; $t_{пр}$ — время продувки камеры сгорания до подачи топлива; $t_{п.т}$ — допустимое время подачи топлива при пуске (без взрыва); $t_{пр.з}$ — время прикрытия воздушной пусковой заслонки в период зажигания топлива; t_n — общее время пуска; $t_{ср}$, $t_{отп}$ — время срабатывания и отпускания устройств контроля и наличия пламени.

Нормальный режим пуска соответствует условиям:

$$t_n = t_{п.т} + t_{пр}$$

$$t_{пр.з} \leq t_{п.т}$$

$$t_{ср} \leq t_{п.т}$$

$$k_3 \geq t_{отп}$$

где k_3 — коэффициент запаса ($k_3 \geq 1$).

Основными параметрами системы защиты являются $t_{п.т}$ и $t_{пр}$, от которых зависят остальные.

Они рассчитываются следующим образом:

$$t_{п.т} = \frac{P_n V_T \rho_B \theta_B}{G_T \alpha \theta_r K_n}, \quad t_{пр} = \frac{V_T \rho_B n}{G_T \alpha}$$

где V_T — объем топочного пространства, м³;

ρ_B — плотность воздуха, кг³/м³;

θ_r и θ_B — температура топочных газов и наружного воздуха, °С;

G_T — расход топлива, кг/с;

α — коэффициент избытка воздуха;

K_n — коэффициент запаса прочности ($K_n = 1,3-1,5$).

Время срабатывания исполнительных устройств регулирующих органов подачи топлива и воздуха должно быть меньше $t_{п.г}$ и составлять не более 1–2 с.

Допустимыми пределами изменения α , обеспечивающие эффективное сгорание топлива прямого нагрева, можно считать $\alpha = 1,1-1,5$, а в топках непрямого нагрева — $\alpha = 1,2-1,4$.

Схема автоматизации и принципиальная электрическая схема теплогенератора ТГ показаны на рис. 4.86 и 4.87.

Схема управления теплогенератором предусматривает возможность его работы в трех режимах: отопление автоматическое, отопление ручное, вентиляция ручная.

В режиме автоматического отопления универсальные переключатели *SA1* и *SA2* ставят в положение *A*.

Когда температура в помещении в результате вентиляции снижается, замыкаются контакты терморегулятора *A* и получают питание реле времени *KT* и реле *KV1*, которое отключает магнитный пускатель *KM1* электровентилятора *M1*. Вентиляция помещения прекращается.

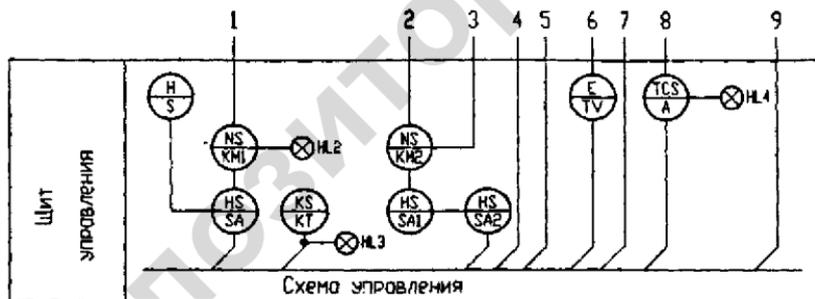
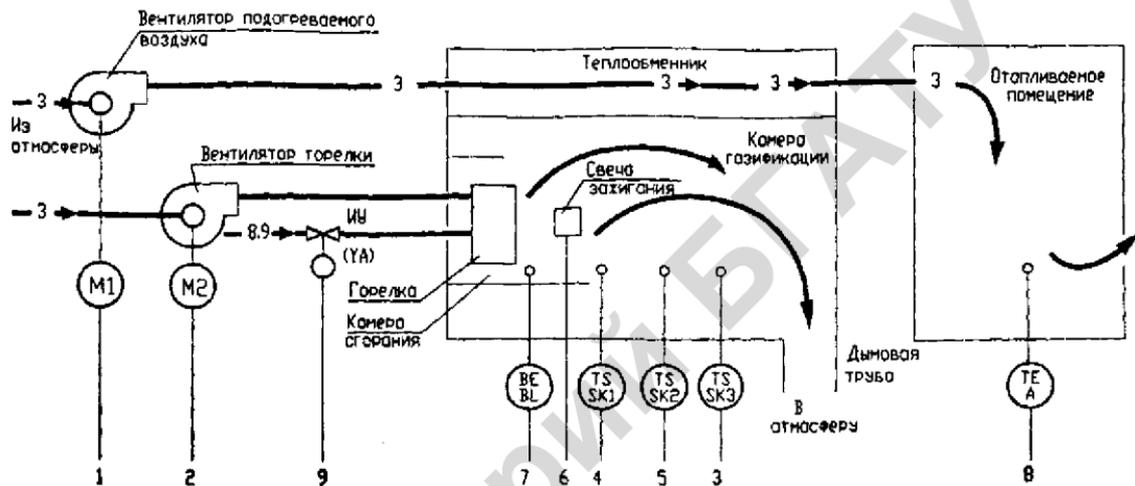
Через 5 с после включения реле времени замыкается его контакт *KT.4*, и магнитный пускатель *KM2* получает питание (по цепи — контакты *KT.3*, *KT.4*, *SA2*, *KT.1* и датчик температуры *SR3*). Включается двигатель вентилятора горелки *M2*, и начинается продувка камеры сгорания.

По истечении 20–25 с замыкаются контакты *KT.2* реле времени, и напряжение подается на высоковольтный трансформатор зажигания *TV* и электромагнитный клапан *УА*, открывающий доступ топливу в камеру сгорания. Воздушно-топливная смесь вспыхивает, освещая камеру сгорания.

Под действием света сопротивление *R* фотореле *BL* уменьшается, что приводит к срабатыванию сначала промежуточного реле *KV3*, а затем и реле *KV2*, контакты *KV2.2* и *KV2.3* которого отключают трансформатор зажигания и реле времени.

После прогрева камеры сгорания последовательно размыкаются контакты датчиков температуры *SK2* и *SK1*. Реле *KV1* теряет питание и включает магнитный пускатель *KM1* привода вентилятора 1. В помещение начинает поступать воздух, подогретый в теплогенераторе.

Если пуск теплогенератора затягивается более, чем на 20–25 с и оказывается безуспешным, то контакты *KT.1* отключают электромагнитный вентиль *УА* и подача топлива прекращается. Затем контактом *KT.5* включается сигнальная лампа *HL4*, а размыкающим контактом *KT.3* отключается вентилятор *M2* топки. В случае кратковременного срыва факела при нормальной работе теплогенератора реле *KV3* фотореле *BL* отключает реле *KV2*, и через его размыкающий контакт *KV2.2* включается *TV* и подается искра зажигания. Если смесь не воспламенится, теплогенератор отключится контактами *KT.1* и *KT.3*. Повторно его включают вручную, поворачивая рукоятку *SA1* сначала в положение *O*, а затем обратно в положение *A*. При этом программное устройство *KT* возвращается в исходное состояние.



Примечание
В - освещенность

Рис. 4.86 Схема автоматизации теплогенератора ТГ

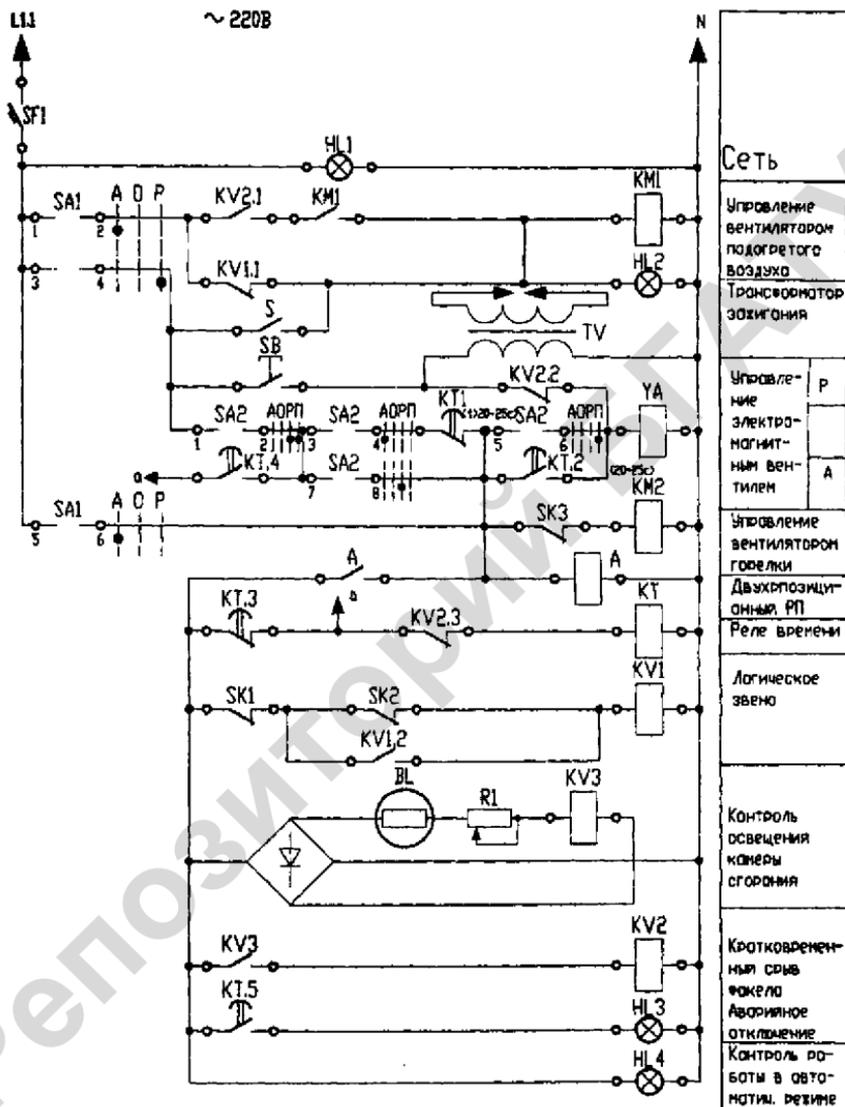


Рис. 4.87 Принципиальная электрическая схема теплогенератора ТТ

Когда температура теплогенератора превысит допустимую, контакты датчика SK3 разомкнутся и отключат теплогенератор. Для нормального останова теплогенератора SA1 переводят в положение O.

В режиме ручного отопления, к которому обращаются для наладки, опробования, а также в случае отказов автоматики, переключатели SA1 и SA2 ставят в положение P. Получает питание катушка магнитного пускателя KM2, и начинается продувка топki. Затем переключатель SA2 переводят в положение II. Включается электромагнитный клапан YA, и топливо подается в камеру сгорания. После необходимого прогрева камеры сгорания замыкается тумблер S, и магнитный пускатель KM1 включает электродвигатель вентилятора M1.

В режиме ручной вентиляции вентиляторами теплогенератора управляют при помощи тумблера S.

4.8.4 Автоматизация процесса холодоснабжения

Холод получают и используют с помощью холодильных установок, различающихся типом холодильных машин, применяемыми в них хладагентами, способами отбора энергии от охлаждаемой среды. На рис. 4.88 изображена схема одной из распространенных холодильных установок с промежуточным хладоносителем и одноступенчатым компрессором.

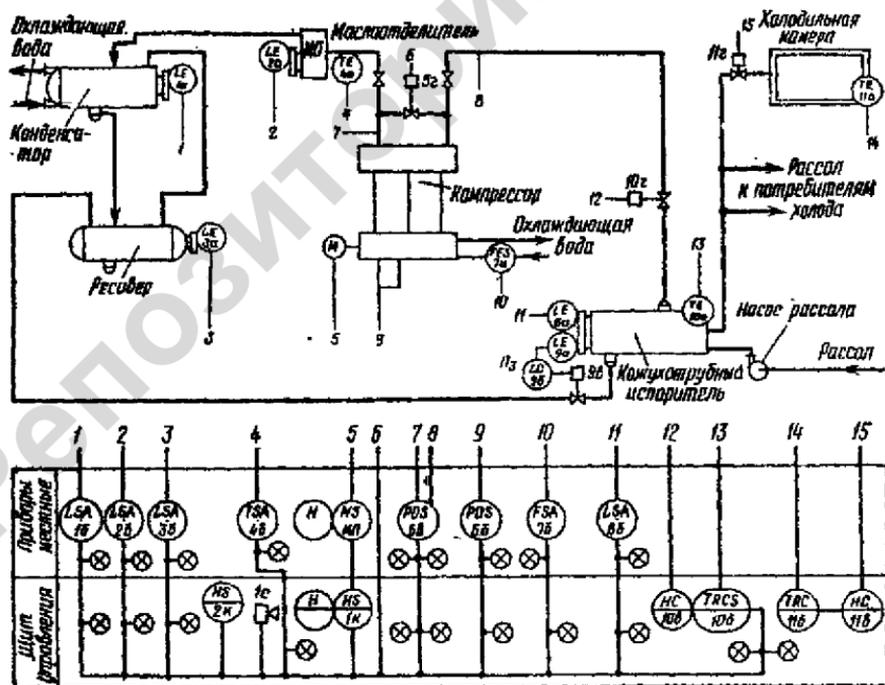


Рис. 4.88 Схема автоматизации холодильной установки

Основное оборудование холодильной установки в совокупности составляет холодильную машину, предназначенную для непрерывного получения холода при помощи замкнутого кругового процесса испарения и конденсации постоянного количества хладагента. Жидкий хладагент кипит в кожухотрубном испарителе, отбирая тепло у окружающего его промежуточного холодоносителя. Пары хладагента отсасываются и сжимаются компрессором и затем охлаждаются в конденсаторе, где хладагент переходит в жидкое состояние в результате охлаждения его водой. Из конденсатора жидкий хладагент через ресивер и дросселирующие устройства подается обратно в испаритель. В качестве хладагента наиболее распространен аммиак. Промежуточным теплоносителем служит рассол – раствор поваренной соли или хлористого кальция. Охлажденный в испарителе рассол перекачивается центробежным насосом к холодильным камерам и другим потребителям холода.

Эффективность работы холодильной установки определяется ее холодопроизводительностью и точностью поддержания температуры охлаждаемой среды. Эти параметры зависят от многих факторов, к которым относятся сопротивление трубопроводов подачи жидкого аммиака в конденсатор, мощность компрессора, расход и температура воды, охлаждающей пары аммиака, тепловая нагрузка потребителей холода.

Для обеспечения наилучших условий работы холодильной установки необходимо поддерживать соответствие между тепловой нагрузкой потребителей и холодопроизводительностью холодильной машины. При длительном превышении холодопроизводительности тепловой нагрузки температура охлаждаемой среды опускается ниже допустимого значения и может произойти замерзание промежуточного хладонносителя, а в некоторых случаях хладагента. При недостаточной холодопроизводительности из-за повышенной тепловой нагрузки повышается выше допустимого значения температура охлаждаемой среды, могут возникать гидравлические удары в системе циркуляции хладагента. Точность поддержания температуры охлаждаемой среды зависит от многих возмущающих воздействий. Стабилизация одного из них — температуры промежуточного хладонносителя — позволяет повысить точность поддержания выходного параметра γ и улучшить условия работы холодильной машины.

При работе холодильной установки в различных ее элементах могут возникнуть опасные явления, например: утечка хладагента, гидравлические удары, перегрузка компрессора. Возникновение опасных режимов работы может быть вызвано как внутренними возмущениями, так и внешними воздействиями.

Рассмотрение особенностей работы холодильной установки позволяет сформулировать основные требования к ее автоматизации: обеспечение безопасной работы холодильной машины, поддержание соответствия между холодопроизводительностью и тепловой нагрузкой, стабилизация температуры промежуточного хладонносителя и охлаждаемой среды.

Холодильная установка как объект автоматизации имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при выборе способов регулирования и средств контроля и управления. Это в первую очередь повышенные требования к безопасности помещений, в которых размещаются холодильные машины, относящиеся к взрывоопасным класса В-1б. Во-вторых, это затруднительность плавного регулирования холодопроизводительности компрессорной установки в широких пределах. Резкие суточные и сезонные изменения тепловых нагрузок приводят к необходимости применения позиционного регулирования холодопроизводительности путем включения и выключения компрессора.

В небольших пределах холодопроизводительность можно регулировать путем дросселирования всасывающего трубопровода компрессора. При этом необходимо поддерживать уровень в испарителе путем дросселирования трубопровода подачи в испаритель жидкого хладагента. Ввиду взрывоопасности помещения защита наиболее ответственного элемента холодильной машины — компрессора от аварий осуществляется путем выключения электродвигателя привода при возникновении хотя бы одной из опасных ситуаций, например: понижение давления во всасывающей линии компрессора, повышение температуры или давления в нагнетательной линии компрессора, нарушение подачи смазки или воды, охлаждающей компрессор, при отклонении уровня хладагента в испарителе, конденсаторе, ресивере или маслоотделителе. При включении компрессора необходимо обеспечить защиту электродвигателя от перегрузки. Один из наиболее простых и надежных способов защиты — соединение нагнетательного трубопровода со всасывающим на время, необходимое для разгона электродвигателя до номинальной скорости вращения.

Рассмотрим схему автоматизации холодильной установки, приведенную на рис. 4.88.

Автоматическое регулирование уровня хладагента в кожухотрубном испарителе осуществляется путем воздействия на приток жидкого хладагента с помощью двухпозиционного регулятора уровня непрямого действия ПРУД. При изменении уровня перемещение поплавка 9а передается пневматическому двухпозиционному реле 9б, выходной сигнал которого — давление сжатого воздуха, равное 0 или 0,14 МПа, воздействует на мембранный исполнительный механизм клапана 9в на трубопроводе подачи жидкого хладагента в конденсатор.

Автоматическое регулирование температуры промежуточного хладоносителя-рассола предназначено для поддержания соответствия между тепловой нагрузкой и холодопроизводительностью. Датчиком температуры служит термометр сопротивления типа ТСМ-5071 — 10а. Вторичный прибор КСМ-3 воспринимает сигнал об изменении температуры рассола в испарителе и преобразует его с помощью встроенного пневматического регулирующего блока. Под действием выходного сигнала регулирующего блока — изменения давления сжатого воздуха — регулирующий клапан 25ч3Онж 10г воздействует на расход паров хладагента, отсасываемых из испарителя, тем

самым, изменяя количество тепла, отбираемого у рассола. Однако возможность дросселирования всасывающей магистрали компрессора ограничена, поэтому при значительном понижении температуры рассола трехпозиционное регулирующее устройство посылает сигнал в схему управления электродвигателем привода компрессора, в результате чего последний выключается. Включение компрессора произойдет после того, как температура рассола превысит максимальное значение.

Температура охлаждаемой среды, например, воздуха в холодильной камере, воды в поддоне форсуночной камеры кондиционера и т.п., поддерживается путем воздействия на расход рассола, подаваемого к поверхностям теплообмена. Датчиком температуры служит медный термометр сопротивления ТСМ-5071 — 11а. Пневматический регулирующий блок, встроенный во вторичный прибор КСМ-3 11б, вырабатывает выходной сигнал в зависимости от отклонения температуры от заданного значения. Регулирующее воздействие вводится с помощью регулирующего клапана 25ч3Ож 11з.

Защита холодильных установок предусматривается для обеспечения безопасности их работы. Мерами защиты служат, как применение специальных средств автоматизации во взрывоопасном исполнении, так и автоматические системы защиты, выключающие компрессор при нарушениях нормальных условий функционирования холодильной установки. К таким условиям относится поддержание в заданных пределах уровня жидкого хладагента в испарителе и других емкостях установки, а также значений контролируемых режимных параметров. Сигналы о достижении недопустимых значений уровня (замыкание контактов электрических цепей) получают от поплавковых реле уровня ПРУ-5 1б, 2б, 3б, 8б.

Защита от повышения давления в нагнетательном патрубке компрессора и от понижения давления во всасывающем патрубке осуществляется с помощью двоярного реле давления Д220А-13 5а, включающего датчик высокого и датчик низкого давления. Повышение температуры сжатого пара хладагента выше допустимого определяется с помощью датчика-реле температуры ТРОМ5-09 4б, который дает сигнал, выключающий компрессор. Остановка компрессора предусмотрена также в случаях отсутствия протока воды через охлаждающие полости цилиндров (сигнал вырабатывают реле протока РП-67 7а, 7б) и при нарушении работы системы принудительной смазки (по сигналу реле контроля смазки РКС 6б).

Для снижения нагрузки на электродвигатель при пуске компрессора предусмотрено соединение на время разгона привода всасывающей магистрали с нагнетательной. При пуске открывается соленоидный вентиль СВМ-10 5з на перемычке между всасывающим и напорным трубопроводами. После набора электродвигателем нормальной скорости вращения реле времени отключает вентиль 5з и перемычка переключается.

Срабатывание систем защиты и остановка электродвигателя сигнализируются световой и звуковой сигнализациями. Световая сигнализация обеспечивает указание причины остановки.

4.9 Автоматизация установок по удалению навоза и помета

Смесь твердых и жидких фракций навоза крупного рогатого скота, свиной и других животных при хранении начинает выделять в воздух аммиак через 4–6 ч с момента смешивания. Углекислый газ из навоза крупного рогатого скота начинает поступать в воздух в первые часы после выделения.

Из помета кур и индеек аммиак начинает выделяться в воздух в первые часы после выделения помета из организма.

Поэтому важным условием создания благоприятного микроклимата в животноводческих помещениях является бесперебойная система навозоудаления.

В животноводческих помещениях при содержании животных на решетчатых полах навоз удаляют самотечно-сплавным или гидравлическим способами. В остальных случаях предусматривается механическое удаление навоза или помета из помещений.

На фермах крупного рогатого скота для удаления навоза из помещений широко используется цепочно-скребковый транспортер, который состоит из двух транспортеров: горизонтального, перемещающего навоз из помещения и наклонного, предназначенного для выгрузки навоза в транспортные средства. Транспортные средства для перевозки навоза в навозохранилище устанавливаются в тамбуре помещения под наклонным транспортером.

Управление навозоуборочной установкой осуществляется оператором с помощью кнопочной станции.

Использование для пуска установки программного устройства нецелесообразно, так как процесс удаления навоза из помещения требует присутствия оператора для сгребания навоза из стойла на транспортер (в данном случае, не все операции механизированы). В обязанности оператора входит также контроль наличия транспортного средства под наклонным транспортером. В зимнее время оператор должен проконтролировать замерзание остатков навоза в верхней части наклонного транспортера, чтобы избежать его поломку при включении.

Для перемещения навоза из помещения в навозохранилище могут использоваться различные, приспособленные для этой цели мобильные средства и стационарные установки.

На рис. 4.89 приведена схема автоматизации удаления навоза в навозохранилище одной из таких установок.

В данном случае процесс удаления навоза из помещения механизирован. Навоз продавливается сквозь решетчатые полы в канал, откуда удаляется навозоуборочными транспортерами, которые действуют по заданной программе. Из каналов навоз поступает на поперечный транспортер, который направляет его в навозосборник. Когда навозосборник будет заполнен, закрывается затвор. Затвор связан механически тягой с клапаном ресивера. При полностью закрытом затворе открывается клапан ресивера, из которого в навозосборник подается сжатый воздух, и навоз вытесняется в навозохранилище.

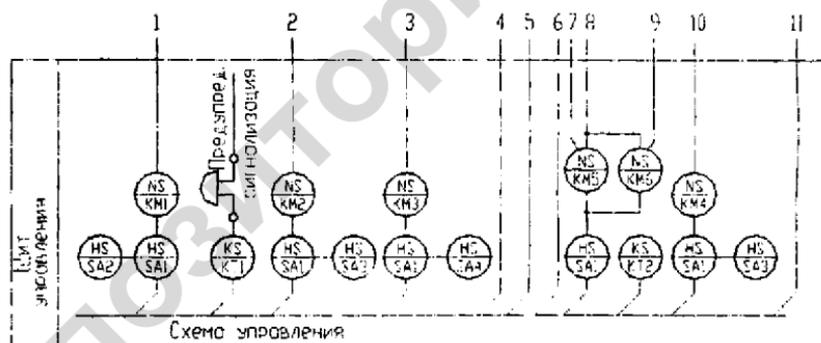
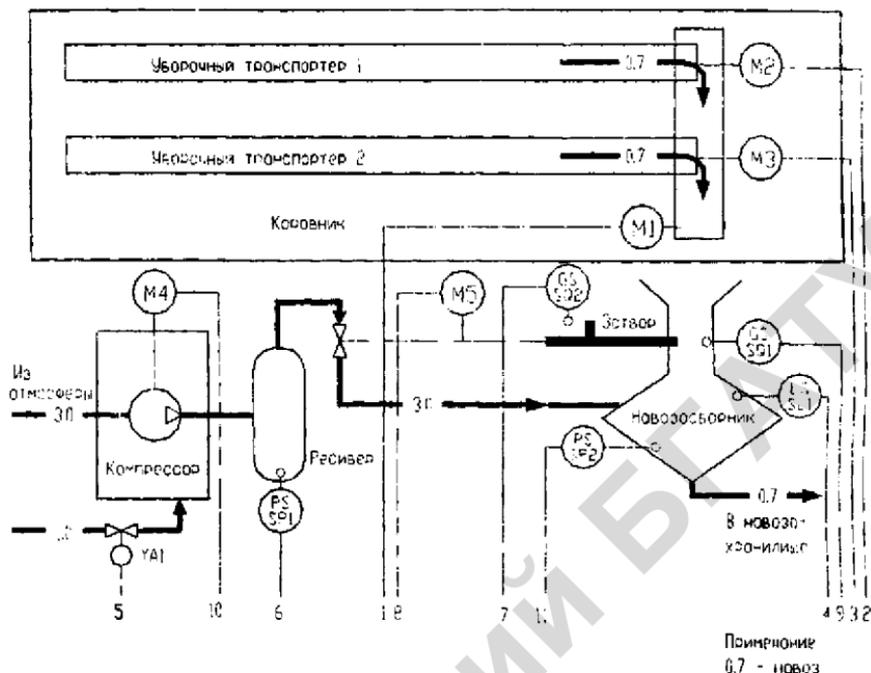


Рис. 4.89 Схема автоматизации уборки навоза из коровника пневмотранспортером

Электрическая схема управления установкой (рис. 4.90) предусматривает автоматический и ручной режимы работы.

Автоматический режим задают, переводя универсальный переключатель SA в положение А.

Включается схема контактом KT1 программного реле времени 2РВМ. Получает питание звуковая и световая сигнализация. Через заданное время сигнализация отключается и вводятся в цепь тока катушки магнитных пускателей KM3, KM4 и KM5 навозоуборочных транспортеров. Навозосборник заполняется навозом.

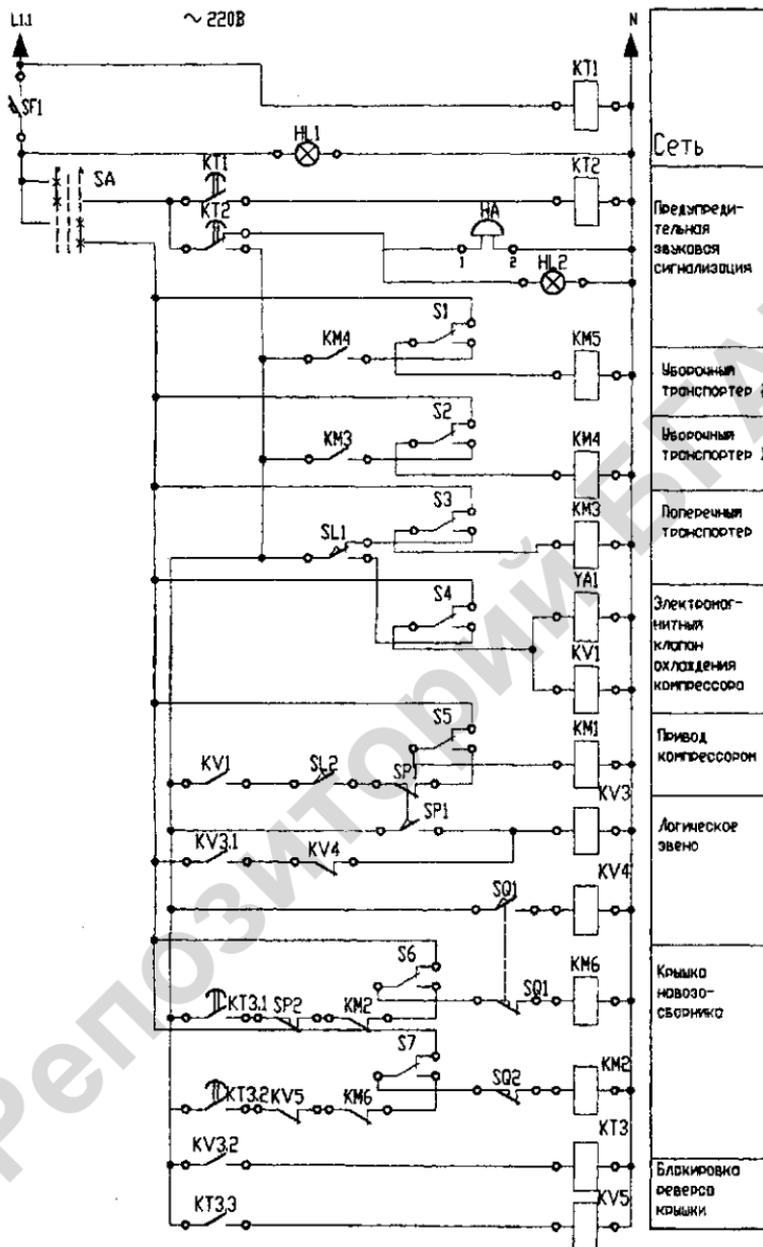


Рис. 4.90 Принципиальная схема САУ системы уборки навоза с пневмотранспортером

Когда срабатывает датчик уровня *SL1* и разомкнет свои контакты в цепи катушки магнитного пускателя *KM1*, навозоуборочные транспортеры отключаются и одновременно включается электромагнитный клапан охлаждения компрессора *YA1*. Когда вода заполнит резервуар, датчик уровня *SL2* подает питание на магнитный пускатель *KM1*, который включает компрессор, нагнетающий воздух в ресивер. При давлении в $(4-6) \times 10^5$ Па реле давления *PS* своим контактом *SP1* отключает компрессор и вводит в цепь тока реле *KV3*, а оно в свою очередь — реле времени *KT3*. Через 2-5 с получает питание катушка магнитного пускателя *KM2*, включающего электропривод закрытия заслонки навозосборника. После того, как заслонка будет закрыта, тот же привод через систему механических тяг открывает воздушный вентиль ресивера. Сжатый воздух вытесняет навоз в навозохранилище. Электропривод заслонки отключается в крайнем положении конечным выключателем *SQ2*.

В процессе вытеснения навоза из навозосборника и трубопроводов давление резко падает, замыкаются контакты реле *SP2*, получает питание пускатель *KM6* и включает привод открытия заслонки и закрытия вентиля сжатого воздуха. В крайнем положении электропривод открытия заслонки отключается конечным выключателем *SQ1*. Реле *KV5* предотвращает повторное закрытие заслонки навозосборника. Затем схема приходит в исходное положение и цикл повторяется до тех пор, пока навоз полностью не будет удален из помещения.

В ручном режиме переключатель *SA* переводят в положение *P* и каждым двигателем в отдельности управляют при помощи тумблеров *S1-S7*.

На птицеводческих фермах преимущественное распространение получили два основных способа уборки помета: ежедневный и периодический. При напольном содержании птицы помет можно убирать навесными тракторными орудиями несколько раз в год. Этот способ дешевый, однако, он связан с резким ухудшением микроклимата в помещении. Поэтому в современных птичниках предпочтительнее уборка помета скрепером несколько раз в день.

На рис. 4.91 представлена схема автоматизации скреперной пометоуборочной установкой. Две скреперные установки убирают и подают помет на горизонтальный транспортер. Они могут работать поочередно или одновременно. При движении скрепера в направлении сборного транспортера скребки раздвигаются и начинают сгребать и перемещать помет к сборному транспортеру. В крайнем правом положении привод скреперной установки реверсируется. Скребки скрепера *1.1* складываются, а скребки скрепера *1.2* раздвигаются. Начинает аналогично работать скрепер *1.2*.

Последовательная или параллельная работа скреперных установок задается переключателями. В нашем случае рассмотрим работу электрической схемы управления одной скреперной установкой (рис. 4.92).

В автоматическом режиме замыкают контакты тумблера *S1*. Кратковременное срабатывание контакта программного устройства *KT* подает питание на катушку магнитного пускателя *KM1*, который включает первую скреперную установку, причем скрепер *1* начнет рабочий ход, а скрепер *2* — холо-

стой. Дойдя до конечного выключателя *SQ7*, скрепер 1 замкнет его, в результате чего магнитные пускатели *KM5* и *KM6* включают электродвигатели приводов наклонного и горизонтального транспортеров. Затем в конце пути срабатывает конечный выключатель *SQ1*, который лишает питания магнитный пускатель *KM1* и вводит в цепь тока реле *KT1*. Через 5–8 с контакт этого реле запитывает катушку магнитного пускателя *KM2* обратного хода скреперной установки.

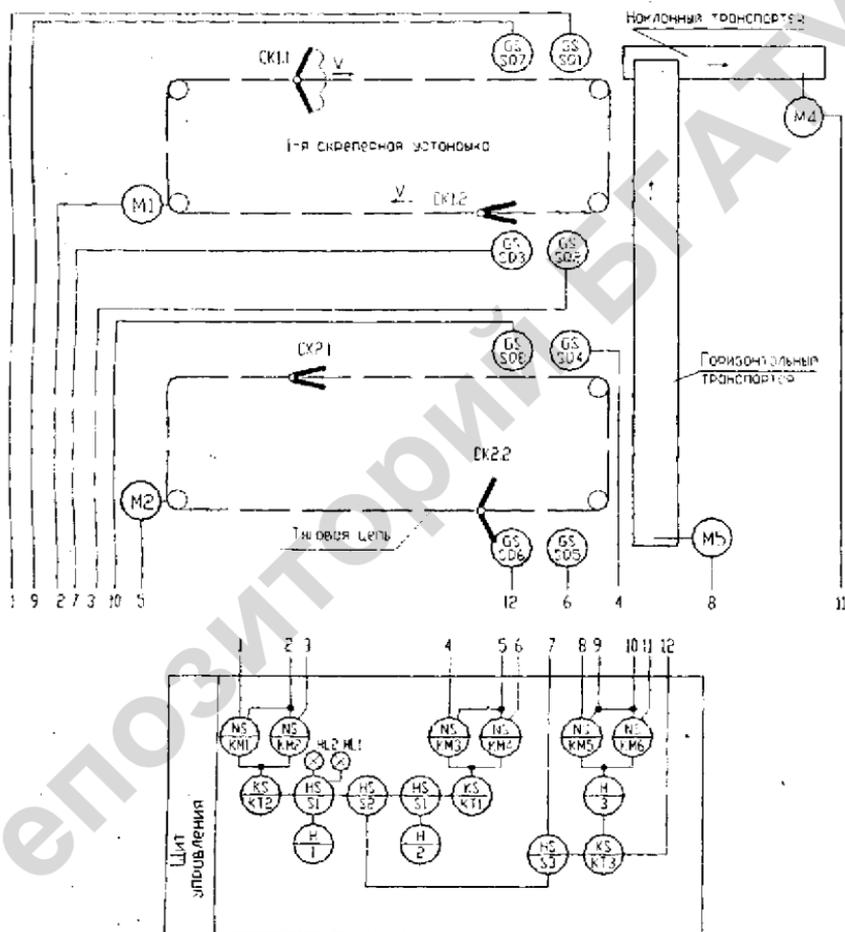
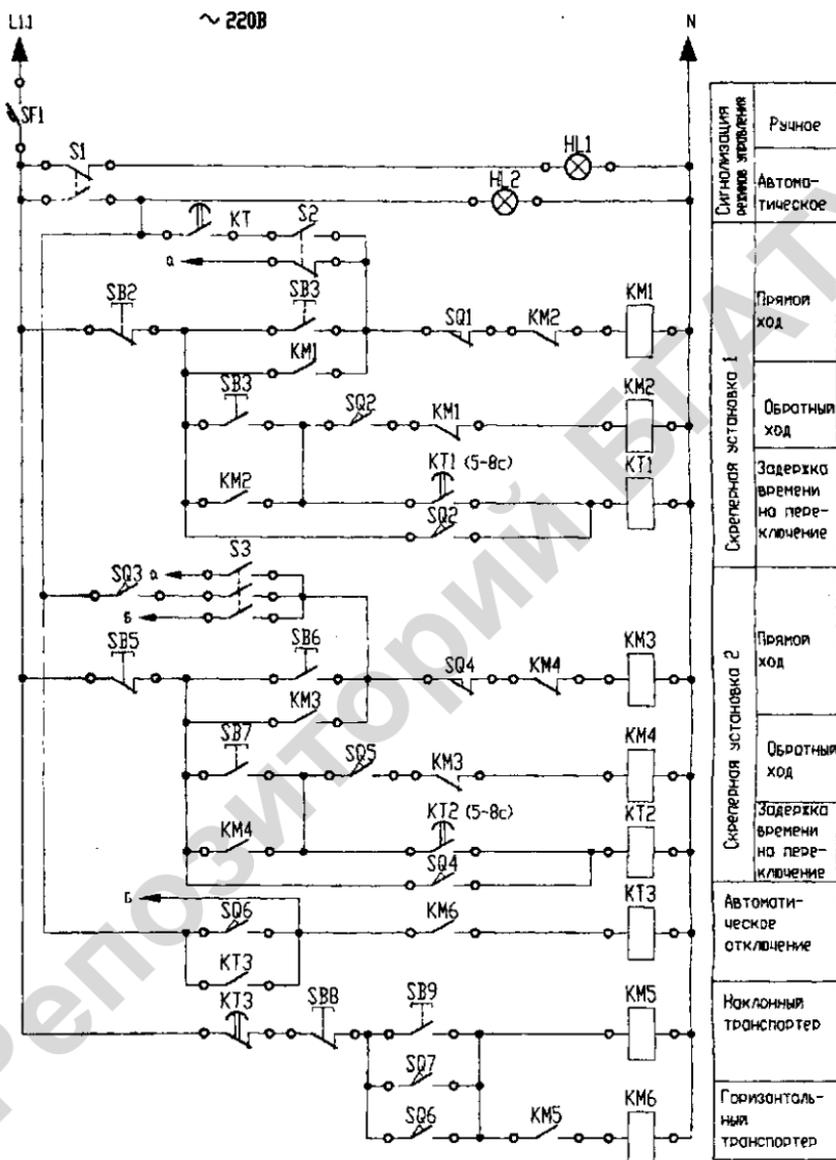


Рис. 4.91 Схема автоматизации пометоуборочной установки

Первая установка отключается по команде от конечного выключателя *SQ2* через некоторое время после включения второй. Вторая скреперная установка действует в целом аналогично первой.



Сигнализация режима управления	Ручное
	Автоматическое
Средняя установка 1	Прямой ход
	Обратный ход
	Задержка времени на переключение
	Средняя установка 2
Средняя установка 2	Прямой ход
	Обратный ход
	Задержка времени на переключение
Автоматическое отключение	
Наклонный транспортер	
Горизонтальный транспортер	

Рис. 4.92 Принципиальная электрическая схема пометоуборочной установки

В конце ее работы по сигналу конечного выключателя *SQ6* включается реле времени *KT3*, которое после срабатывания конечного выключателя *SQ5* и отключения второй скреперной установки разомкнет с выдержкой времени, необходимой для удаления помета с горизонтального и наклонного транспортеров, свой контакт в цепи пускателей *KM5* и *KM6*. Транспортеры останавливаются. Схема готова к следующему циклу.

Конечные выключатели *SQ7*, *SQ3*, *SQ8* и *SQ6* снабжены специальным устройством, благодаря которому положение их контактов меняется только при рабочем ходе скреперов.

4.10 Автоматизация машинного доения и первичной обработки молока

В условиях современных крупных ферм и особенно животноводческих комплексов такие ответственные и трудоемкие процессы, как доение и первичная обработка, должны быть не только автоматизированы, но и объединены в поточную линию (вплоть до операций по расфасовке молока).

Общий процесс машинного доения коров объединяет ряд отдельных, автоматизация которых дает определенный технико-экономический эффект и способствует улучшению условий труда.

К таким операциям относятся: подмыв вымени (санобработка) с предварительным массажем вымени, одевание доильных стаканов, непосредственно доение, додой молока, отключение доильного аппарата и его снятие с вымени, промывка аппаратуры и вымени при доении. В доильных залах была разработана экспериментальная установка для санобработки вымени, которая представляла собой проходной станок с входной и выходной дверью.

Перед дойкой автоматически открываются и закрываются входные двери. Когда корова зайдет в станок, под вымя подводится и фиксируется разбрызгиватель теплой воды. После подмыва вымени разбрызгиватель отводится, открывается выходная дверь, корова выпускается на доильную площадку. Процесс санобработки вымени повторяется для следующей коровы.

Установка работала в автоматическом режиме, некоторое время эксплуатировалась в хозяйстве, но в дальнейшем не была внедрена в серийное производство.

В экспериментальном варианте, в настоящее время, находится также устройство для автоматического надевания доильных стаканов.

Наиболее полно была оснащена средствами механизации и автоматизации доильная установка УДА-16, схема автоматизации которой приведена на рис. 4.93.

При включенном вакуумном насосе оператор одевает доильные стаканы на соски вымени коровы и кнопкой *H* пульта управления *18* включает установку в работу. Открывается клапан *19* и происходит доение. Через расходомер *FE* начинает протекать молоко. В качестве преобразователя количества молока используют две попеременно наполняющиеся емкости, которые при наполнении до заданного веса (100 г) опрокидываются, при этом замыкаются магнитоуправляемые контакты, и в схему пульта управления посту-

пает импульс счета. На индикаторе пульта управления высвечивается показатель надоя молока.

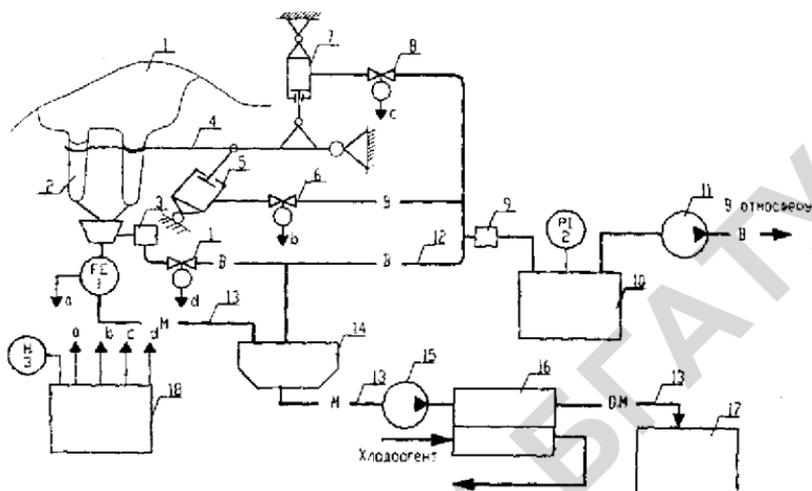


Рис. 4.93 Неполная схема автоматизации доильной установки УДА-16: 1 — вымя; 2 — доильные стаканы; 3 — пульсатор; 4 — кронштейн; 5, 7 — пневмоцилиндры; 6, 8, 19 — клапаны; 9 — вакуумрегулятор; 10 — вакуумный баллон; 11 — вакуумный насос; 12 — вакуумпровод; 13 — молокопровод; 14 — воздуходелитель; 15 — молочный насос; 16 — пластинчатый охладитель; 17 — молочный танк; 18 — пульт управления; В — вакуум; М — молоко

В конце доения интервал следования импульсов уменьшается и со схемы управления пульта на клапан 8 начинают подаваться импульсные сигналы с частотой 0,5 Гц. Поршень пневмоцилиндра 7 начинает совершать возвратно-поступательные движения в вертикальной плоскости и с помощью кронштейна 4 поднимать и опускать доильные стаканы. Происходит операция массажа вымени, что способствует извлечению из альвеол вымени остатка молока, т.е. возникает процесс машинного додаивания, при этом доильные стаканы с вымени не снимаются.

После прекращения подачи импульсов на пульт управления отключается клапан 6 и подается импульс на клапан 6. Доильные стаканы снимаются с сосков и доильный аппарат отводится в сторону. Достаточно сказать, что несвоевременное отключение доильных аппаратов и колебания частоты пульсаций пагубно сказывается на состоянии животных и их молокоотдаче.

Частота пульсаций доильных аппаратов с пневмопульсаторами зависит от величины вакуума в вакуумпроводе и состояния клапана пульсатора.

В серийных доильных установках величину вакуума регулируют с помощью клапана предельного вакуума (рис. 4.94, а). Конструкция регулятора понятна из рисунка. Для стабилизации вакуума в вакуумпроводе вакуумный насос должен обеспечить избыток вакуума, который нейтрализуется клапаном предельного вакуума, путем подсоса атмосферного воздуха в вакуумпровод. Тарирование величины предельного вакуума производят с помощью

грузов. Недостатком регулятора является потеря энергии на подсос воздуха. Устранение потерь можно обеспечить используя частотный преобразователь SC (рис. 4.94, б).

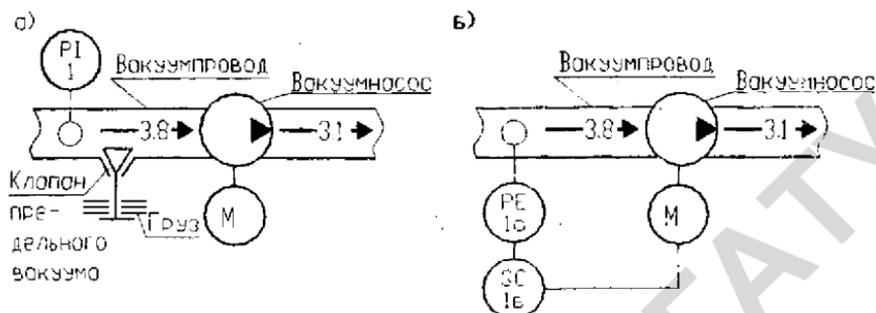


Рис. 4.94 Структурные схемы регуляторов вакуума: а — с помощью клапана предельного вакуума; б — с использованием частотного преобразователя

К наиболее важным операциям первичной обработки относят *очистку, пастеризацию и охлаждение* молока.

В качестве примера автоматизации одного из этих процессов рассмотрим схему автоматизации пластинчатой пастеризационной установки (рис. 4.95).

Из молокоборника молоко поступает в уравнильный бак. Из бака насос подает молоко в первую секцию пластинчатого аппарата (секцию регенерации), где молоко за счет теплообмена нагревается до $+37-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из первой секции регенерации молоко поступает в молокоочиститель, очищается, подается во вторую секцию регенерации и переходит в секцию пастеризации, где за счет теплообмена с горячей водой нагревается до температуры $+76\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в установке ОПФ-1-20) или до $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в установке ОПФ-1-300). Пастеризованное молоко через выдерживатель проходит в секции регенерации, и его температура снижается до $+20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Затем молоко проходит первую секцию охлаждения холодной водой, а затем вторую — ледяной водой, где его температура снижается до $+5-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Холодное молоко поступает в танки.

Горячая вода готовится в бойлере, где нагревается паром через инжектор паропровода от котельной установки.

Дополнительная выдержка молока в течение 20 с в выдерживателе установки ОПФ-1-20 и 300 с в выдерживателе установки ОПФ-1-300 перед охлаждением способствует уменьшению бактериальных загрязнений.

Контроль температуры молока после пастеризационной секции осуществляется первичным преобразователем, сигнал которого подается на регулятор, формирующий сигнал исполнительному механизму трехходового клапана, который при низкой температуре молока перепускает его обратно в уравнильный бак.

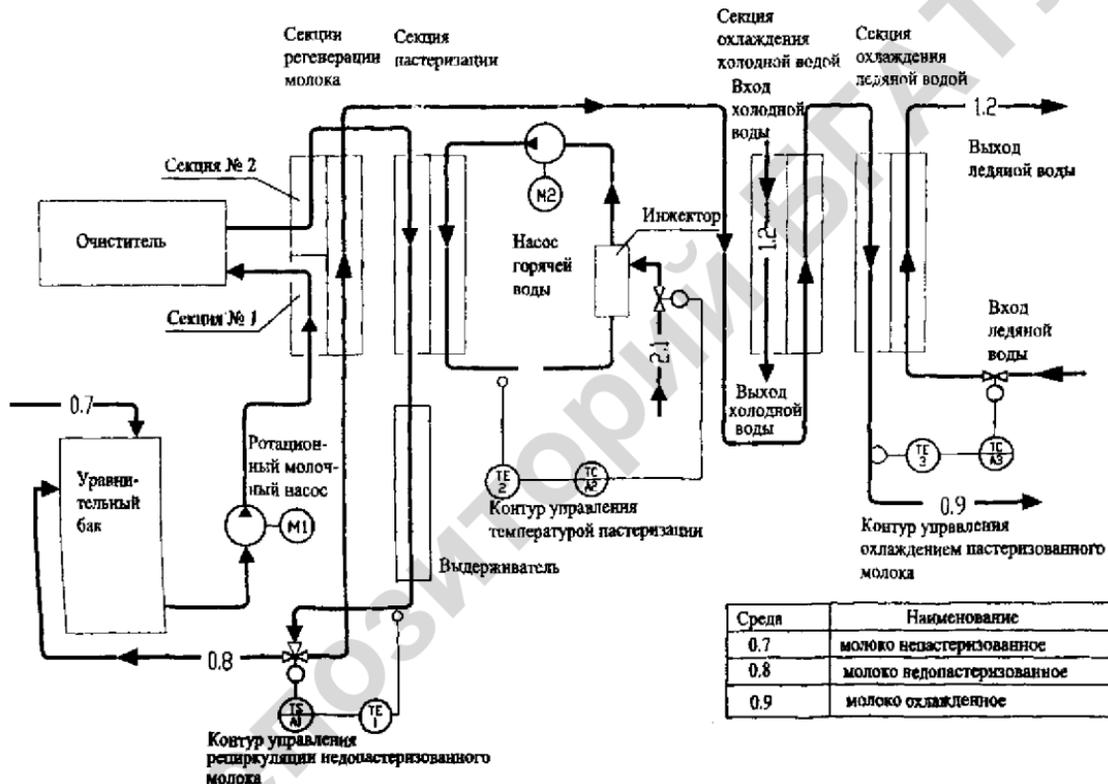


Рис. 4.95 Схема автоматизации пастеризационной установки

Температура горячей воды после секции пастеризации контролируется преобразователем, сигнал которого подается на регулирующий прибор. Исполнительный механизм управляет вентилем подачи пара в инжектор для изменения температуры горячей воды.

Для выбора наиболее рациональных схем автоматического управления установкой проводят ее исследование с целью получения математического описания установки как объекта автоматизации. Определение статических и динамических характеристик позволяет выбрать наиболее эффективные регуляторы и параметры их настройки.

Процесс пастеризации и охлаждения молока можно представить структурными схемами, показанными на рис. 4.96. Входная величина секции пастеризации — расход пара G_p , выходная — температура молока θ_m . Возмущениями являются непостоянство расхода молока G_m , его температура, изменение коэффициента теплопередачи пастеризатора вследствие отложения белка на теплопроводящих поверхностях. Входная величина секции охлаждения — расход хладоносителя $G_{хл}$, выходная температура холодного молока $\theta_{мх}$. Основными возмущениями в охладителях молока являются колебания температуры хладоносителя, изменение давления хладоносителя $P_{хл}$, расход молока G_m и др.



Рис. 4.96 Структурные схемы: а — пастеризации молока; б — охлаждения молока

Динамика нагревательной части пластинчатого пастеризатора по каналу «расход пара — температура молока» описывается уравнением теплового баланса секции пастеризатора и системы подогрева горячей воды. Если пренебречь потерями тепла в окружающую среду, то уравнение теплового баланса в установившемся режиме имеет вид:

$$C_m G_m (1 - \xi)(\theta_{мв} - \theta_{мк}) = G_p (i - C_v \theta_v), \quad (4.54)$$

где C_m, C_p — теплоемкость молока и воды, кДж/кг;

G_m, G_p — расход молока и пара, кг/с;

ξ — коэффициент регенерации теплоты;

$\theta_{мв}, \theta_{мк}$ — температура молока на входе и на выходе пастеризатора;

i — энтальпия пара, кДж/кг;

θ — температура воды.

Из уравнения (4.54) получаем статическую характеристику пастеризатора:

$$\theta_{\text{ин}} = \theta_{\text{ук}} + \frac{1 - C_n \theta_n}{C_n G_n (1 - \xi)} G_n \quad (4.55)$$

По результатам экспериментальных и теоретических исследований передаточная функция пастеризатора с достаточной для практики точностью может быть представлена апериодическим звеном первого порядка и звеном чистого запаздывания:

$$W(P) = \frac{k_n}{T_n P + 1} e^{-\tau_n P}, \quad (4.56)$$

где k_n — коэффициент передачи;

T_n — постоянная времени;

τ_n — время запаздывания, с.

Из уравнения (4.55) коэффициент передачи

$$k_n = \frac{1 - C_n \theta_n}{C_n G_n (1 - \xi)}. \quad (4.57)$$

Средние значения параметров k_n , T_n и τ_n для некоторых установок приведены в табл. 4.22.

Таблица 4.22

Значения k_n , T_n и τ_n

Установка	k_n	T_n , с	τ_n , с	Производительность, л/ч	Площадь поверхности теплообменника, м ²
ОПУ-3М	3820	250	20	3000	13,4
ОПУ-5М	2300	369	12	-	-
ОПФ-1	-	-	-	1000	2,5

При накоплении белковых веществ значение τ возрастает на 50–70%.

Соотношение $\tau/T < 0,2$ для секций пастеризации, что позволяет использовать регулирующие приборы, реализующие простейшие законы регулирования. На рис. 4.97 представлена принципиальная электрическая схема управления пластинчатой пастеризационной установкой «Пуск» и «Останов» приводов насосов и очистителей производится вручную с помощью кнопочных станций, что на рисунке не показано.

Свежесырое молоко, а также молоко, проходящее процесс обработки, *охлаждают в специальных аппаратах-охладителях.*

На рис. 4.98 представлена электрическая схема широко применяемой на молочных фермах фреоновой холодильной установки хладопроизводительностью 33 300 кДж/ч.

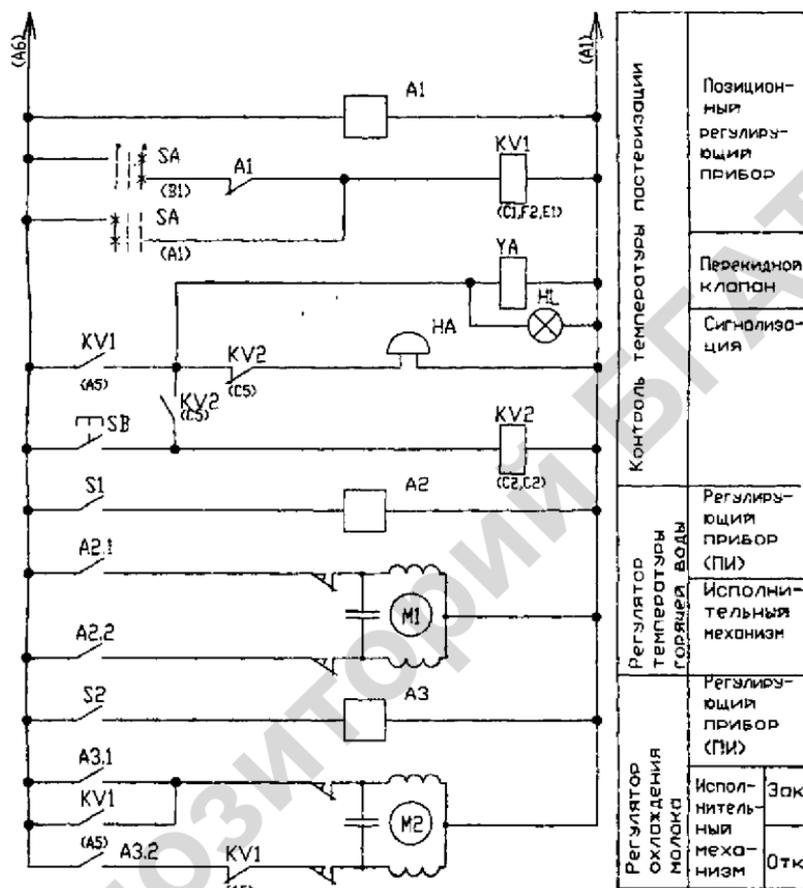


Рис. 4.97 Упрощенная принципиальная электрическая схема управления пластинчатой пастеризационной установкой

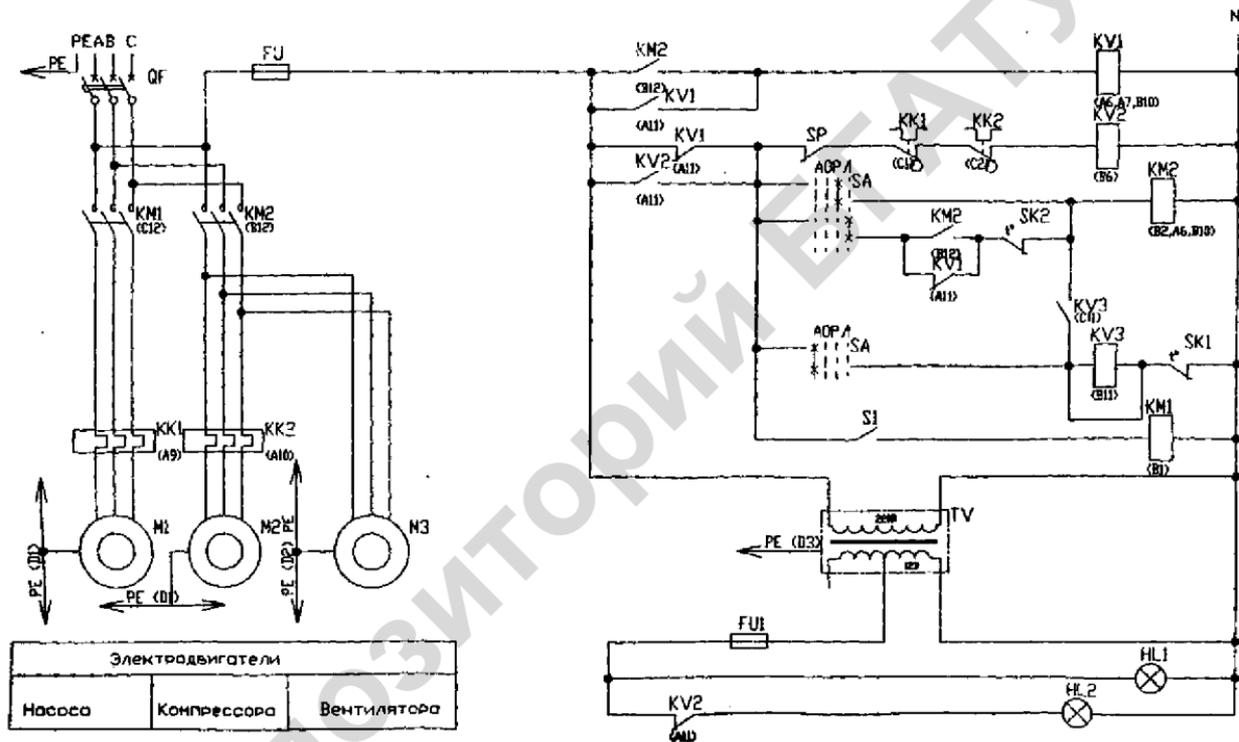


Рис. 4.98 Принципиальная электрическая схема холодильной установки

Установку включают автоматом *QF*. Через замкнутые контакты реле давления *SP* и тепловые реле *KK1* и *KK2* получает питание промежуточное реле *KV2*, контакты которого шунтируют размыкающий контакт реле *KV1* и снимают напряжение с сигнальной лампы *HL2*, указывающей на готовность к действию.

Установка может работать в трех режимах: автоматическом, ручном и в режиме намораживания льда.

Чтобы задать **автоматический режим**, ключ управления *SA* ставят в положение *A*. Промежуточное реле *KV3* получает питание и замыкающими контактами вводит в цепь тока магнитный пускатель *KM2*, который включает электродвигатель компрессора и вентилятора. Если температура снизится до плюс 2 °С, размыкаются контакты термодатчика *SK1*, лишая питания реле *KV3* и магнитный пускатель *KM2*, который отключает холодильную установку. Когда температура повысится до плюс 2,5 °С контакт датчика *SK1* замыкается и установка опять включается. В дальнейшем этот цикл повторяется.

В режиме ручного управления ключ *SA* ставят в положение *P*; срабатывает магнитный пускатель *KM2* и пускает в работу двигатели компрессора и вентилятора. Электродвигатель насоса во всех случаях включают вручную тумблером *S1*. Отключают установку ключом управления.

В режиме намораживания льда ключ управления переводят в положение *L*: получает питание катушка магнитного пускателя *KM2*, включающего холодильную установку. При достаточном намораживании льда температура паров фреона во всасывающем трубопроводе понизится и термореле *SK2*, настроенное на определенную температуру, разомкнет свои контакты и отключит холодильную установку. Повторное включение возможно лишь при повышении температуры и отключении, а затем включении автомата *QF*.

Если значения давлений всасывания или нагнетания выходят из заданных пределов, размыкаются контакты реле давления *SP* и отключают установку.

4.11 Автоматизация водоснабжения и орошения

4.11.1 Автоматизация водонасосных установок для ферм и населенных пунктов

В сельском хозяйстве воду используют для нужд населения и поения животных, приготовления пищи и кормов, полива растений, тушения пожаров и для других производственных целей.

Водоснабжение сельскохозяйственных потребителей хорошо механизировано и автоматизировано. Благодаря автоматизации человек практически освобожден от ручного труда при добыче, доставке и распределении воды на животноводческих фермах и в быту.

Для подъема и раздачи воды применяют водонасосные установки, состоящие из водоприемников, очистительных сооружений, резервуаров чистой воды или водонапорных башен, соединительной водопроводной сети и электронасосов со станциями управления.

Наиболее широко в сельском хозяйстве распространены центробежные и осевые насосы. Их выполняют в моноблоке с электродвигателями и погружают в воду, в трубчатые колодцы диаметром 100–250 мм (погружные насосы) или располагают на поверхности земли. Есть погружные насосы с электродвигателями, расположенными над скважинами. Эти насосы называются *артезианскими*.

Для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев применяют также *плавающие* центробежные насосы. Распространение получили так называемые *объемно-инерционные* насосы с электромагнитным вибрационным приводом. Их используют в быту сельского населения на малую подачу воды (до 1 м³/ч при напоре 20 м).

В сельском хозяйстве используют водонасосные установки трех типов: башенные с водонапорным баком, безбашенные с водонапорным котлом и с непосредственной подачей воды в водопроводную сеть. Почти в 90% случаев используют башенные водонасосные установки с расходом воды до 30 м³/ч. Если расход воды составляет 30–65 м³/ч, то рекомендуют двухагрегатные насосные станции с водонапорным котлом. При расходе воды более 65 м³/ч экономически целесообразно использовать насосные установки с непосредственной подачей воды в распределительную сеть (оросительную систему).

На рис. 4.99 показаны основные схемы насосных установок, питающие сельскохозяйственных потребителей воды.

Различают одно- и двухступенчатые схемы насосных установок.

Одноступенчатые схемы. Вода потребителям подается под давлением, которое обеспечивается непосредственно погружным насосом (рис. 4.99, а и 4.99, б) напорно-регулирующим устройством, согласующим работу насоса с графиком расхода воды потребителями, служит пневматический котел (рис. 4.99, а) или водонапорная башня (рис. 4.99, б). В первом случае давление воздуха в котле воздействует на реле давления *PS*, которое через станцию управления *CV1* включает и отключает электронасос.

В случае водонапорной башни для управления электронасосом применяются электродные датчики уровней *LS*, установленные в баке. Их сигналы через станцию управления *CV2* воздействуют на электронасос так, что при снижении воды в баке до заданного нижнего уровня насос включается в работу, а после наполнения бака отключается от сети.

Двухступенчатые схемы водоподъема показаны на рис. 4.99, в и г. В них вода из скважины предварительно подается в наземный безнапорный резервуар, играющий роль накопительной емкости (в нем сохраняются хозяйственный и противопожарный запасы воды). Автоматическим заполнением резервуара управляют электродные датчики уровней *LS*, воздействующие на погружной электронасос.

Центробежные насосы второй ступени подъема создают регулируемое давление, под которым вода подается потребителям. С этой целью применяется пневматический котел-регулятор (рис. 4.99, в и рис. 4.101) или прямую работу насоса второй ступени подъема непосредственно на нагнетательный трубопровод (рис. 4.99, г).

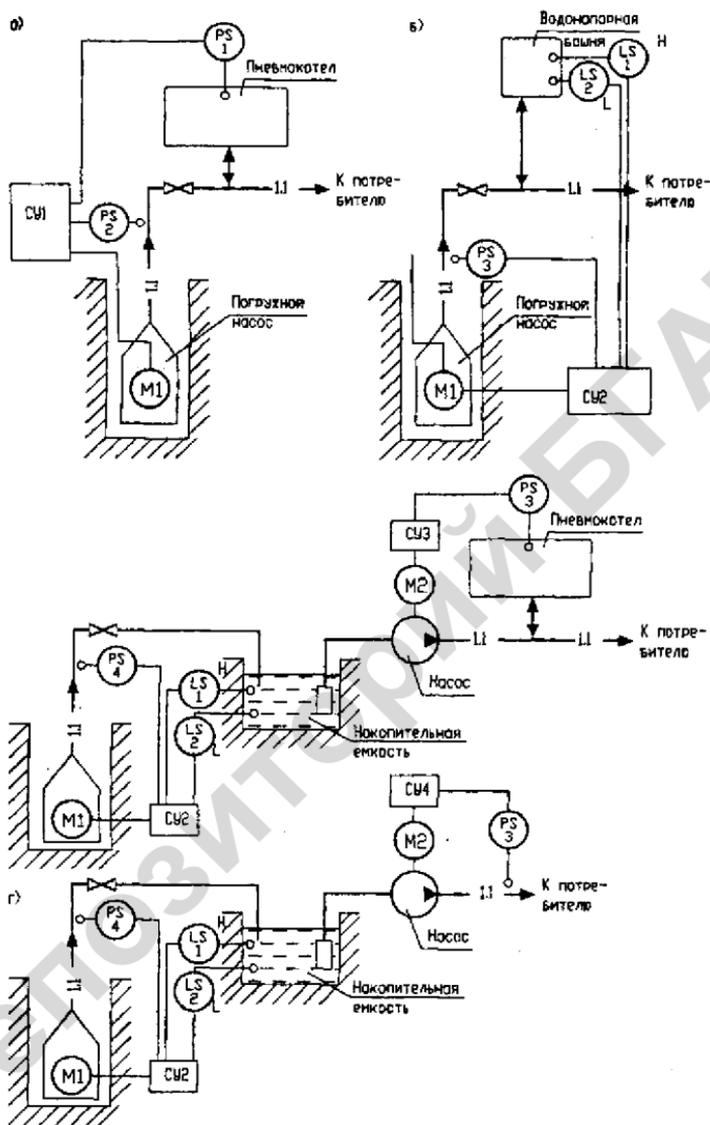


Рис. 4.99 Схемы водоснабжения: а — с пневматическим котлом; б — с водонапорной башней; в — с наземным резервуаром и пневматическим котлом; г — с наземным резервуаром и прямооточной работой насоса второго подъема

В последнем случае давление регулируют задвижкой, или изменением числа параллельно работающих насосов, или, наконец, изменением скорости вращения насоса в зависимости от давления в нагнетательном трубопроводе либо расхода воды.

В последние годы промышленность наладила выпуск преобразователей частоты питающей сети.

Результаты применения преобразователей частоты в системе водоснабжения показывают чрезвычайно высокую эффективность в области энергосбережения, так на рис. 4.99 приведен график работы частотно-регулируемого привода для подачи холодной питьевой воды для жилых домов насосом мощностью 11 кВт. Назначение насоса в примере повышать напор в водопроводной сети до необходимого (примерно 45 м). На графике видно, что ступенчатый расход меняется почти в шесть раз. Кроме того, входное давление также постоянно меняется в течение суток.

За счет плавного регулирования скорости вращения двигателя насоса, преобразователь частоты в любых условиях, даже при резком изменении расхода поддерживает напор в системе строго постоянным и равным заданному.

Для автоматизации башенных насосных установок существуют станции автоматического управления различных типов, они обеспечивают автоматический пуск и остановку насоса в зависимости от уровня воды в баке защиту электродвигателя от токов короткого замыкания, технологических перегрузок и перегрузок при потере напряжения в одной из фаз питающей сети, от аварийного режима работы агрегата и др.

Станции управления могут выполняться на релейных и бесконтактных элементах, в том числе и логических контроллерах.

Для изучения принципа работы станции управления башенной насосной установкой рассмотрим ее релейно-контактный вариант (рис. 4.100).

В автоматическом режиме переключатель *SA* ставят в положение *A*, когда воды в башне нет, контакты верхнего *SLH* и нижнего уровня *SLL* открыты, реле *KV* выведено из цепи тока и его контакты в цепи катушки магнитного пускателя *KM* закрыты. Магнитный пускатель срабатывает и включает двигатель насоса. Одновременно замыкается контакт пускателя в цепи сигнальной лампы *HL2*, которая показывает, что электронасосный агрегат находится в работе.

Насос подает воду в башню и когда она закроет контакты *SLL* нижнего уровня, будет подготовлена цепь самоблокировки реле *KV*. При достижении водой верхнего уровня закрываются контакты *SLH* верхнего уровня, реле *KV* получает питание и своими размыкающими контактами разрывает цепь катушки магнитного пускателя *KM*. Электродвигатель насоса отключается, о чем сигнализирует лампа *HL1*. Повторное включение произойдет, когда уровень воды откроет контакты нижнего уровня *SLL*.

Защита от аварийных режимов работы насосного агрегата работает следующим образом. При срабатывании пускателя *KM* получает питание катушка реле времени *KT*.

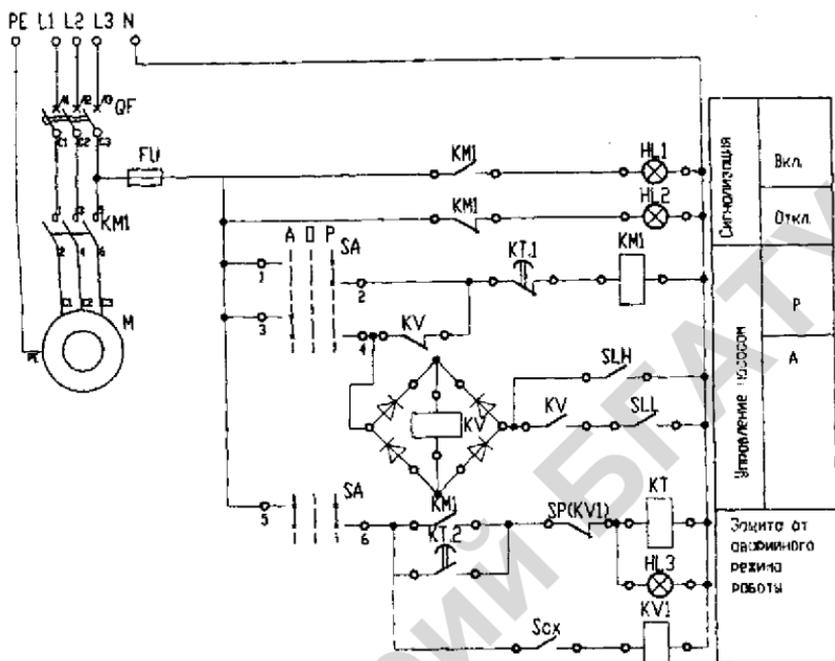


Рис. 4.100 Принципиальная электрическая схема управления башенной насосной установкой с контролем давления в напорном трубопроводе

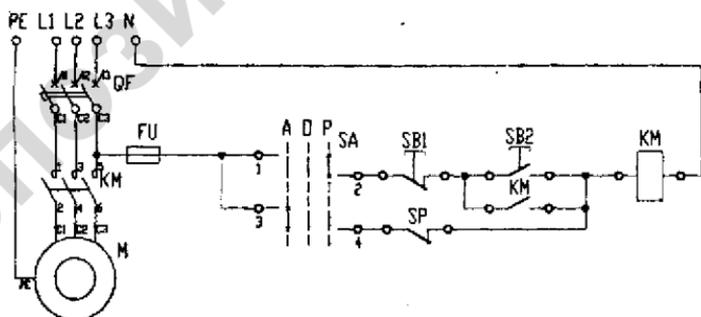


Рис. 4.101 Принципиальная электрическая схема управления водоподъемной установкой с пневматическим котлом

Насос начинает подавать воду, ее давление в напорном трубопроводе увеличивается, и при определенном значении контакты реле давления *SP* размыкаются. Катушка реле времени исключается из цепи тока, а насос продолжает работать. Его отключение или включение происходит автоматически по сигналам датчика уровней.

Если же давление в напорном трубопроводе по каким-либо причинам не восстанавливается, то контакты реле давления *SP* остаются замкнутыми, но через определенное время разомкнутся контакты реле времени *KT* в цепи катушки магнитного пускателя *KM*, который отключит электродвигатель насоса от сети. Реле времени *KT* получает питание посредством своих же замыкающих контактов. Сигнальная лампа *HL3* указывает на аварийное отключение насосной установки.

Реле давления *SP* защищает двигатель насосного агрегата от работы на холостом ходу. Без охлаждения проточной водой двигатель повреждается.

В качестве защитного устройства используются также электродные датчики сухого хода, устанавливаемые на насосном агрегате. На принципиальной схеме управления насосным агрегатом (рис. 4.101) цепи подключения датчика сухого хода показаны пунктирной линией.

Пуск двигателя насосного агрегата магнитным пускателем вызывает гидравлический удар в водопроводной магистрали и захват носка насосом, что значительно снижает надежность работы системы и сокращает срок службы насосного агрегата.

Применение в качестве пускового устройства частотного преобразователя позволяет производить плавный пуск насоса и обеспечить ряд защитных функций, выполняемых ранее станциями управления.

4.11.2 Автоматизация технологических процессов гидромелиорации

Мелиоративные системы служат для орошения почв с целью создания благоприятного водного режима для роста и развития растений, а также обводнения территорий.

Оросительные системы предназначены для пополнения запасов воды в недостаточно увлажненной почве и применяются в тех зонах, где растения систематически испытывают недостаток в воде.

Система состоит из водозаборных сооружений, каналов и распределительной сети по участкам.

Осушительные системы предназначены для отвода избытков воды от растений и осушения территорий (заболоченных земель и болот). Осушительные системы состоят из открытых водосточных каналов, закрытых дренажных водотоков и других устройств.

Обводнительные системы предназначены для снабжения водой населенных пунктов, сельскохозяйственных животных и птицы в районах, не имеющих естественных источников воды (степные и полупустынные рай-

оны). Системы состоят из прудов, небольших каналов и колодцев. Обводнительные имеют менее разветвленную распределительную сеть, чем оросительные.

Основной задачей автоматизации современных гидромелиоративных систем является обеспечение оптимального водного режима питания сельскохозяйственных культур. Для этого проектируются и строятся автоматические гидротехнические сооружения оросительных и осушительных систем с применением устройств непрерывного контроля, измерения, регулирования и управления отдельными параметрами и технологическими процессами.

Автоматизация технологических процессов гидромелиорации имеет свои особенности, обусловленные специфическими свойствами объектов управления.

Во-первых, объекты управления отличаются большими площадями, мощностями установок, объемом сооружений, рассредоточенностью по территории на сотни гектаров.

Управляемые объекты связаны через водную среду, вследствие этого возникает взаимное влияние их работы, например, изменение уровня или расхода воды в одном канале вызывает изменение этих же параметров в соседних каналах. Таким образом, процесс автоматического управления технологическими параметрами нужно осуществлять с учетом взаимосвязи их друг с другом на огромной территории.

Во-вторых, все установки должны работать синхронно и согласованно, начиная от мощных головных водозаборных узлов и кончая пунктами вывода воды на поля. В водоводах существует прямая гидравлическая связь — от вышележащих водозаборных сооружений к нижележащим водовыпускным. Для автоматизации необходима обратная связь, которую приходится организовывать по дистанционным и телемеханическим каналам связи.

В-третьих, составленные заранее планы водоиспользования требуют постоянной корректировки в зависимости от атмосферных условий, поведения грунтовых вод, состояние источников воды для орошения и других факторов.

Следовательно, для централизованного управления такими рассредоточенными системами и современной корректировки, требуется автоматизация процессов измерения, сбора и передачи на диспетчерские пункты управления большого количества информации о состоянии отдельных звеньев и параметров на многочисленных объектах, исчисляемых сотнями. В таких объектах системы автоматически должны иметь оптимальное число измерительных и исполнительных органов и в то же время обеспечивать управление параметрами во всех рассредоточенных зонах с заданной точностью и надежностью и контроль за ними.

В-четвертых, процессу транспортирования воды по водостоку характерны большие по времени запаздывания и медленные нарастания и спадания расходов, особенно в открытых каналах. Следовательно, чтобы обеспечить непрерывное управление и потребление воды, необходимо иметь резервные объемы и емкости и знать статические и динамические характеристики для каждой системы как объекта автоматизации, то есть иметь функциональные

зависимости между расходом и уровнем воды в различных створах в любой момент времени как в установившемся, так и в переходных режимах.

В-пятых, существенной особенностью большинства водохозяйственных установок является их работа на открытом воздухе при широких пределах изменения влажности, температуры, наличии примесей и взвешенных частиц пыли и песка в воздухе, под воздействием солнечной радиации и дождя в летний период, мороза и обледенения, шуги и снега в зимний период. К тому же большинство гидромелиоративных установок работает сезонно, в основном в вегетационный период, а зимой они находятся в нерабочем состоянии и при несоблюдении условий хранения подвергаются разрушению.

Поскольку методы и системы автоматики подробно изложены в курсах гидромелиоративных специальностей, то мы ограничимся общим описанием объема и задач автоматизации.

Автоматизация и телемеханизация гидромелиоративных систем включает автоматизацию оперативной службы эксплуатации оросительных систем, головных водозаборных узлов, водораспределения, полива, измерения уровня и учета воды, насосных станций.

Автоматизация и телемеханизация оперативной службы эксплуатации как межхозяйственной, так и внутрихозяйственной частей оросительных систем предназначены для выполнения всех мероприятий, связанных с централизованным учетом, контролем и управлением в сооружениях и установках без использования постоянного обслуживающего персонала.

Необходимые условия осуществления такой автоматизации — наличие механизации и электрификации всех управляемых установок и сооружений. На них устанавливают соответствующие датчики и исполнительные механизмы, а передачу информации управления и контроля на диспетчерский пункт и с него на объект осуществляют при помощи телемеханики.

На этих установках целесообразно использовать гидравлические устройства автоматики, не требующие источников электроэнергии и использующие для своей работы энергию водотока (регуляторы прямого действия).

В голове каждого распределительного водотока устанавливают телеуправляемые затворы и расходомеры для регулирования расхода и стока и телеконтроля за ними. Телеуправление и контроль осуществляют за счет энергии, передаваемой источником сигнала управления от диспетчерского пункта по проводным линиям связи малого сечения. При этом потерю напряжения в линии связи допускают до половины напряжения источников питания. Это приемлемо, так как передается малая мощность в очень короткий промежуток времени — на период перестановки регулирующих органов.

Автоматизация головных водозаборных узлов не требует относительно больших капитальных затрат, поскольку эти узлы, как правило, уже механизированы и электрифицированы, являются наиболее дорогостоящей и ответственной частью водохозяйственной системы. На них автоматизируются и телемеханизируются процессы, связанные с управлением и контролем расхода воды, уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах, учетом отпущенной воды, сбрасыванием паводковых, дождевых и других повышенных притоков

воды. Предусматривается аварийная защита от разрушений, предохранение каналов от наносов и засорений водозаборных решеток, автоматическая сигнализация и защита отдельных узлов.

Автоматизация процесса водораспределения на оросительных каналах осуществляется путем регулирования по верхнему или нижнему бьефам или одновременно по обоим бьефам.

При автоматизации регламентированного распределения воды между водопользователями головное сооружение старшего канала оборудуют автоматическим регулятором, обеспечивающим поступление в систему расчетного расхода и сохранение уровня верхнего бьефа воды независимо от колебаний уровней в нижестоящих каналах.

При автоматизации по нижнему бьефу автоматический регулятор обеспечивает поддержание заданного уровня воды в нижних каналах, то есть обеспечивает потребный расход воды водопользователями.

При регулировании по верхнему уровню бьефа на концевых частях каналов и в особо ответственных местах устанавливают автоматические сбросные сооружения — затворы-автоматы гидравлического действия для сброса в случае необходимости излишков воды, наносов и плавающих предметов.

Автоматизацию полива осуществляют как при поверхностном способе полива, так и при помощи водопроводов и дождевальных установок.

При неавтоматизированном поверхностном способе орошения требуется много ручного труда. В то же время этот способ пока преобладает, особенно в районах хлопководства и рисосеяния.

Установки автоматического полива из закрытых трубопроводов с регулированием подачи воды одной задвижкой на 300—500 борозд обеспечивают равномерное распределение воды и увлажнение почвы.

При поливе из лотков для автоматизации полива лотки делят на отсеки. На два соседних отсека устанавливают автомат горизонта, обеспечивающий постоянный уровень воды. Автоматы горизонта обеспечивают поочередное включение отсеков и подачу воды в борозды, начиная от головного отсека. Отпуск воды зависит от установки времени работы автомата, которая рассчитана на проход воды до конца борозды. При такой автоматизации производительность поливальщиков увеличивается в 10—20 раз и коэффициент земельного использования повышается до 0,95.

Полив дождеванием при помощи дождевальных машин типа «Фрегат», «Волжанка» и других осуществляют от автоматических насосных станций, работающих «на замке», по команде с диспетчерского пункта. Для этого используют устройства телеуправления и телесигнализации.

Дождевальные машины могут также автоматически управляться от устройств программного действия или от датчиков влажности почвы в зависимости от потребности во влаге. Последние используются редко из-за отсутствия работоспособных малоинерционных датчиков влажности. Часто целесообразно импульс на включение дождевания получить от датчика влажности, а отключение — через определенное время от программного устройства.

Для автоматизации измерения и учета воды гидромелиоративные системы оснащаются соответствующими приборами: самописцами уровня с измерительными органами поплавкового типа, системами учета воды с датчиками, регистрирующими расход по положению открытия затворов гидротехнических сооружений и другими.

Автоматизация насосных станций для мелиорации. В мелиоративном хозяйстве насосные станции при орошении служат для заполнения водохранилищ, подъема воды на командные отметки орошаемых полей, отвода сбросных оросительных и перекачки грунтовых вод, а при осушении — для перекачки сточных вод из каналов и коллекторов, а также для понижения уровня грунтовых вод.

Насосные станции в мелиорации отличаются высокой подачей (до сотен кубометров в секунду) и большой мощностью — до тысяч киловатт.

Электродвигатели мощностью до 300 кВт обычно используют асинхронные короткозамкнутые на напряжение 380 В и 6,3 кВ (при мощности свыше 100 кВт).

Схемы автоматизации насосных станций осуществляют пуск и остановку насосов, управление запорными задвижками, предохранение напорных трубопроводов от гидравлических ударов, защиту оборудования при авариях и сигнализацию о нормальных и ненормальных режимах работы оборудования, контроль и измерение расхода, напора, горизонтов воды и т.п.

Насосные станции в мелиорации снабжают специальными баками-аккумуляторами и вакуум-насосами для предварительной заливки основного насоса водой. При их отсутствии насосы ставят в заглубленных камерах ниже уровня водохранилища, а калено всасывающей трубы располагают выше уровня установки насоса.

Для облегчения пуска электродвигателя на напорных трубопроводах ставят электрифицированные задвижки. Насос запускают при закрытой задвижке, тогда момент сопротивления воды минимальный. Задвижка открывается автоматически после разгона агрегата и установления заданного давления и так же автоматически закрывается при отключении (рис. 4.102).

В качестве примера рассмотрим автоматизацию оросительной насосной станции с предварительной заливкой насоса водой и с управлением по уровню воды в водоприемном сооружении (рис. 4.103). В режиме ручного управления переключатель *SA* ставят в положение *P* и управляют работой оборудования при помощи кнопок *SB1–SB6*.

В автоматическом режиме переключатель *SA* ставят в положение *A*.

При понижении уровня в водоприемном сооружении до минимально допустимого значения замыкаются контакты *SL2* датчика уровня и включается реле *KV1*, которое включает электромагнитный клапан *YA*, установленный на заливной линии насоса. Насос через этот клапан заливается водой, а воздух в насосе выходит через реле залива *LS*. В конце заполнения насоса водой срабатывает реле залива и контактом *SP1* включает реле *KV2*, которое, в свою очередь, вызывает включение магнитного пускателя *KM1* и реле времени *KT*. Магнитный пускатель запускает электродвигатель *M1* привода насоса.

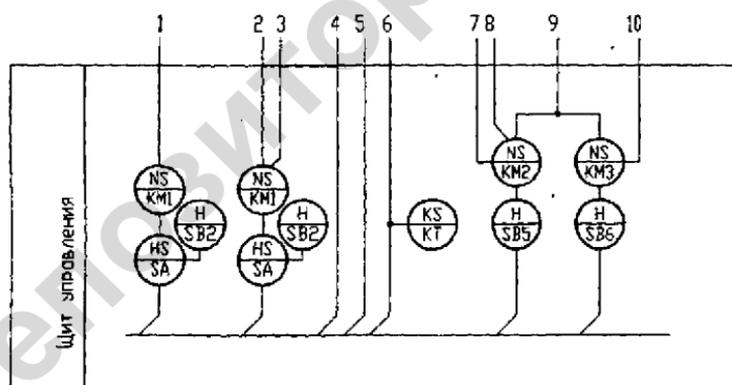
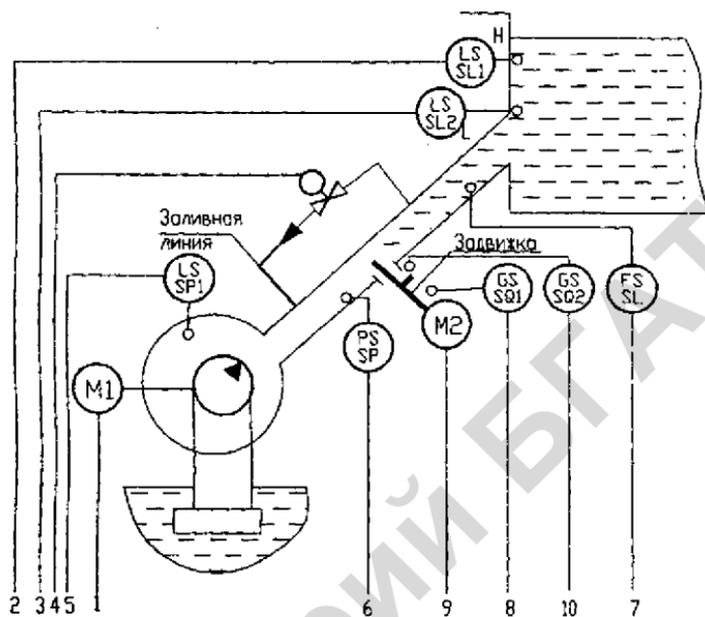


Рис. 2.102 Схема автоматизации оросительной насосной станции

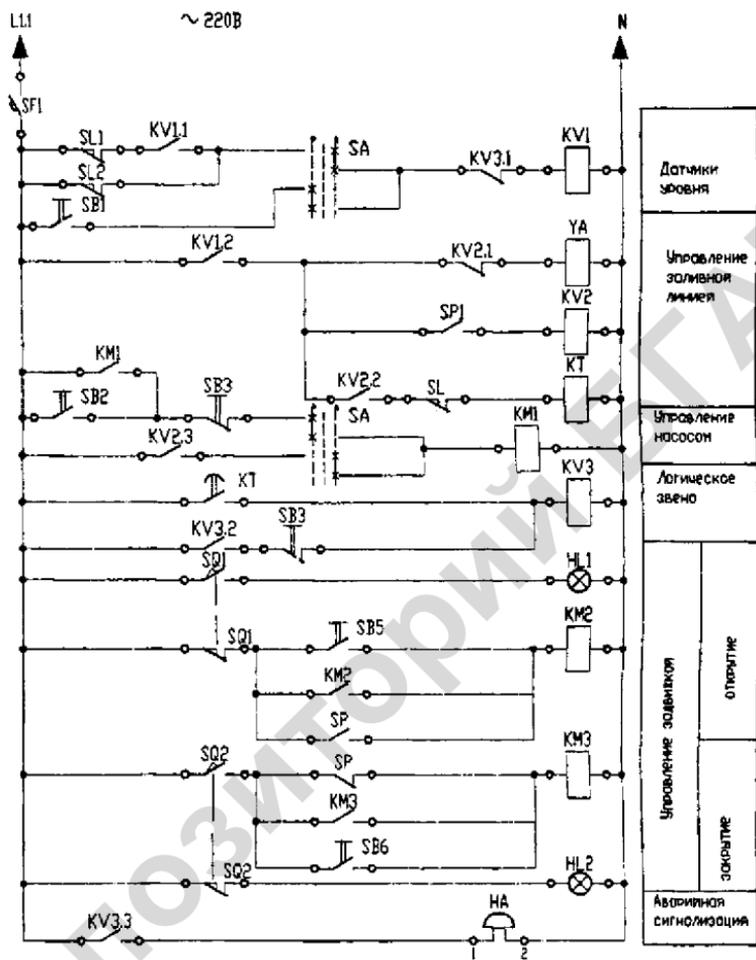


Рис. 4.103 Принципиальная электрическая схема управления оросительной насосной станцией

При разгоне двигателя в напорном патрубке создается давление, от которого срабатывает реле давления *PS*, включающее своим контактом *SP* магнитный пускатель *KM2* и двигатель *M2* на открытие задвижки на напорном трубопроводе. При полном открытии задвижки двигатель *M2* выключается конечным выключателем *SQ1*, загорается сигнальная лампа *HL1*. Одновременно переключаются контакты конечного выключателя *SQ2*, и лампа *HL2* гаснет.

Струйное реле *FS*, реагируя на движение воды в трубопроводе, размыкает свои контакты *SL* в цепи реле времени *KT* и отключает его.

Отключение насоса происходит от датчика *SL1* верхнего уровня воды в водонапорном сооружении. Его контакты размыкают цепи тока реле *KV1*, которое отключает электромагнит *YA*, реле *KV2*, а затем магнитный пускатель *KM1* и двигатель *M1* насоса. Давление воды в напорном трубопроводе снижается до статического давления столба воды со стороны водохранилища. При этом давлении контакты *SP* реле давления *PS* возвращаются в исходное положение и включают магнитный пускатель *KM3* двигателя *M2*, закрывающий задвижку. При полном закрытии контакты конечных выключателей *SQ1* и *SQ2* занимают исходное состояние, контакты *SQ2* отключают двигатель *M2*. Повторный автоматический пуск произойдет при снижении уровня воды до замыкания контактов *SL2*.

Реле времени *KT* предназначено для аварийного отключения насоса. Если, например, при пуске вода не поступает в водоприемное сооружение, то контакты *SL* струйного реле *FS* остаются замкнутыми, реле времени включает аварийное реле *KV3*, которое отключает реле *KV1* и включает аварийную сигнализацию *HA*. От реле *KV1* отключаются реле *KV2*, магнитный пускатель *KM1* и электронасос *M1* останавливается.

Аварийное реле включено до тех пор, пока обслуживающий персонал не нажмет кнопку деблокировки *SB4*. Одновременно отключится электромагнитный клапан *YA*. Такая же последовательность работы схемы на отключение насоса будет и при случайном перерыве подачи воды.

4.12 Автоматизация переработки сельскохозяйственной продукции

Автоматизация процесса свеклопереработки. В свеклоперерабатывающем отделении осуществляется извлечение сахара из растительного сырья. Сахарную свеклу, поступающую из моечного отделения, измельчают в стружку с помощью свеклорезок и подают в диффузионный аппарат (рис. 4.104). Здесь в процессе противоточного взаимодействия свекловичной стружки с водой сахар вымывается из стружки и переходит в воду. Полученный сахарный раствор, называемый диффузионным соком, откачивают насосами на дальнейшую переработку. Обессахаренная стружка (жом) удаляется из аппарата. Отжатая из жома вода (жомпрессовая вода), возвращается в аппарат.

В свеклоперерабатывающем отделении кроме диффузионного аппарата размещено различное вспомогательное оборудование: аппараты для подготовки

и подачи воды, свеклорезки, подогреватели, сборник диффузионного сока, транспортеры и др. Диффузионные аппараты являются основным оборудованием, определяющим работу всего свеклоперерабатывающего отделения.

Эффективность работы диффузионного аппарата характеризуется выходными параметрами, к которым относятся содержание сахара в диффузионном соке и в удаляемом из аппарата жоме. Характер протекания процесса обессахаривания, распределение концентрации сахара в различных точках аппарата и, следовательно, выходные параметры зависят от многих факторов.

К ним относятся: расходы свекловичной стружки и воды, их качество и температура, расход греющего пара, частота вращения транспортирующих органов, удельная нагрузка аппаратов, уровень и температура сокоотраженной смеси и ряд других, влияние которых трудно учесть.

Для обеспечения наилучших условий протекания процесса извлечения сахара важное значение имеют автоматическое дозирование воды, подаваемой в аппарат, автоматическое управление нагревом сокоотраженной смеси и загрузкой аппарата. Недостаток воды приводит к повышенному содержанию сахара в жоме, а избыток — к разжижению диффузионного сока. При недогреве циркулирующего сока и сокоотраженной смеси значительное время затрачивается на ошпаривание, а время и скорость активной диффузии сокращаются. При перегреве значительно ухудшается качество диффузионного сока, затрудняются перемещение стружки и протекание воды. Недогрузка или перегрузка аппарата стружкой вызывает плохое смывание стружки соком. Время активной диффузии и производительность аппарата определяются продолжительностью контакта свекловичной стружки с соком и условиями ее перемещения. В процессе диффузирования указанные параметры можно косвенно измерить по уровню сокоотраженной смеси и нагрузке электродвигателей привода валов.

На основании рассмотренных особенностей функционирования диффузионных аппаратов можно сформулировать основные требования к их автоматизации:

- стабилизация производительности аппарата по переработке свекловичной стружки;
- регулирование содержания сахара в жоме в заданных пределах;
- поддержание заданной концентрации диффузионного сока.

На свеклосахарных заводах наиболее распространены колонные и наклонные диффузионные аппараты, для которых разработаны соответствующие схемы автоматизации. Наклонный диффузионный аппарат, схема которого приведена на рис. 4.104, представляет собой корытообразный корпус, охватывающий транспортирующие стружку шнеки. На корпусе смонтированы жомовыгрузочное устройство, приводы транспортирующих шнеков и жомовыгрузочного устройства, системы обогрева и коммуникации. Корпус аппарата наклонен к горизонтالي под углом 11° . Размеры аппарата зависят от расчетной производительности: длина от 22 до 35 м, ширина от 5 до 8 м, высота от 7 до 10 м.

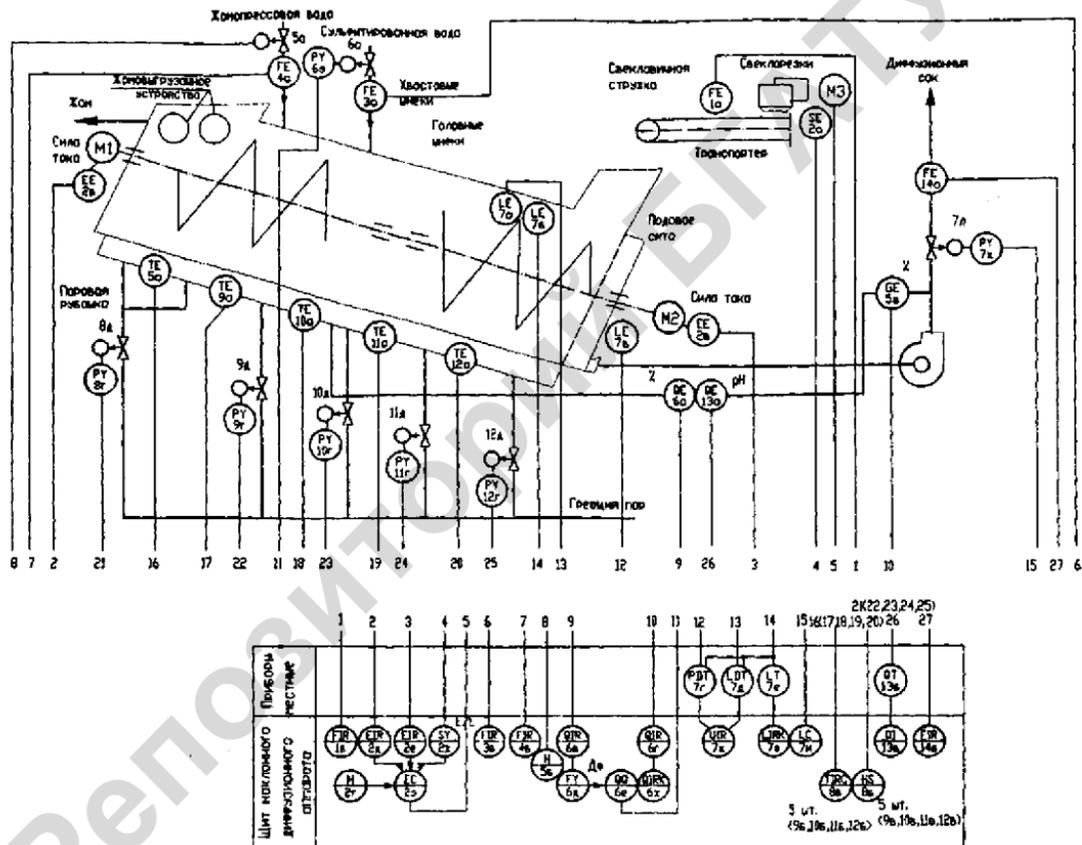


Рис. 4.104 Схема автоматизации наклонного диффузионного аппарата

Наклонный диффузионный аппарат функционирует следующим образом. Свекловичная стружка из свеклорезок ленточным транспортером подается в приемный бункер, расположенный в нижнем (головном) конце аппарата. В верхнюю часть аппарата (хвостовую), подается горячая вода. Стружка, заполняя почти все внутреннее пространство корпуса, перемещается вдоль аппарата к его хвостовой части с помощью двух пар шнеков: головной и хвостовой, которая служит продолжением головной. Валы шнеков приводятся во вращение электродвигателями постоянного тока, причем головная и хвостовая пары шнеков вращаются независимо друг от друга. Частоту вращения транспортирующих шнеков можно изменять.

Перемещаясь от головной части к хвостовой, свекловичная стружка обессахаривается и превращается в жом, а вода, движущаяся в противотоке со стружкой, обогащается сахаром и превращается в диффузионный сок. Жом выгружается из хвостовой части аппарата с помощью ленточных шнеков. Полученный диффузионный сок отделяется от свекловичной стружки на лобовом сите. Для улучшения диффузии молекул сахара из клеток свеклы в раствор сокостружечная смесь в аппарате обогревается с помощью паровой рубашки, представляющей собой разделенный на несколько секций кожух, охватывающий снизу корпус аппарата.

Наклонный диффузионный аппарат как объект автоматического управления имеет ряд особенностей, существенно осложняющих его автоматизацию. Это, во-первых, значительная инерционность, обусловленная размерами аппарата, массой содержащейся в нем сокостружечной смеси. Во-вторых, это большое количество входных, выходных и промежуточных параметров, многие из которых связаны между собой перекрестными зависимостями (выходные и промежуточные параметры зависят от многих входных). И, в-третьих, это распределенность таких важных параметров, как температура сокостружечной смеси и содержание в ней сахара.

По каналу автоматического регулирования концентрации диффузионного сока в наклонном диффузионном аппарате расстояние между точкой измерения выходной величины и точкой введения регулирующего воздействия — изменения расхода воды составляет почти 20 м. В результате этого время чистого запаздывания, определяемое временем преодоления водой указанного расстояния, заполненного движущейся навстречу ей стружкой, достигает 20 мин, а постоянная времени объекта по этому каналу превышает 20 мин. Эффективное автоматическое регулирование объектов со столь неблагоприятными динамическими свойствами возможно лишь путем построения многоконтурных систем регулирования с использованием дополнительной оперативной информации о ходе процесса обессахаривания стружки, рассмотренных в главе 1.

Производительность диффузионных аппаратов и полнота извлечения сахара из стружки в значительной степени определяются скоростью перемещения стружки и ее массой, приходящейся на единицу объема корпуса, называемой удельной нагрузкой. Непосредственное регулирование этих параметров, т. е. скорости перемещения стружки и удельной нагрузки, в настоя-

щее время не представляется возможным из-за отсутствия измерительных приборов, поэтому для их стабилизации применяют косвенные способы. Удельную нагрузку оценивают по величине токов электродвигателей приводов транспортирующих органов и регулируют путем изменения частоты их вращения или расхода свекловичной стружки. Время чистого запаздывания и инерционность наклонного диффузионного аппарата по каналу регулирования удельной нагрузки соразмерны с их значениями в канале стабилизации концентрации диффузионного сока.

Задача поддержания температурного режима осложняется большой массой обогреваемой сокоотрующей смеси. Чистое запаздывание здесь составляет 10–15 мин, а постоянные времени — до 30 мин. На входе объекта часто возникают глубокие возмущения по расходу стружки.

Рассмотрим схему автоматизации наклонного диффузионного аппарата А1-ДС-20, приведенную на рис. 4.104.

Автоматическое регулирование удельной нагрузки аппарата осуществляется путем изменения частоты вращения, а, следовательно, и производительности одной из свеклорезок. Величина удельной нагрузки аппарата характеризуется током электродвигателей хвостовых половин транспортирующих шнеков. АСР построена по двухконтурной схеме с использованием в качестве дополнительной оперативной информации величины тока электродвигателей головных половин транспортирующих шнеков. Токи электродвигателей шнеков измеряются с помощью калиброванных шунтов 2б и 2в типа 75ШС автоматическими потенциометрами 2д и 2е типа КСП-3 и преобразуются в унифицированные токовые сигналы 0–5 мА. Расход свекловичной стружки измеряется ленточными весами типа ЛТМ-1 с индукционным датчиком 1а и вторичным прибором 1б типа КСД-3. В зависимости от изменения токов электродвигателей транспортирующих шнеков регулирующей прибор 2з типа РП4-У-28 вырабатывает дискретный выходной сигнал, воздействующий на серводвигатель шунтового реостата возбуждения электропривода свеклорезок. Для увеличения запаса устойчивости в АСР удельной нагрузки введена обратная связь по частоте вращения свеклорезки. Частота вращения свеклорезки измеряется тахогенератором 2а типа ТМГ-30, выходной сигнал которого через делитель напряжения 2ж подается на вход регулирующего прибора 2з. Номинальная частота вращения свеклорезки устанавливается с помощью ручного задатчика 2г типа ЗД-50.

Автоматическое регулирование концентрации диффузионного сока осуществляется путем воздействия на расход воды, подаваемой в диффузионный аппарат. Для обеспечения необходимого качества регулирования при значительных постоянных времени и чистом запаздывании применена двухконтурная структура АСР с использованием в качестве дополнительного сигнала изменение концентрации сахара в сокоотрующей смеси в средней точке аппарата. Регулирующий блок 6е типа ПР3.34 воспринимает сигнал о величине и скорости изменения концентрации сахара в сокоотрующей смеси и вырабатывает регулирующий сигнал, направленный на устранение возникшего нарушения нормального течения процесса. Если этого воздействия

оказывается недостаточно и на выходе объекта возникает отклонение концентрации диффузионного сока от заданного значения, регулирующий блок *бе* вырабатывает добавочный корректирующий сигнал того же знака. Содержание сухих веществ, характеризующее содержание сахара, измеряется автоматическими рефрактометрами *ба* и *бб* типа А1-ЕДР, вторичные приборы которых — автоматические мосты *бв* и *бг* типа КСМ-3 преобразуют электрические сигналы, пропорциональные изменению содержания сухих веществ, в пневматические унифицированные сигналы 0,2–1,0 мПа. Прибор прямого предвещения ПФ2.1 вводит в сигнал, пропорциональный содержанию сухих веществ в сокоотружечной смеси, составляющую, пропорциональную скорости изменения этой величины. Регулирующий блок *бе*, установленный на вторичном пневматическом приборе *бж* типа ПВ10.1Э, формирует пневматический регулирующий сигнал в зависимости от содержания сухих веществ в диффузионном соке и сокоотружечной смеси. Регулирующее воздействие вводится пневматическим регулирующим клапаном *би* типа 25ч3Онж.

Для автоматического поддержания заданного температурного режима рассматриваемый диффузионный аппарат, учитывая протяженность, разбивают на шесть локальных объектов-секций, которые с достаточной для практики точностью можно представить как объекты с сосредоточенными параметрами. К каждой из секций подводится греющий пар. Температуру сокоотружечной смеси регулируют обособленно в каждой из первых пяти секций путем воздействия на расход греющего пара. Датчиками температуры служат медные термометры сопротивления *8а*, *9а*, *10а*, *11а* и *12а* типа ТСМ-5071. Вторичные приборы — автоматические мосты *8б*, *9б*, *10б*, *11б* и *12б* типа КСМ-3 воспринимают сигналы об изменении температуры в соответствующих секциях аппарата и преобразуют их с помощью встроенных пневматических пропорционально-интегральных регулирующих блоков. Под действием выходных сигналов регулирующих блоков клапаны *8д*, *9д*, *10д*, *11д*, *12д* типа 25ч3Онж изменяют расход пара, подводимого соответственно к пятой, четвертой, третьей, второй и первой секциям. Позиционеры *8г*, *9г*, *10г*, *11г*, *12г* типа ПР10-100 увеличивают быстродействие и линеаризуют статические характеристики регулирующих клапанов.

Необходимая продолжительность контакта свежловичной стружки с соком достигается путем автоматической стабилизации уровня сока в головной части наклонного диффузионного аппарата. Уровень измеряется пьезометрическим способом с помощью дифманометра *Те* типа ДС-П. Пневматический сигнал, характеризующий уровень сока, поступает от датчика *7е* на вторичный прибор *7з* типа ПВ10.1Э и статический регулирующий блок *7и* типа ПР2.8. Применение пропорционального закона регулирования обусловлено динамическими свойствами объекта, который по каналу «расход сока — уровень» является интегрирующим звеном. Регулирующее воздействие — изменение расхода диффузионного сока, отбираемого из аппарата, вводится с помощью регулирующего клапана *7л* типа 25ч3Онж, установленного на трубопроводе откачки диффузионного сока.

Перепады уровня сокоотрующей смеси по длине аппарата и на лобовом сите, так же, как и уровень сока в головной части аппарата, измеряются пьезометрическим способом. Способ заключается в измерении давления или перепада давлений воздуха, продуваемого через трубку, опущенную в контролируемую среду. Перепады давления измеряются дифманометрами 7г и 7д типа ДС-П и записываются на диаграмме вторичного показывающего и самопишущего прибора 7ж типа ПВ4.3Э. Расходы питательной, сульфитированной и жомопрессовой воды и диффузионного сока измеряются индукционными расходомерами типа 5РИМ, состоящими из датчиков 3а, 4а, 14а и вторичных самопишущих приборов 3б, 4б, 14б. Расход свековичной стружки измеряется ленточными весами типа ЛТМ-1 со встроенным дифференциально-трансформаторным датчиком 1а, изменение состояния которого фиксируется вторичным прибором 1б типа КСД-3.

Изменение *pH* сокоотрующей смеси в средней части диффузионного аппарата позволяет судить об интенсивности размножения микроорганизмов, разлагающих сахар. Система контроля *pH* состоит из чувствительного элемента 13а типа ДМ-М, преобразователя 13б типа *pH*-202.1 и вторичного показывающего и самопишущего прибора 13в типа Н-342К.

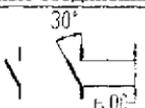
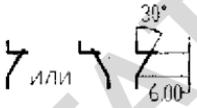
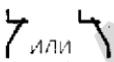
**Список нормативов, определяющих требования
к оформлению документации проекта автоматизации**

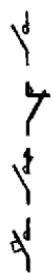
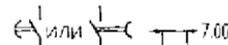
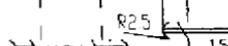
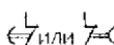
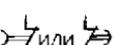
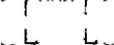
1. ГОСТ 2.004–88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.
2. ГОСТ 2.108–68 ЕСКД. Спецификация.
3. ГОСТ 2.301–68 ЕСКД. Форматы.
4. ГОСТ 2.302–68 ЕСКД. Масштабы.
5. ГОСТ 2.303–68 ЕСКД. Линии.
6. ГОСТ 2.304–68 ЕСКД. Шрифты чертежные.
7. ГОСТ 2.305–68 ЕСКД. Изображения — виды, разрезы, сечения.
8. ГОСТ 2.701–84 ЕСКД. Схемы, Виды и типы. Общие требования к выполнению.
9. ГОСТ 2.702–75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
10. ГОСТ 2.710–81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
11. ГОСТ 2.721–74 Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.
12. ГОСТ 2.722–69 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
13. ГОСТ 2.723–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.
14. ГОСТ 2.725–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие.
15. ГОСТ 2.727–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители.
16. ГОСТ 2.728–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы. Конденсаторы.
17. ГОСТ 2.729–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы: электроизмерительные.
18. ГОСТ 2.730–73 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
19. ГОСТ 2.731–81 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы: электровакуумные.
20. ГОСТ 2.732–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники света.
21. ГОСТ 2.741–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы акустические.
22. ГОСТ 2.742–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники тока электротехнические.

23. ГОСТ 2.743–91 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
24. ГОСТ 2.747–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений.
25. ГОСТ 2.751–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Электрические связи, провода, кабели и шины.
26. ГОСТ 2.752–71 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства телемеханики.
27. ГОСТ 2.755–87 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.
28. ГОСТ 2.756–76 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств.
29. ГОСТ 2.780–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы гидравлических и пневматических сетей.
30. ГОСТ 2.781–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты гидравлические и пневматические направляющие и регулирующие, приборы контрольно-измерительные.
31. ГОСТ 2.782–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Насосы и двигатели гидравлические и пневматические.
32. ГОСТ 2.784–70 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы трубопроводов.
33. ГОСТ 2.785–70 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Арматура трубопроводная.
34. ГОСТ 2.788–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты выпарные.
35. ГОСТ 2.789–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты теплообменные.
36. ГОСТ 2.790–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты колонные.
37. ГОСТ 2.791–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Отстойники и фильтры.
38. ГОСТ 2.792–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты сушильные.
39. ГОСТ 2.793–79 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы и устройства машин и аппаратов химических производств. Общие обозначения.
40. ГОСТ 2.794–79 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства питающие и дозирующие.
41. ГОСТ 2.795–80 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Центрифуги.
42. ГОСТ 8,417–81 ГСИ. Единицы физических величин.
43. ГОСТ 21.101–93 СПДС. Основные требования к рабочей документации.
44. ГОСТ 21.110–95 СПДС. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.

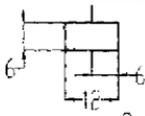
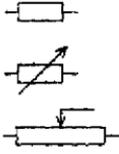
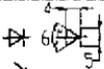
45. ГОСТ 21.114-95 СПДС. Правила выполнения эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий.
46. ГОСТ 21.401-88 СПДС. Технология производства. Основные требования к рабочим чертежам.
47. ГОСТ 21.404-85 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.
48. ГОСТ 21.408-93 СПДС. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.
49. ГОСТ 21.614-88 СПДС. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах.
50. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.
51. ГОСТ 14202-69 Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.
52. ОСТ 36.13-90 Щиты и пульты систем автоматизации.
53. РМ 3-54-85 Инструкция по монтажу электрических проводок внутри щитов и пультов.
54. РМ 3-63-85 Инструкция по монтажу трубных проводок внутри щитов и пультов.
55. РМ 4-64-74 Чертежи мнемонических схем на щитах и пультах управления. Указания по оформлению.
56. РМ 3-82-90 Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов. Особенности применения. Пособие к ОСТ 36.13-90.
57. РМ 4-51-90 Системы автоматизации технологических процессов. Принципы компоновки щитов и пультов. Пособие к РМ 4-107-82.
58. РМ 4-107-82 Системы автоматизации технологических процессов. Требования к выполнению проектной документации на щиты и пульты.
59. РМ 4-184-81 Системы автоматизации технологических процессов. Электроаппаратура, поставляемая комплектно со щитами и пультами по ОСТ 36.13-90, монтажные символы.
60. РМ 2591-90 Рекомендуемые расстояния между приборами на фасадах щитов и пультов.

Условные графические обозначения, наиболее широко применяемые в принципиальных электрических схемах проекта автоматизации

Наименование	Обозначение
ГОСТ 2.755-87 Устройства коммутационные и контактные соединения	
Базовые обозначения контактов:	
1) замыкающих	
2) размыкающих	
3) переключающих	
4) переключающих с нейтральным положением	
Квалифицирующие символы, используемые для пояснения принципа работы коммутационных устройств:	
1) функция контактора	
2) функция выключателя	
3) функция разъединителя	
4) функция выключателя-разъединителя	
5) автоматическое срабатывание	
6) функция путевого или концевого выключателя	
7) самовозрат	
8) отсутствие самовозрата	
9) дугогашение	
Обозначения 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 помещают на неподвижных контактах-деталях, а 5 и 6 на подвижных контактах-деталях.	
Примеры построения обозначений	
Контакт без самовозрата:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
Контакт переключающий с нейтральным центральным положением, с самовозратом из левого положения и без возврата из правого положения.	
	

Наименование	Обозначение
Контакт контактора: 1) замыкающий 2) размыкающий 3) замыкающий дугогасительный 4) замыкающий с автоматическим срабатыванием	
Контакт выключателя	
Контакт автоматического выключателя:	
1) однополюсный	
2) трехполюсный	
Контакт концевого выключателя:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
Контакт чувствительный к температуре:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
Контакт замыкающий, действующий с замедлением:	
1) при срабатывании	
2) при возврате	
3) при срабатывании и возврате	
Контакт, размыкающий с замедлением, действующим:	
1) при срабатывании	
2) при возврате	
3) при срабатывании и возврате	

Наименование	Обозначение
<p>Контакт замыкающий нажимного кнопочного выключателя без самовозврата, с размыканием и возвратом элемента управления:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) автоматически 2) посредством вторичного нажатия кнопки 3) посредством вытягивания 	
<p>Выключатель ручной</p>	
<p>Выключатель электромагнитный (реле)</p>	
<p>Контакт теплового реле</p>	
<p>Переключатель однополюсный многопозиционный (пример шестипозиционного)</p>	
<p>Переключатель со сложной коммутацией изображают на схеме одним из следующих способов:</p>	
<p>1) общее обозначение (пример обозначения 18-типозиционного роторного переключателя с шестью зажимами, обозначенными от А до F)</p>	
<p>2) обозначение, составленное согласно конструкции</p>	
<p>3) Третий способ</p>	
<p>Переключатель двухполюсный, трехпозиционный с нейтральным положением</p>	
<p>Контакт контактного соединения:</p>	
<p>1) разъёмного соединения - штырь - гнездо</p>	
<p>2) разборного соединения</p>	
<p>3) неразборного соединения</p>	

Наименование	Обозначение
ГОСТ 2.756-76 Воспринимающая часть электромеханических устройств	
Катушка электромеханического устройства. Общее обозначение.	
Воспринимающая часть электротеплового реле.	
ГОСТ 2.732-68 Источники света	
Лампа накаливания сигнальная	
ГОСТ 2.741-68 Приборы акустические	
Звонок электрический. Общее обозначение.	
ГОСТ 2.722-68 Машины электрические	
Статор	
Ротор	
ГОСТ 2.727-68 Разрядники, предохранители	
Предохранитель плавкий	
ГОСТ 2.728-74 Резисторы, конденсаторы	
Резистор	
<ul style="list-style-type: none"> - постоянный; - переменный; - регулируемый. 	
Конденсатор постоянной емкости. Общее обозначение.	
ГОСТ 2.730-73 Приборы полупроводниковые	
Дiod. Общее обозначение.	
Фоторезистор	
Фотодиод	
Светодиод	

**Буквенные коды наиболее распространенных видов элементов
по ГОСТ 2.710-81, используемых для построения позиционного
обозначения элементов**

Однобуквенный код	Группа видов элементов	Пример вида элементов	Двухбуквенный код
1	2	3	4
A	Устройство (общее обозначение)	Усилители, <u>приборы</u> , <u>регуляторы</u>	-
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические или наоборот; аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики, используемые для указания или измерения	Громкоговоритель Магнитоотрицательный элемент Детектор ионизирующих элементов Сельсин-приемник <u>Тепловой датчик</u> <u>Фотоэлемент</u> Микрофон <u>Датчик давления</u> Пьезоэлемент <u>Датчик скорости</u> Звукосниматель <u>Датчик частоты вращения</u> (тахогенератор)	BA BB BD BE BK BL BM BP BQ BV BS BR
C	Конденсаторы		
D	Микросхемы интегральные, микросборки	Микросхемы интегральные аналоговые Микросхемы интегральные цифровые, логические элементы Устройство хранения информации Устройство задержки	DA DD DS DT
E	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная Пиропатрон	EK EL ET
F	Разрядники, предохранители	Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия	FU FA
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор световой сигнализации	HA HG H
K	Реле, конденсаторы, пускатели	Реле указательное Реле токовое Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле поляризованное Реле времени Реле напряжения	KH KA KK KM KP KT KV

1	2	3	4
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели		
P	Приборы, измерительное оборудованиe	Амперметр Счетчик импульсов Частотомер Счетчик реактивной энергии Счетчик активной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы Вольтметр Ваттметр	PA PC PF PK PJ PR PS PT PV PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т. д.)	Выключатель автоматический Разъединитель Короткозамыкатель	QE QS QK
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Варистор	RK RP RS RV
S	Устройства коммутационные в цепях измерительных, управления и сигнализации	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: <u>от уровня</u> <u>от давления</u> <u>от положения (путевой)</u> <u>от частоты вращения</u> <u>от температуры</u>	SA SB SF SL SP SQ SR SK
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока Трансформатор напряжения Электромагнитный стабилизатор	TA TV TS
U	Устройства связи и преобразования электрических величин в электрические	Модулятор Демодулятор Дискриминатор Преобразователь частотный	UB UR UJ UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон Прибор электровакуумный Транзистор Тиристор	VD VL VT VS
W	Линии и элементы СВЧ		

1	2	3	4
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединение неразборное Гнездо испытательное Штырь испытательный Соединитель высокочастотный	XA XP XS XT XW XSJG XPJG XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом	YA YB YC
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ

Основные требования к оформлению листов графического и текстового материалов проекта автоматизации

Согласно требованиям ГОСТ 21.101–93 «СПДС. Основные требования к рабочей документации» рабочие чертежи, предназначенные для производства строительных и монтажных работ, объединяют в комплекты по маркам. Каждому основному комплекту рабочих чертежей присваивают обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис — марку основного комплекта.

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

АТХ — системы автоматизации технологических процессов (контроль и регулирование технологических параметров, системы автоматизированного управления технологическим процессом, диспетчеризация технологического процесса, автоматического узла, установки);
 АПУ — автоматизация систем пылеудаления;
 АОВ — автоматизация систем отопления и вентиляции;
 АВК — автоматизация систем водоснабжения и канализации;
 АНВ — автоматизация наружных систем водоснабжения (насосные станции, системы оборотного водоснабжения);
 АНВК — автоматизация наружных систем водоснабжения и канализации;
 АГСВ — автоматизация газораспределительных устройств;
 АГСН — автоматизация газораспределительных пунктов;
 АТС — автоматизация устройств теплоснабжения (тепловых пунктов);
 АТМ — автоматизация тепломеханических решений котельных;
 АПГ — автоматизация систем пажаротушения, пылеудаления;
 АХС — автоматизация холодильной установки;
 АВС — автоматизация компрессорной станции (установки воздухообеспечения).

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

Каждый лист графического и текстового документа должен иметь основную надпись и дополнительные графы к ней. Расположение основной надписи, дополнительные графы к ней, а также размеры рамок должны соответствовать указанным в приложении Е ГОСТ 21.101 (приведено на рис. Г.1).

Основную надпись оформляют:

- на листах основных комплектов рабочих чертежей и основных чертежах проектной документации — по форме 3 ГОСТ 21.101 (рис. Г.2);
- на 1-м листе чертежей — по форме 4 ГОСТ 21.101 (рис. Г.3);
- на первых листах текстовых документов и эскизных чертежах общих видов нетиповых изделий — по форме 5 ГОСТ 21.101 (рис. Г.4);

- на последующих листах чертежей строительных изделий, текстовых документов и эскизных чертежах общих видов — по форме 6 ГОСТ 21.101 (рис. Г.5).

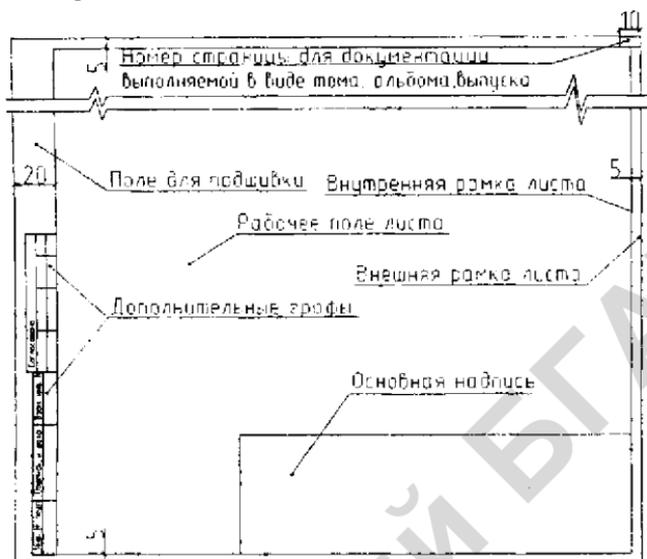
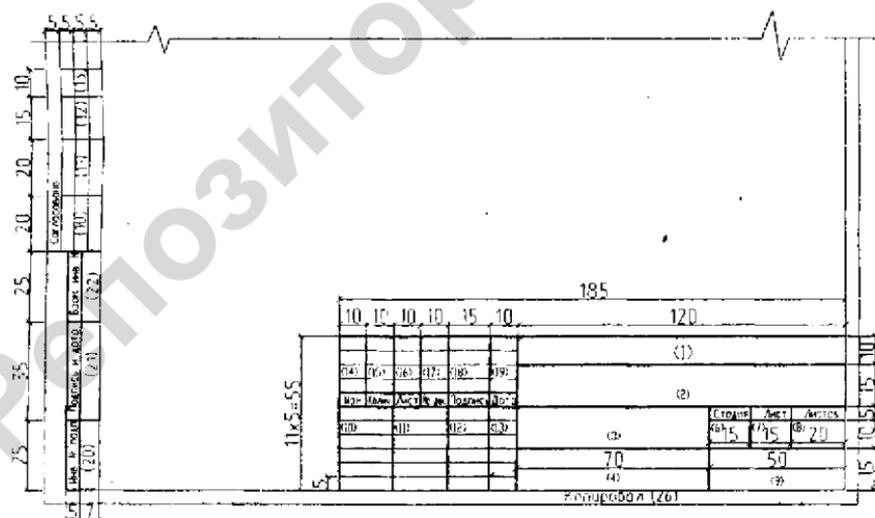


Рис. Г.1 Расположение основной надписи, дополнительных граф к ней и размерных рамок на листах



Form 4 is a technical drawing template for the first sheet of construction drawings. It features a main title block on the left with fields for 'Изм. №' (Change No.), 'Исполн.' (Author), 'Дата' (Date), and 'Лист №' (Sheet No.). To the right is a grid of 10 columns (1-10) and 4 rows (1-4) for the main title. Below this is a table with 4 columns (1-4) and 2 rows (1-2) for additional information. The bottom right corner contains a table with 3 columns (1-3) and 2 rows (1-2) for 'Контракт' (Contract) and 'Лист' (Sheet) details. Dimensions include 185 for the main title block height, 120 for the grid width, and 70 for the bottom table height. A note 'Контракт (26)' is located at the bottom center.

Рис. Г.3 Форма 4 — основные надписи и дополнительные графы к ней для чертежей строительных изделий (первый лист)

Form 5 is a technical drawing template for the first sheets of text documents. It has a similar layout to Form 4, with a main title block on the left and a grid of 10 columns (1-10) and 4 rows (1-4) for the main title. The bottom right corner contains a table with 3 columns (1-3) and 2 rows (1-2) for 'Контракт' (Contract) and 'Лист' (Sheet) details. Dimensions include 185 for the main title block height, 120 for the grid width, and 70 for the bottom table height. A note 'Контракт (26)' is located at the bottom center.

Рис. Г.4 Форма 5 — основные надписи и дополнительные графы к ней для всех видов текстовых документов (первые листы)

Form 6 is a technical drawing template for subsequent sheets of construction drawings and text documents. It features a main title block on the left with fields for 'Изм. №' (Change No.), 'Исполн.' (Author), 'Дата' (Date), and 'Лист №' (Sheet No.). To the right is a grid of 10 columns (1-10) and 4 rows (1-4) for the main title. The bottom right corner contains a table with 3 columns (1-3) and 2 rows (1-2) for 'Контракт' (Contract) and 'Лист' (Sheet) details. Dimensions include 185 for the main title block height, 120 for the grid width, and 70 for the bottom table height. A note 'Контракт (26)' is located at the bottom center.

Рис. Г.5 Форма 6 — основные надписи и дополнительные графы к ней для чертежей строительных изделий и всех видов текстовых документов (последующие листы).

В графах основной надписи и дополнительных графах к ней указывают:

- в графе 1 — обозначение документа;
- в графе 2 — наименование предприятия, в состав которого входит здание, или наименование микрорайона (согласно СТБ БГАТУ тема проекта);
- в графе 3 — наименование здания (сооружения);

- в графе 4 — наименование изображений, помещенных на данном листе;
- в графе 5 — наименование изделия и/или наименование документа;
- в графе 6 — условное обозначение стадии «строительный проект» — «С»;
- в графе 7 — порядковый номер листа. На документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют;
- в графе 8 — общее число листов документа;
- в графе 9 — наименование или различительный индекс организации, разработавшей документ;
- в графе 10 — характер работы (разработал, проверил, нормоконтроль, утвердил); допускается свободные строки заполнять по усмотрению разработчика должностными лиц, ответственных за выпуск документа;
- в графах 11–13 — фамилии и подписи лиц, указанных в графе 11, и дату подписания;
- в графах 14–19 — графы таблицы изменений;
- в графе 20 — инвентарный номер подлинника;
- в графе 21 — подпись лица, принявшего подлинник на хранение, и дату приемки (число, месяц, год);
- в графе 22 — инвентарный номер подлинника документа, взамен которого выпущен подлинник;
- в графе 23 — обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);
- в графе 24 — массу изделия, изображенного на чертеже, в килограммах без указания единицы измерения;
- в графе 25 — масштаб;
- в графе 26 — подпись лица, копировавшего чертёж.

Приведем основные формы документов, используемых в проекте автоматизации технологических процессов. На рис. Г.7 представлена форма перечня элементов принципиальной электрической схемы. На рис. Г.8 представлена форма перечня составных частей щита. На рис. Г.9 представлена форма таблицы надписей на табло и в рамках. На рис. Г.10 представлена форма таблицы соединений. На рис. Г.11 представлена форма таблицы подключений.

20		110		10		185	
15	Летим обозначения	Наименование	Кол.	Примечание			
8							

Рис. Г.7 Форма перечня элементов принципиальной электрической схемы

185				
15	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол. Примеч.
8				

Рис. Г.8 Форма перечня составных частей щита

185					
20	Надписи на табло и в рамках				
15	N надписи	Текст надписи	Кол.	N надписи	Текст надписи
8					

Рис. Г.9 Форма таблицы надписей на табло и в рамках

185				
18	Провод-ник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода
8				Приме-чание

Рис. Г.10 Форма таблицы соединений

185									
15	Провод-ник	Выход	Вид конп.	Выход	Провод-ник	Провод-ник	Выход	Вид конп.	Выход
8									Провод-ник

Рис. Г.11 Форма таблицы подключений

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация технологических процессов пищевых производств / Под ред. Е.Б. Карпина. — Москва : Пищевая промышленность, 1977. — 432 с.
2. Автоматика на сельскохозяйственных предприятиях : справочник. — Москва : Россельхозиздат, 1978. — 272 с.
3. Борисовец, К.Ф. Производство молока на промышленных комплексах / К.Ф. Борисовец [и др.]. — Минск : Ураджай, 1975. — 207 с.
4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Н.М. Недилько. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 368 с.
5. Бохан, Н.И. Автоматизация сельскохозяйственных тепловых процессов и установок / Н.И. Бохан, Л.С. Герасимович. — Горки, 1983. — 99 с.
6. Бохан, Н.И. Автоматизация механизированных процессов в растениеводстве / Н.И. Бохан, И.С. Нагорский. — Москва : Колос, 1982. — 176 с.
7. Бохан, Н.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники / Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев. — Минск : Ураджай. — 376 с.
8. Герасимович, Л.С. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / Л.С. Герасимович [и др.]. — Москва : Колос, 1980. — 391 с.
9. Гельфейнбейн, С.П. Электроника и автоматики в мобильных сельхозмашинах / С.П. Гельфейнбейн, В.Л. Волчанов. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 264 с.
10. Грейнер, Г.Р. Проектирование бесконтактных управляющих логических устройств промышленной автоматики / Г.Р. Грейнер, В.П. Ильяшенко, В.П. Май. — Москва : Энергия, 1977. — 382 с.
11. Гутников, В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В.С. Гутников. — Ленинград : Энергоатомиздат, 1988. — 303 с.
12. Дубровский, В.А. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования : в 2 ч. / В.А. Дубровский [и др.]. — Киев : Наукова думка, 1981. — 940 с.
13. Короткевич, В.А. Оператору по приготовлению и дозировке кормов / В.А. Короткевич, С.Н. Фурсенко. — Минск : Ураджай, 1977. — 110 с.
14. Краусп, В.Р. Комплексная автоматизация в промышленном животноводстве / В.Р. Краусп. — Москва : Машиностроение, 1980. — 214 с.
15. Кудрявцев, И.Ф. Автоматизация производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах / И.Ф. Кудрявцев, О.Б. Карасев, Л.Н. Матюнина. — Москва : Агропромиздат, 1985. — 223 с.
16. Кудрявцев, И.Ф. Автоматизация производственных процессов на фермах / И.Ф. Кудрявцев, О.С. Шкляр, Л.Н. Матюнина. — Москва : Колос, 1977. — 288 с.
17. Левин, Б.К. Регулирование парокотельных установок пищевых предприятий / Б.К. Левин. — Москва : Агропромиздат, 1987. — 224 с.
18. Мартыненко, И.И. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматики / И.И. Мартыненко. — Москва : Колос, 1981. — 304 с.

19. Мурусидзе, Д.Н. Установка для создания микроклимата на животноводческих фермах / Д.Н. Мурусидзе [и др.]. — Москва : Колос, 1979. — 327 с.
20. Олейников, В.Д. Агрегаты и комплексы для послеуборочной обработки зерна / В.Д. Олейников, В.В. Кузнецов, Г.И. Гозман. — Москва : Колос, 1977.
21. Рыжов, С.В. Комплект оборудования кормоцеха КОРК-15 / С.В. Рыжов. — Москва : Агропромиздат, 1985. — 128 с.
22. Рысс, А.А. Справочник сельского теплотехника / А.А. Рысс. — Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 1990. — 951 с.
23. Животноводческие машины : справочное пособие. — Москва : Машиностроение, 1975. — 329 с.
24. Рысс, А.А. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах / А.А. Рысс, Л.И. Гурвич. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 127 с.
25. Славин, Р.М. Комплексная механизация и автоматизация промышленного птицеводства / Р.М. Славин. — Москва : Колос, 1978. — 320 с.
26. Славин, Р.М. Автоматизация процессов в животноводстве и птицеводстве / Р.М. Славин. — Москва : Агропромиздат, 1991. — 397 с.
27. Сташин, В.В. Проектирование цифровых на однокристалльных микроконтроллерах / В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — 224 с.
28. Судаченко, В.Н. Механизация и автоматизация работ в защищенном грунте / В.Н. Судаченко [и др.]. — Ленинград : Колос, 1982. — 223 с.
29. Техника проектирования систем автоматизации технологических процессов : справочное пособие / под ред. Л.П. Шипетина. — Москва : Машиностроение, 1976. — 495 с.
30. Тимофеев, П.А. МикроЭВМ в системах управления оборудованием / П.А. Тимофеев, В.С. Дубровин, В.С. Петровский. — Москва : Высшая школа, 1988. — 127 с.
31. Токхейм, Р. Основы цифровой техники : [пер. с англ.] / Р. Токхейм. — Москва : Мир, 1988. — 391 с.
32. Файерштейн, П.М. Справочник по автоматизации котельных / П.М. Файерштейн, П.С. Этинген, Г.Г. Хох Бойм. — Москва : Энергия, 1978. — 343 с.
33. Широков, Л.А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в пищевой промышленности / Л.А. Широков [и др.]. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 311 с.
34. Энциклопедия кибернетики. Академия Наук украинской советской социалистической республики. — Киев, 1975. — 1225 с.
35. Передняя, В.И. Механизация животноводческих ферм и комплексов / В.И. Передняя, З.Ф. Калтур, С.Н. Фурсенко. — Минск : Ураджай, 1977. — 175 с.
36. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. — Москва : Колос, 2003. — 344 с.
37. ГОСТ 2.701-84 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
38. ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

39. ГОСТ 2.710–81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
40. ГОСТ 2.755–87 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.
41. ГОСТ 21.101–93 СПДС. Основные требования к рабочей документации.
42. ГОСТ 21.110–95 СПДС. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.
43. ГОСТ 21.114–95 СПДС. Правила выполнения эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий.
44. ГОСТ 21.404–85 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.
45. ГОСТ 21.408–93 СПДС. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.
46. ГОСТ 21.614–88 СПДС. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах.
47. ГОСТ 14202–69 Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.
48. ОСТ 36.13–90 Щиты и пульты систем автоматизации.
49. РМ 3–54–85 Инструкция по монтажу электрических проводок внутри щитов и пультов.
50. РМ 3–82–90 Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов. Особенности применения. Пособие к ОСТ 36.13.90.
51. РМ 4–51–90 Системы автоматизации технологических процессов. Принципы компоновки щитов и пультов. Пособие к РМ 4–107–82.
52. РМ 4–107–82 Системы автоматизации технологических процессов. Требования к выполнению проектной документации на щиты и пульты.
53. РМ 2591–90 Рекомендуемые расстояния между приборами на фасадах щитов и пультов.

Содержание

	Предисловие	3
1	Технологическо-экономические основы автоматизации сельскохозяйственного производства.....	5
	1.1 Основные понятия и определения.....	5
	1.2 Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства.....	6
	1.3 Общая характеристика сельскохозяйственного производства.....	12
	1.4 Технологическая структура сельскохозяйственного производства. Классификация типовых технологических процессов как объектов автоматизации.....	14
	1.5 Агротребования к системам автоматического управления технологическими процессами.....	21
	1.6 Понятие системы. Классификация автоматизированных систем управления.....	24
	1.7 АСУ ТП сельскохозяйственного производства.....	26
	1.8 Критерии и источники экономической эффективности автоматизации процессов сельскохозяйственного производства.....	35
2	Критерии и источники экономической эффективности автоматизации процессов сельскохозяйственного производства.....	43
	2.1 Понятие синтеза.....	43
	2.2 Синтез САУ поточных технологических линий.....	45
	2.2.1 Структура САУ поточных технологических линий (ПТЛ)	45
	2.2.2 Формализация САУ ПТЛ. Определение объема автоматизации.....	48
	2.2.3 Разработка релейно-контактных схем.....	61
	2.2.4 Разработка устройств управления на логических элементах.....	86
	2.2.5 Программируемые логические контроллеры в системах управления оборудованием технологических линий.....	97
	2.3 Синтез систем автоматического регулирования (САР).....	130
	2.3.1 Характеристика технологической установки как объекта автоматизации.....	130
	2.3.2 Выбор способа управления.....	135
	2.3.3 Виды систем автоматического регулирования.....	137
	2.3.4 Регулирующие контуры.....	139
	2.3.5 Идентификация характеристик объекта управления.....	141
	2.3.6 Регулирующие воздействия и органы.....	164
	2.3.7 Электронные регулирующие приборы.....	169
	2.3.8 Позиционные регуляторы.....	171
	2.3.9 Регуляторы непрерывного действия.....	185
	2.3.10 Особенность использования цифровых регуляторов.....	210
3	Основные сведения о проектной документации систем автоматизации.....	225

3.1	Назначение и содержание проекта автоматизации технологических процессов.....	225
3.2	Структурные схемы автоматизации.....	228
3.3	Схемы автоматизации.....	231
3.3.1	Назначение схем автоматизации и общие принципы их выполнения.....	231
3.3.2	Изображение технологического инженерного оборудования и коммуникаций на схемах автоматизации.....	231
3.3.3	Изображение приборов и средств автоматизации на схеме автоматизации.....	235
3.3.4	Требования к изображению линий связи на схемах автоматизации.....	241
3.3.5	Примеры изображения схем автоматизации.....	242
3.4	Принципиальные электрические схемы.....	248
3.4.1	Назначение и типы принципиальных электрических схем.....	248
3.4.2	Основные требования к оформлению принципиальных электрических схем управления, регулирования, контроля и сигнализации.....	249
3.4.3	Разработка полной принципиальной схемы управления, защиты, контроля и сигнализации.....	258
3.4.4	Принципиальные электрические схемы регуляторов.....	267
3.5	Основные требования к схемам соединений внешних проводок..	274
3.6	Основные требования к проектной документации на щитовую продукцию систем автоматики.....	281
3.7	Требования к чертежам расположения оборудования и внешних проводок систем автоматизации технологических процессов.....	301
4	Автоматизация типовых технологических процессов.....	307
4.1	Автоматизация мобильных процессов сельскохозяйственного производства.....	307
4.1.1	Общие сведения.....	307
4.1.2	Автоматическое управление тракторами и самоходными машинами.....	311
4.1.3	Системы автоматического регулирования технологических процессов.....	315
4.2	Автоматизация послеуборочной обработки зерна.....	319
4.2.1	Технологические основы послеуборочной обработки зерна.....	319
4.2.2	Автоматизация процесса активного вентилирования зерна..	322
4.2.3	Автоматизация процесса сушки.....	326
4.2.4	Автоматизация управления процессом очистки и сортировки зерновой массы.....	357
4.3	Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте.....	365
4.3.1	Общие сведения.....	365
4.3.2	Технологические основы управления микроклиматом в	366

	теплицах.....	
4.3.3	Характеристика объекта автоматизации.....	369
4.3.4	Объем механизации и автоматизации технологических процессов в теплицах.....	370
4.3.5	Методы, программы и средства автоматического управления микроклимата в теплицах.....	373
4.3.6	Автоматизация управления температурным режимом почвы.....	386
4.3.7	Автоматическое управление поливом.....	388
4.3.8	Автоматическое управление концентрацией растворов минеральных удобрений.....	393
4.3.9	Автоматизация управления подкормкой углекислым газом и досвечиванием растений.....	394
4.4	Автоматизация режимов при хранении картофеля и овощей.....	396
4.4.1	Агротехнические требования к системам автоматического регулирования.....	396
4.4.2	Характеристика овощехранилища как объекта управления микроклиматом.....	400
4.4.3	Системы автоматического управления микроклиматом в овощехранилищах.....	402
4.5	Автоматизация процессов приготовления кормов.....	409
4.5.1	Технологические основы механизированной обработки и приготовления кормов.....	409
4.5.2	Автоматизация агрегатов для приготовления травяной муки.....	411
4.5.3	Автоматизация процесса гранулирования.....	416
4.5.4	Автоматизация измельчения кормовых материалов.....	423
4.5.5	Автоматизация запаривания картофеля.....	428
4.5.6	Автоматизация процессов смешивания кормовых материалов.....	429
4.5.7	Автоматизация комбикормовых агрегатов.....	434
4.5.8	Автоматизация приготовления кормов в кормоцехе КОРК-15.....	439
4.5.9	Автоматизация приготовления кормов на свиноводческих фермах.....	443
4.6	Автоматизация кормления и раздачи кормов животным и птице.....	445
4.6.1	Технологические основы кормления животных и птицы.....	445
4.6.2	Автоматизация раздачи кормов на фермах и промышленных комплексах крупного рогатого скота.....	447
4.6.3	Автоматизация раздачи кормов на свиноводческих фермах и комплексах.....	451
4.7	Автоматизация установок микроклимата.....	456
4.7.1	Автоматизация процесса кондиционирования воздуха.....	456
4.7.2	Автоматизация микроклимата в животноводческих помещениях и птичниках.....	462

4.7.3	Оборудование обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях и птичниках.....	485
4.7.4	Автоматизация технологическими процессами в инкубатории.....	499
4.8	Автоматизация энергоснабжения.....	506
4.8.1	Автоматизация котлоагрегатов.....	506
4.8.2	Автоматизация малых котлов.....	518
4.8.3	Автоматизация тепло генераторов.....	519
4.8.4	Автоматизация процесса холодоснабжения.....	526
4.9	Автоматизация установок по удалению навоза и помета.....	530
4.10	Автоматизация машинного доения и первичной обработки молока.....	536
4.11	Автоматизация водоснабжения и орошения.....	544
4.11.1	Автоматизация водонасосных установок для ферм и населенных пунктов.....	544
4.11.2	Автоматизация технологических процессов гидромелиорации.....	549
4.12	Автоматизация переработки сельскохозяйственной продукции.....	556
	Приложение А. Список нормативов, определяющих требования к оформлению документации проекта автоматизации.....	563
	Приложение Б. Условные графические обозначения, наиболее широко применяемые в принципиальных электрических схемах проекта автоматизации.....	564
	Приложение В. Буквенные коды наиболее распространенных видов элементов по ГОСТ 2.710–81, используемых для построения позиционного обозначения элементов.....	570
	Приложение Г. Основные требования к оформлению листов графического и текстового материалов проекта автоматизации.....	573
	Литература.....	578



*К 50-летию
агроэнергетического факультета*

История кафедры автоматизированных систем управления производством

*Техника дойдет до такого совершенства,
что человек сможет обойтись без себя.*
Станислав Ежи Лец

Истоки. История кафедры автоматизированных систем управления производством начинается с 1975 года. Быстрый рост технической и энергетической вооруженности сельскохозяйственного труда, бурное развитие научных исследований того периода, переход на промышленную основу производства животноводческой и полеводческой продукции на базе комплексной механизации и электрификации технологических процессов подготовили необходимые условия для автоматизации практически всех технологических процессов сельскохозяйственного производства. В этот начальный период автоматизация сельского хозяйства в своем становлении опиралась на богатый опыт, накопленный в промышленности. Вместе с тем характерные особенности сельскохозяйственного производства обуславливают целый ряд специфических требований, предъявляемых к методам и средствам сельской автоматики. Эти условия поставили перед вузом задачу подготовки инженера-автомеханика, который должен отлично знать тонкости технологии сельскохозяйственного производства, его организацию, хорошо разбираться в механических, электрических, гидравлических устройствах автоматики, в особенностях комплексной механизации, электрификации и автоматизации технологических процессов, уметь научно обосновывать решения технологических и организационно-экономических задач автоматизации текущего и перспективного характера, направленных на повышение эффективности производства. С 1973 года Белорусский институт механизации сельского хозяйства открывает подготовку инженеров-электромехаников по автоматизации сельскохозяйственного производства. Тогда же практически во всех инже-

нерных научно-исследовательских институтах агропромышленного комплекса открываются отделы и лаборатории по автоматизации, расширяется набор в аспирантуру и основываются советы по защите диссертаций по специальности «Автоматизация технологических процессов» (отрасль – сельскохозяйственное производство).

В 1975 году в Белорусском институте механизации сельского хозяйства создается кафедра автоматизации сельскохозяйственного производства во главе с кандидатом технических наук, доцентом (в последствии профессором) *Боханом Николаем Ивановичем*, выпускником БИМСХ 1957 года. Имея большой опыт научно-исследовательской и педагогической работы в области автоматизации сельского хозяйства, приобретенный с 1967 года в БИМСХ, Бохан Н.И. возглавлял кафедру АСХП с 1975 по 1978 годы, а затем в течение 10 последующих лет, работая в должности проректора по научной работе БИМСХ, продолжал успешно заниматься научно-исследовательской работой по тематике кафедры. Первый заведующий кафедры подбирает выдающийся состав преподавателей кафедры, которые с 1 сентября 1976 года ведут основные дисциплины: вычислительная техника; основы автоматики; технические средства автоматики; теория автоматического управления; проектирование, монтаж и эксплуатация средств автоматизации; автоматизация технологических процессов; обеспечивая общие основы подготовки студентов двух специальностей: механизация сельскохозяйственного производства и электрификация сельскохозяйственного производства, а также специальную подготовку в рамках специализации — автоматизация животноводства и птицеводства.

В первом учебном году (1976-1977гг.) кафедра имела восемь штатных преподавателей:

- старший преподаватель Л.Н. Матюнина, имея наибольший опыт преподавательской работы, создает лабораторию «Основы автоматики», является соавтором учебного пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений «Автоматизация производственных процессов на фермах» (издательство «Колос», 1976 год), вносит большой вклад в развитие кафедры вплоть до момента ухода на пенсию в июле 1994;
- старший преподаватель Алла Федоровна Николаева и ассистент Надежда Николаевна Артеменкова обеспечивают подготовку студентов по дисциплине вычислительная техника вплоть до реорганизации кафедры;
- старший преподаватель Юрий Васильевич Дробышев, подготовивший курс технические средства автоматики;
- доцент В.И. Труханов, поставивший дисциплину «Проектирование монтаж и эксплуатация средств автоматизации»;
- старший преподаватель, кандидат технических наук Сергей Николаевич Фурсенко (позже доцент, в течение 10 лет с 1977 года — заведующий кафедрой АСХП), имея большой опыт работы в области технологии сельскохозяйственного производства, разрабатывает курс и лабораторию автоматизации технологических процессов;

- ассистент Владимир Александрович Дайнеко (позже кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры электрооборудования сельскохозяйственного производства, выпускник БИМСХ 1973 года);
- старший преподаватель с 1977, впоследствии доцент кафедры АСХП Бензарь Валентин Кузьмич;
- с 1978 года доценты к.т.н., с.н.с. Синяков Анатолий Леонидович (основной научный интерес – автоматизация теплоутилизационных систем микроклимата животноводческих помещений) и к.т.н. Минковский В.Д. (до этого работал старшим инженером ЦНИИТУ);
- с 1979 года доцент к.т.н. Исаеня Николай Васильевич, который перешел на преподавательскую работу, имея большой опыт научно-исследовательской работы, приобретенный в лаборатории «Электротехнических средств автоматизации технологических процессов» ЦНИИМЭСХ.

В период организации кафедры происходит открытие новой специальности и увеличение набора студентов, что потребовало увеличить штат кафедры специалистами, имеющими соответствующее базовое образование и опыт исследовательской работы в области автоматизации технологических процессов и разработке средств автоматизации. Далее кафедре предстоит большая работа в организации и обеспечении учебного процесса подготовки новых специалистов и в научно-исследовательской области.

Развитие. В 1978 г. состоялся первый выпуск инженеров по специализации «Автоматизация животноводства и птицеводства» в количестве 65 человек. Затем выпуск инженеров, по данной специализации доходил до 115 человек, и в настоящее время общее число выпускников специализации составляет более 1200 человек. Выпускники направлялись для работы на животноводческие комплексы и птицефабрики, районные и областные объединения Госкомсельхозтехники, Сельэнерго, строительно-монтажные, проектные и научно-исследовательские организации на должности инженеров-электромехаников, главных энергетиков, мастеров, начальников участков, преподавателей техникумов и училищ.

В 1978 году в БИМСХ был организован факультет автоматизации сельскохозяйственного производства и кафедра АСХП стала профилирующей. Кафедра разрабатывает квалификационную характеристику инженера-электромеханика (специализация 1515), создавая модель инженера сельскохозяйственного производства, которая давала возможность определить «чему учить» студента и явилась значимой научно-педагогической разработкой. Была определена структура и содержание дипломного проектирования, как завершающей стадии подготовки специалиста в области автоматизации. Продолжением этой работы было составление структурно-логических схем по дисциплинам специальности 1515 кафедры АСХП, что позволило составить научно-обоснованный учебный план.

При организации факультета автоматизации сельскохозяйственного производства у студентов была заложена традиция ежегодных встреч в последнюю субботу мая месяца. На этих встречах выпускников факультета с преподавателями обсуждаются недостатки в подготовке специалистов и пути

их устранения. В результате этого в учебный план были введены две новые дисциплины: КИП и А, а также микропроцессорная техника.

Обучение по курсу КИП и А (Дайнеко В.А.) велось в течение двух лет до реорганизации кафедры в 1987 году, и затем дисциплина восстановлена в 2002 году.

Чтение курса «Микропроцессорная техника» началось в 1985 году после оснащения лаборатории десятью комплектами микролаб на базе микропроцессорного набора КР580 (ведущий преподаватель — Фрунжиев Реза Имбраимович). Следует отметить тот факт, что первым вузом в г. Минске, лаборатория которого была оборудована учебными микролабами, был БИМСХ. В 1987 году курс «Микропроцессорная техника» был исключен из учебного плана, а затем в 1990 году в курсе «Электроника» было выделено 12 часов для чтения отдельных разделов курса.

В течении двух лет на базе лабораторий кафедры проходили повышение квалификации преподаватели сельскохозяйственных вузов СССР. Слушателями курсов повышения квалификации отмечалась высокая квалификация преподавателя курсов к.т.н. Подашевского И.

Одним из важнейших условий подготовки высококвалифицированных инженерных кадров является широкое развитие научных исследований и внедрение их результатов в учебный процесс. Научные исследования на кафедре были начаты в 1977 г.

Одной из первых (на хозяйственной основе) была создана научно-исследовательская лаборатория СВЧ-метрии — руководитель Бензарь В.К. Тематика НИЛ: исследование диэлектрических свойств сельскохозяйственных материалов на СВЧ и разработка приборов контроля влажности (сотрудники Ценципер Б.Л., Ренгарт И.И., Гапоненко В.И., Коляда А.А. при участии преподавателей Дайнеко В.А., Лисовского В.В., а также студентов факультета). За время функционирования лаборатории были разработаны, изготовлены и внедрены в производство СВЧ-влажмеры зерна, почвы, табака для Госкомгидромета СССР, БССР; СВЧ-влажмеры бурого угля. Исследования, проведенные в лаборатории, были использованы при написании диссертационных работ.

Несколько позже, в 1978 году, на кафедре АСХП продолжил исследовательскую и внедренческую работу в области автоматизации технологических процессов Сняжков А.Л. За период времени с 1978 года по 1987 год им были разработаны и внедрены отопительно-вентиляционные системы.

В тоже время была начата работа по использованию цифровой техники в системах управления технологическими процессами. Так, Минковским В.Д., Кузьминым А.А. на базе бытового компьютера и телевизора была разработана и внедрена на тепличном комбинате САУ микроклиматом.

Под руководством проф. Бохана Н.И. на кафедре успешно функционирует НИЛ автоматизации процессов на ремонтных предприятиях. Разработан и успешно внедрен на Минском моторном заводе, мотостроительном объединении «Серп и молот» (г. Харьков), Слонимском и Дзержинском моторо-ремонтном заводах автоматический цифровой тахометр ТАЦ-214 для определения частоты вращения валов.

С участием преподавателей Минковского В.Д. и Исасни Н.В. разработан и внедрен прибор для определения концентрации моющего раствора.

Одним из направлений научных исследований на кафедре АСХП в 1981-85 гг. являлась разработка систем управления режимами работы вегетационно-климатических установок для ускоренной селекции сельскохозяйственных культур.

Всего на 1982 г. сотрудниками кафедры и студентами, работавшими в НИЛ, получено 131 авторское свидетельство на изобретение. Наибольшее количество авторских свидетельств получено преподавателями кафедры Дробышевым Ю.В. (50 авторских свидетельств и 3 патента) и Сияковым А.Л. (90 авторских свидетельств). Четверо сотрудников кафедры: Н.И. Бохан, В.К. Бензарь, Ю.В. Дробышев, С.Н. Фурсенко отмечены почетным знаком «Изобретатель СССР», Сияков А.Л. — «Изобретатель Белоруссии».

Реорганизация. В соответствии с приказом Госагропрома СССР № 342 от 28 апреля 1987 года с 1 июля 1987 года было произведено объединение частей кафедр «Теплотехники и гидравлики» и АСХП. Одновременно созданы кафедры «Гидравлики» и «Вычислительной и микропроцессорной техники». Заведующим вновь образованной кафедры стал доктор технических наук, профессор Герасимович Леонид Степанович.

К моменту реорганизации кафедры АСХП одноименный факультет был упразднен и на вновь образованном агроэнергетическом факультете осталась одна группа студентов по специализации С 03.02.02 «Автоматизация технологических процессов и установок в сельскохозяйственном производстве». Дисциплины специализации, кроме упраздненных дисциплин КИП и А и микропроцессорная техника, и задачи подготовки студентов остались прежние. В учебный план введена новая дисциплина автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

В октябре 1989 года кафедра «Автоматизация и теплофикация сельскохозяйственного производства» была разделена на две кафедры «Теплофикации» и «*Автоматизированные системы управления производством*» (АСУП). Возглавил кафедру АСУП к.т.н., доцент Грабауров Владимир Александрович (позже доктор технических наук, профессор).

Предстояло формирование учебного плана по дисциплинам кафедры в соответствии с новыми задачами. В учебный план были включены дисциплины, обеспечивающие подготовку студентов с ориентацией по организационно-экономической деятельности специалиста в системе сельскохозяйственных подразделений. Лаборатории теории автоматического управления и основ автоматики были реорганизованы в одну — основы автоматики.

В 1990 году на кафедру АСУП с кафедры «Теоретические основы электротехники» была передана дисциплина «Основы электроники» с лабораторией базой и методическим обеспечением, разработанным к.т.н., доц. Дудниковым Игорем Львовичем.

В 1995 году кафедру АСУП возглавил к.т.н., доцент Гурин Владимир Владимирович. За период заведования (с 1995 по 2000 годы) происходит совершенствование учебного процесса. Гуриным В.В. создана новая для уни-

верситета лаборатория монтажа, наладки и эксплуатации средств автоматики с методическим обеспечением.

В 2000 году кафедре АСУП возглавил с.н.с. Сидоренко Юрий Александрович. Благодаря активной позиции заведующего, на кафедре АСУП получили развитие компьютерные технологии синтеза, построения и проектирования систем автоматики, создается соответствующая этим технологиям материальная база. В курсовых работах и проектах, при дипломном проектировании широко используется САПР, моделирование на ЭВМ. Дипломные проекты реализуются на базе микропроцессорных контроллеров и ПЭВМ.

Опыт преподавателей кафедры в подготовке специалистов и научно-исследовательской работе изложен в многочисленных научно-методических разработках: В.К. Бензарь, Н.И. Бохан, Ю.В. Дробышев, С.Н. Фурсенко, «Элементы автоматики», Горки, 1981 (70с.); Н.И. Бохан, В.Д. Минковский, Н.В. Исаеня, С.Н. Фурсенко, «Системы автоматического управления и регулирования в растениеводстве», Горки, 1981 (88с.); Н.И. Бохан, Ю.В. Дробышев, В.К. Бензарь, В.Д. Минковский, И.В. Исаеня, С.Н. Фурсенко, «Элементы и устройства сельскохозяйственной автоматики», Мн.: Ураджай, 1983 (175с.); Н.И. Бохан, Л.С. Герасимович, «Автоматизация сельскохозяйственных тепловых процессов и установок», Горки, 1983 (98с.); Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев, «Основы автоматики и микропроцессорной техники», Мн. Ураджай, 1987 (37с.); Н.И. Бохан, Ю.В. Дробышев, В.К. Бензарь, В.Д. Минковский, Н.В. Исаеня, С.Н. Фурсенко, «Элементы и устройства сельскохозяйственной автоматики (издание второе, переработанное и дополненное)», Мн.: Ураджай, 1989 (238с.); Н.И. Бохан, В.А. Дайнеко, С.Н. Фурсенко, «Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве», Мн.: Ураджай, 1989 (160с.); Р.И. Фурунжиев, Н.И. Бохан, «Микропроцессорная техника в автоматике», Мн.: Ураджай, 1991 (279с.); И.Ф. Кудрявцев, О.Б. Карасев, Л.Н. Матюнина, «Автоматизация производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах», М.: Агропромиздат, 1985 (223с.); Н.И. Бохан, И.Ф. Бородин, Ю.Д. Дробышев, С.Н. Фурсенко, «Средства автоматики и телемеханики», М.: Агропромиздат, 1992 (375с.). В 1995 г. Фурунжиеву Р.И. и Бохану Н.И. присужден диплом победителя Республиканского конкурса МСХ и РБ за подготовку учебного пособия «Микропроцессорная техника в автоматике».

Кафедра сегодня. В настоящее время кафедра АСУП ведет подготовку специалистов на агроэнергетическом факультете по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства» по дисциплинам:

- основы электроники, микропроцессорной техники и техники связи (преподаватели – Матвеев И.П., Костикова Т.А.);
- основы автоматики (преподаватели – Сидоренко Ю.А., Гагаков Ю.В.);
- автоматизация технологических процессов (преподаватели – Волкова Е.С., Якубовская Е.С.);
- методология проектирования и основы САПР (преподаватель – Якубовская Е.С.).

Для специализации 1-74 06 05 02 «Автоматизация технологических процессов и установок в сельскохозяйственном производстве» подготовка специалистов ведется по дисциплинам:

- цифровые устройства управления (преподаватели – Жур А.А., Сибиркин Д.В.);
- АСУТП в АПК (преподаватель – Павловский В.А.);
- САИР систем автоматики (преподаватель – Якубовская Е.С.);
- контрольно-измерительные приборы систем автоматики (преподаватель – Павловский В.А.);
- монтаж, наладка и эксплуатация средств автоматики (преподаватель – Кучинский А.Ю.);
- моделирование и оптимизация систем автоматики (преподаватель Сидоренко Ю.А.).

На кафедре оборудованы и функционируют четыре лаборатории: автоматизации технологических процессов; микропроцессорных систем управления; основ автоматики; электроники, микропроцессорной техники и техники связи.

В ответ на изменение социально-экономических условий *кафедра подготавливает учебный план* в рамках новой престижной специальности 1 – 53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» специализации 1 – 53 01 01 – 09 «Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство)». В плане помимо перечисленных для специализации 1-74 06 05 02 дисциплин предусматривается овладение такими курсами, как автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства; АСУ производством; автоматическая защита электрооборудования; микропроцессорная техника систем автоматизации. После овладения учебным планом студент получает квалификацию — инженер по автоматизации и компетентность в области проектирования и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств сельского хозяйства. Набор на данную специальность открыт в 2006 году. Поэтому *приглашаем всех желающих овладеть престижной современной специальностью* в Белорусский аграрный технический университет (*адрес приемной комиссии: 220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, 2 корпус, 3 этаж, аудитория 329. Телефон: (017) 267-40-82.*

Преподаватели кафедры постоянно совершенствуют технологии обучения и учебно-методическое обеспечение. Ряд дисциплин ведется на базе мультимедиа-технологии, разработан ряд электронных учебников. Авторы данного традиционного пособия также надеются, что оно поможет с успехом реализовать подготовку специалистов в рамках новой специальности, а также в достаточной мере овладеть кругом вопросов, связанных с автоматизацией технологических процессов сельскохозяйственного производства. Пожелания и отзывы о пособии для авторов можно оставить по адресу: asup_ylena@list.ru.

Учебное издание

Фурсенко Сергей Николаевич
Якубовская Елена Степановна
Волкова Елена Степановна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *Ю.А. Сидоренко*

Редактор *Н.Н. Оляха*

Электронный набор, верстка, дизайн *Е.С. Якубовская, Е.Б. Клочкова,*
А.А. Жур

Подписано в печать 28.12.2006 г. Формат 60×84¹/₁₆

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 34,41

Уч.-изд. л. 26,91. Тираж 855 экз. Заказ 195

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский государственный аграрный технический университет
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2